

放流水應用於農業灌溉之減排調適效益評析

Evaluation of the Efficiency of Emission Reduction and Adjustment of the Application of Effluent to Agricultural Irrigation

財團法人農業工程研究中心

副研究員兼組長	研究員	助理技師	助理研究員	副研究員
張雅婷	陳豐文	卓宇謙	譚允維	林修德
Ya-Ting Chang	Feng-Wen Chen	Yu-Chien Cho	Yun-Wei Tan	Hsiu-Te Lin

桃園市政府水務局

局長	副局長	綜合企劃科科长	綜合企劃科科长
劉振宇	李金靖	黃旭輝	趙本翰
Chen-Wuing Liu	Jin-Jing Lee	Hsu-Hui Huang	Ben-Han Zhao

摘要

2020~2021 年臺灣發生歷年最嚴重的乾旱缺水事件，經濟部水利署提出開源、節流、調度及備援 4 大對策，桃園市於灌區停灌措施實施後，仍發生石門水庫蓄水量低於 10% 之極度缺水困境，配合開源策略，水資源再利用成為趨勢，放流水因具有水源供應穩定之優勢，在替代水源中被視為重點選項。本研究首創將放流水作為稻作、溫室旱作物、水耕蔬菜栽培等灌溉水源，實際栽培驗證放流水供灌之可行性。經檢驗放流水無重金屬污染疑慮、放流水氮氮可提供水稻生長過程所需氮肥、作物栽培成果均符合食品食用衛生標準，相較於部份灌區取用區域排水作為補注水源供灌，放流水就水質及水量穩定性而言更適合作為供灌之替代水源或補助水源，可適當且適時減少供水壓力，未來透過擴大應用，將全國現有以生活污水為主要處理目標的水資源回收中心剩餘處理水量(每年 36,500 萬噸)轉為農業灌溉補充用水，約可供應全國 10,000 萬公頃水稻田，可節省 1.78 座石門水庫有效蓄水量。以放流水標準之氮氮限值 10 毫克/公升計算，每年可減用 3,000 噸氮肥，相當於每年減少 20,000 噸碳排，除可提升放流水回收再利用的貢獻，落實水資源循環利用，以放流水灌溉減少農民肥料使用量，降低農業施作過程對土壤及水的污染，亦間接達成節能減碳、農業淨零排放的效益。

關鍵詞：放流水再利用、節能減碳、農業淨零排放

Abstract

From 2020 to 2021, Taiwan experienced the most severe drought and water shortage in

history. The Water Resources Agency has put forward four major countermeasures: water resources development, water-saving, dispatch and backup. After the implementation of the irrigation suspension measures in Taoyuan City, Shihmen Reservoir's water storage capacity is still below 10%. With the strategy of developing water resources, reclaimed water reclamation and reuse has become a trend. Due to the advantages of stable water supply, effluent is regarded as a key option in the alternative water source. This study is the first to use effluent as irrigation water source for rice crops, greenhouse dry crops, hydroponic vegetable cultivation, etc. The actual cultivation verifies the feasibility of effluent irrigation. Effluent has been tested to be free of heavy metal contamination concerns. Ammonia nitrogen contained in effluent can provide nitrogen fertilizer for rice growth process. Crop cultivation results are in line with food and edible hygiene standards. Compared with some irrigation areas that use regional drainage as a supplementary water source for irrigation, effluent is more suitable as an alternative water source or supplementary water source for irrigation in terms of water quality and water quantity stability, and can appropriately and timely reduce the water supply pressure. In the future, through the expansion of application, the remaining water treatment capacity (365 million tons per year) of the existing water resources recycling centers in the country with domestic sewage as the main treatment target will be converted into agricultural irrigation supplementary water, which can supply about 10,000 hectares of rice fields and save 1.78 Effective water storage capacity of Shihmen reservoir. Calculated based on the ammonia nitrogen limit of 10 mg/L in the effluent standard, 3,000 tons of nitrogen fertilizer can be reduced every year, which is equivalent to a reduction of 20,000 tons of carbon emissions per year. In addition to enhancing the contribution of effluent recycling and reuse, implementing the recycling of water resources, using effluent to irrigate to reduce the amount of fertilizer used by farmers, reduce the pollution of soil and water in the agricultural application process, and indirectly achieve energy saving and carbon reduction and agricultural net zero emissions benefit.

Keywords: Effluent Reclamation and Reuse, Energy Saving and Carbon Reduction, Agriculture Net Zero Emissions.

一、前言

2022年5月26日世界經濟論壇年會(World Economic Forum, WEF)提到：水危機將威脅糧食安全，導致移民、金融動盪，引發衝突甚至戰爭，如何解決用水問題將會是攸關民生與經濟發展的重要問題。配合聯合國永續發展目標 6.4「在西元 2030 年以前，大幅增加各產業之用水效率，確保永續的淡水供應與回收，以解決水饑荒問題」，經濟部水利署積極發展新興水資源，水資源再利用成為趨勢，放流水因具有水源供應穩定之優勢，在替代水源中被視為重點選項。

2020 年全國現有公共污水處理廠(現稱為水資源回收中心，以下簡稱水資中心)72

座，設計水量約 446 萬 CMD、處理水量約 338 萬 CMD，扣除 27 座工業用再生水廠及東部離島之污水廠，剩餘處理水量 100 萬 CMD(經濟部水利署，2021)。配合開源策略，在不破壞環境平衡、水資源使用更有效率的前提下，以生活污水為主要處理目標的水資中心放流水，除了供次級雜用水、特定工業產業用水外，可擴大再利用層面至用水需求高之農業灌溉，提升生活污水回收再利用的貢獻，每年全國剩餘處理水量 36,500 萬噸約可供應約 1 萬公頃水稻田(佔全省水稻田約 16 萬公頃之 6.25%)，相當可節省 1.78 座石門水庫有效蓄水量，可適當且適時減少供水壓力，達成開源、節流同時兼顧農業生產目標。

二、放流水應用於農業文獻回顧

臺灣受限於傳統水源開發方式已面臨瓶頸，而水資中心放流水具有質穩定量、不受水文天候限制的優勢，經妥適處理後供為特定用途之水源不僅技術上可行，國外成功案例更不在少數，已逐漸成為缺水國家開發新水源多元供水的可行選項之一。未來公共及民生用戶接管普及率提升後，將有更大量的放流水可供回收再利用，為避免水源不足成為國內未來經濟與民生發展之瓶頸，有效推動公共污水處理廠放流水回收再利用已成為永續發展之重點政策(內政部營建署，2013)。唯放流水之應用，在臺灣屬於較為新興之領域，透過其他文獻案例蒐集參考，可作為國內應用及推動之參酌。

Cristina *et al.* (2015)指出在世界各國政府和官方機構支持下，處理後放流水的回收利用，特別是用於農業灌溉已成為越來越普遍的做法，其研究探討回收放流水的灌溉可能會在兩個不同層面產生影響：(一).為改變土壤的物理、化學及微生物特性和/或引入土壤中的化學和生物污染物，可能影響土壤生產力與肥力；(二).則是可能對人類和環境健康構成嚴重風險。農業灌溉使用放流水的可持續回用應防止上述 2 種影響，需要進行全面和綜合的風險評估。文獻亦探討回收放流水灌溉可能產生的影響，特別強調土壤微生物相(Microbiota)，提出了需維持豐富多樣的原生微生物相(Autochthonous Soil Microbiota)和使用具有最少潛在土壤污染物基準的處理後放流水之必要條件，以達到永續的放流水利用於農業灌溉。文獻所提回收放流水使用於灌溉之水質標準係以世界部分國家為例，分為限制灌溉、非限制灌溉兩類，旨在防止因土壤理化特性受到干擾而對土壤生產力和肥力產生潛在影響，及通過有毒化合物和病原體的存在對人類健康造成潛在風險；其中廢水的物理化學特性包括數種評估，如：濁度《濁度單位(NTU)或懸浮固體(SS)》、酸鹼值(pH)、鹽度《電導率(EC)、鈉吸收率(SAR)》、有機負荷量《生物需氧量(BOD)或化學需氧量(COD)》，和養分(總氮和/或 NO_3^- 和以 PO_4^{3-} 磷酸鹽形式存在的磷)。除了這些參數評估外，部分國家之法規(如美國、義大利、墨西哥等)要求或建議測定潛在的有毒物質，如金屬或有機污染物。

Leonel and Tonetti (2021)探討世界各地農業利用再生廢水灌溉對作物產量、土壤、公衛的影響，並檢視灌溉用再生水的消毒方法，該研究建議回收水再利用須依污水特性，規劃適當的處理、儲存、分配系統；再生水灌溉需要確認其對土壤、作物灌溉適應性，

評估再生水灌溉後所造成土壤中物理化學及微生物生態變化，以提供決策者參考。

部份研究以實驗探討對回收放流水灌溉農作物之影響，如陳旺助(1996)探討有機物對水稻之影響時，經實驗指出千粒重在 5 mg/L 之豬糞尿灌溉濃度時有明顯分界，有效分蘗數及空殼率則在 12.5 mg/L、10 mg/L 有明顯的改變，證實高濃度有機廢水會造成無效分蘗增加、生長期延長、生長過剩，影響成熟期發展，造成千粒重減少以及空殼率增加的趨勢，並且提出有機廢水灌溉水稻之建議濃度最好以 5 mg/L 為限之建議，且發現有機廢水對土壤的影響則可因水田而降低，旱田卻較嚴重之現象。張超品等(2004)以都市放流水與清水二種灌溉水源適時定量灌溉小麥，結果顯示以放流水灌溉之小麥產量比清水灌溉者產量增加 6.5~8.7%，惟須控制金屬、非金屬、有毒物質含量及有機污染物之濃度；另於山西太原市南郊以 4 種不同灌溉水質灌溉 14 種蔬菜，針對氮、鐵、鋅、錳等含量進行測定，其污水中含氮量對蔬菜有明顯的影響，而水中鐵、鋅、錳含量對蔬菜影響則視品種而定。馮紹元等(2003)探討污水對冬小麥生長及產量的影響，結果顯示污水灌溉有利於冬小麥之生長，產量提高 17.6~31.1%。

許珮甄(2005)提及都市廢水再生應用於農業灌溉，須注意水中氮化物含量，水稻受氮化物影響之特徵，包括水稻過份繁茂、葉部過寬、稻桿過長、桿節軟弱易倒伏、根部易腐爛、稻殼粗大、米粒重量減少、結穗遲而降低米質等。Chaiprapat and Sdoodee (2007) 針對水稻進行盆栽試驗及現場試驗，發現橡膠工廠之廢水處理後施用於稻米和植物灌溉，可促進其發展並增加產量；建議僅在稻米分蘗階段時適合應用再生水，避免在稻米開花期和充實期使用再生水灌溉。Shilpi *et al.* (2018) 評估來自不同行業的廢水(釀酒廠、屠宰場、乳製品、民生)用於灌溉農作物之安全性，使用南澳大利亞之砂質黏土，在溫室中進行盆栽實驗，研究使用自來水稀釋廢水，使用不同濃度廢水(0、0.05、5、25、50、75 及 100%)對所種植的向日葵及玉米種子進行澆灌，結果顯示，釀酒廠及屠宰場廢水可提高玉米的產量，也發現廢水灌溉的重金屬殘留量會因廢水種類而有差異，但皆未超過毒性濃度標準，表示經稀釋過的屠宰場及釀酒廠廢水可利用於農田灌溉，提高作物產量。陸紅飛(2020)在溫室內進行為期 2 年之盆栽試驗(2018~2019 年)，以淺水勤灌(保持 0~5 公分水層)為對照，分析再生水與清水控制灌溉對水稻生長發育之影響機制，並探討再生水不同控制灌溉模式之調控效果。研究成果顯示施加枯草芽孢桿菌和酵母菌降低了土壤 EC 值和 pH 值，促進了土壤微生物繁殖，有效緩解土壤鹽分脅迫導致的水稻生理紊亂，且增強水稻葉片抗氧化酶活性和光合作用，為水稻乾物質積累和產量形成提供良好的土壤環境和生理狀態。此研究結果以枯草芽孢桿菌和酵母菌調控再生水灌溉土壤微環境，為再生水資源農業安全利用提供了參考依據。

由以上文獻歸納，廢污水中部分水質污染項目可為作物生長養分而增產，亦可能將有毒物質殘留於作物各部份器官中，除直接造成作物量與質之影響，亦可能使食用的人體或栽培作物的土壤環境間接受害，因此合理利用再生水灌溉雖有助於作物增產，若再生水使用不當，則會造成危害而減產、污染環境；因此利用放流水灌溉應於水再生處理前視其水質污染項及濃度，且避免灌溉至敏感性作物。

本研究即參考相關研究，進行放流水應用於農業生產之栽培驗證，盼可提升生活污

水回收再利用的貢獻，使其作為缺水區域及水質嚴重污染灌區的農業替代用水。以雲林農地為例，因 2020 年起嚴重乾旱，久旱未雨導致地下水層嚴重下降，農民反應抽水量不及過去 3 成，不敷灌溉使用，透過民意代表陳情，會同農委會農田水利署管理處與縣府環保局人員共同會勘協商，盼可取用食品工廠排放水進行灌溉，顯見乾旱情境下農業缺水之窘迫。因此基於水資源多元應用的觀點，以回收放流水實地應用於灌溉，相關成果將可作為放流水再利用於農業生產輔助水源之最佳佐證，間接緩和乾旱期間水資源的供需壓力。

三、放流水應用於農業灌溉之減排調適效益

(一).放流水應用於農業栽培驗證

桃園市現有 11 座以公共民生污水為處理水體的水資中心，7 座已正常營運，每日約可產生 13 萬噸放流水，預估全期處理量合計達每日 37.1 萬噸(桃園市政府水務局，2021a)。考量放流水具備水量穩定、水質可靠的可持續特色，水質符合「農田灌溉排水管理辦法」第 20 條之灌溉水質基準值，且重金屬項目均低於限值，故本研究以應用於農業生產為前提，考量全國短期耕作地中除了短期休閒地占 50.3% 以外，水稻占 33.4%、水稻以外短期作(蔬菜等)占 16.4%，故以水稻與蔬果為國內重要之作物代表，水耕蔬菜則因對水質要求高，且應用高科技進行栽培，故本研究分別以水稻、溫室蔬果、水耕蔬菜等栽培驗證放流水施灌之可行性。

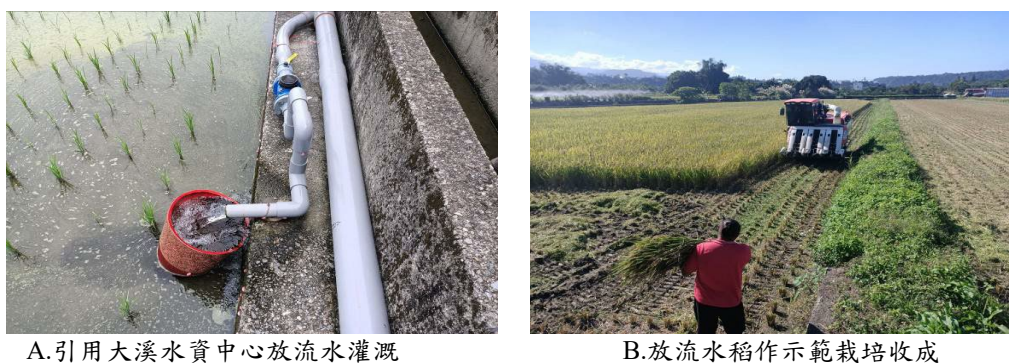
水稻試驗於 2021 年利用大溪水資源回收中心放流水供灌鄰近農地第 2 期作水稻栽培。大溪水資中心設計處理量 3,750 CMD，針對生活污水的污染去除，採中央大學系統(TNCU)，為三級處理等級，以 2020 年為例處理水量介於 2,654~5,278 CMD。水稻栽培，選定林國清(2004)建議第 1、2 期作均適合栽培的台南 11 號，栽培情形如圖 1 所示，稻作栽培採慣行農法栽培，參考楊嘉凌等(2015)於水稻栽培管理技術手冊中提出強化水稻各生育期之灌排水管理方法為現地稻作試驗的用水基準。成果顯示全程使用放流水灌溉之稻田，精米的總產量 4,720 公斤，平均每公頃為 3,147 公斤，產量優於使用大漢溪水源的稻田(精米總產量 4,020 公斤)，良質稻米產量增產 17%。其次田區施肥參酌林國清(2004)建議值，因試驗組引用大溪水資中心水源有較高之總氮(平均值 9.15 mg/L)，栽培過程可減少 1 次氮肥追肥(硫酸銨)，省肥約 5,000(元/ha)。顯示放流水應用於稻作灌溉具備產量及品質提高、減少肥料使用的正面優勢。考量放流水應用於農業灌溉重點為食安問題，使用大溪水資中心放流水全程灌溉之白米，抽樣檢驗項目鎘、鉛、汞、無機砷及黃麴毒素等均符合食藥署規範的食品中污染物質及毒素衛生標準，初步驗證稻作栽培全程使用放流水回收灌溉具食用安全性。

溫室蔬果栽培及水耕蔬菜栽培係於北區水資中心內建置簡易溫室及貨櫃式立體水耕系統進行。北區水資中心設計處理量為 10 萬 CMD，水源類別為都市排水，採 TNCU+MBR 污染去除方式，為三級處理等級，2020 年處理水量介於 45,269~51,972 CMD。其 2020~2021 年放流水水質顯示 SS 符合灌溉水質基準值，惟含氮量偏高。桃園市政府水務局(2021b)於 2020 年以經紫外線 UV 殺菌(稱為過 UV)、未經 UV 殺菌(稱為無過 UV)

放流水及當地農民慣行施灌之灌溉渠道水，進行番茄與小胡瓜之田間栽種結果顯示過UV放流水區小胡瓜鮮重表現較佳(如圖2)。番茄栽種結果顯示放流水對作物鮮重、單位面積產量、葉片長寬等性狀無顯著差異，甜度則以無過UV放流水施灌相對較甜(可達到約5.73度)。

本研究2020年於溫室安裝智慧給水、環控、給肥系統，以北區水資中心放流水進行香瓜及小黃瓜栽培驗證，2座溫室灌溉水源分別使用北區水資中心過UV及無過UV放流水全程施灌，栽培情形如圖3。溫室栽培歷時40日，溫室共使用約46.8噸之放流水回收灌溉。結果顯示放流水澆灌之香瓜、小黃瓜甜度平均約12.1及3.5度，依據衛福部頒布之生鮮即食蔬果規範，檢驗大腸桿菌、大腸桿菌 O157:H7⁷、沙門氏桿菌、單核球增多性李斯特菌等項目均符合生鮮即食蔬果標準，回收放流水應用於溫室果品之灌溉用途已具備食安的基本要求。

水耕蔬菜栽培於北區水資中心內以40呎貨櫃為主要外部設施，內置3組水耕循環系統，引用北區水資中心放流水應用於水耕蔬菜立體栽培(福山萵苣、紅橡木、冰山綠火焰)，栽培情形如圖4所示。因水耕蔬菜栽培之營養液位於封閉循環系統，消耗水量甚低，單次蔬菜栽培歷經約30日，栽培期間分別使用過UV、無過UV放流水灌溉，平均每日耗水量僅25.4~31.1 L/day。蔬菜植株經採集送驗，均符合衛福部頒布之生鮮即食蔬果規範(大腸桿菌、大腸桿菌 O157:H7⁷、沙門氏菌及單核球增多性李斯特菌等4項)，結果顯示3種水耕蔬菜均符合生鮮即食蔬果標準。



A. 引用大溪水資中心放流水灌溉

B. 放流水稻作示範栽培收成

圖1 放流水應用於稻作栽培情形

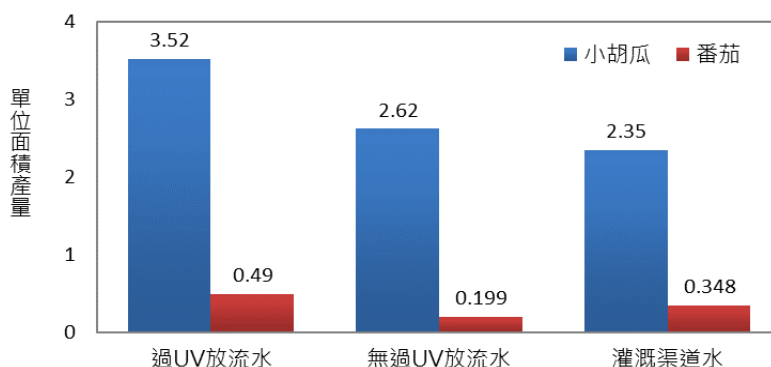


圖2 放流水應用於溫室蔬果之示範栽培情形



A.北區水資中心溫室栽培-小黃瓜



B.北區水資中心溫室栽培-香瓜

圖 3 放流水應用於溫室蔬果之栽培情形



圖 4 放流水應用於立體水耕系統栽培情形

(二).放流水應用之調適效益

本研究配合桃園市 10 大施政方針中「促進資源循環利用：公部門與民間企業均致力於推動循環經濟，公共建設落實資源循環利用(對應 SDGs6、7、9、11、12)」應用放流水於稻作、溫室旱作物、水耕蔬菜栽培，擴大應用放流水至用水需求高之農業灌溉，在氣候變遷乾旱頻傳情境下，倘水資中心放流水可充分運用於灌溉，將可作為一穩定之補充水源，供作乾旱時期之農作生產，顯見其水資源利用效益及後續推廣價值，盼可帶動國內各水資中心放流水應用於農業之調適、減排作為，本研究茲將調適效益說明如下：

桃園市以公共民生污水為處理水體且正營運中之水資中心共 7 座，每日約可產生 8 萬噸放流水(每年則約可供 2,900 萬噸)，將之應用於缺水區域及水質嚴重污染灌區的農業替代用水，約可供灌 800 公頃水稻田。若推廣至全國水資中心，每日剩餘處理水量 100 萬噸，每年有 36,500 萬噸放流水可再利用，約可節省 1.78 座石門水庫有效蓄水量(以 2021 年底石門水庫有效容量 2.0526 億立方公尺估算之)。以石門水庫而言，為滿足桃園與支援新竹部分用水，每年需運轉至少 4 次以穩定供水，若配合開源政策，擴大放流水再利用，可減緩局部區域缺水壓力。

應用放流水作為水稻灌溉水源，除了穩定農業生產外，亦具備穩定農田原有三生功能中地下水資源涵養功能，水稻田需湛水深或土壤水分飽和的方式進行田間管理，因此透過放流水供應大面積的稻作栽培用水方式，即為補注國土地下水最佳且最直接之途徑。水稻全年度種植兩期作，第一期作及第二期作之栽培用水日數分別為 120 日及 110 日，其中扣除曬田日數，須以湛水深或土壤水分飽和的型式進行栽培之日數分別為 100 日及

90 日；以桃園市為例，每日水資中心放流量 8 萬噸為應用基準，依桃園市土壤類別分別為黏土(20%)、黏質壤土(49%)、砂質黏壤土(13%)、砂質壤土(19%)，配合台灣省水利局之土壤入滲量經驗值推估出桃園市透過穩定稻作灌溉用水之地下水補注量，第 1 期作及第 2 期作分別為 780 萬噸、702 萬噸，全年度約 1,500 萬噸。

若將此模式複製到全台灣現有 72 座公共污水處理廠，扣除 27 座工業用再生水廠，剩餘處理水量約 100 萬噸，可依照桃園市支援農業灌溉用水模式供灌，約可供灌 10,000 公頃，依此模式之地下水補注涵養量估算，第 1 期作及第 2 期作分別為 1 億噸、0.9 億噸，全年度約 1.9 億噸，將近 1 座石門水庫蓄水量，顯見穩定稻作栽培對於透過入滲補注地下水方式涵養國土地下水資源貢獻相當顯著。

(三).放流水應用之減排效益

由近 3 年桃園市水資中心放流水水質資料(如表 1)，除了北區、楊梅放流水氨氮高於灌溉水質基準值，其餘項目均符合基準值。依據農委會水稻施肥推薦量及施肥方法，粳稻氮素推薦量為一期作 110~140、二期作 90~120 kg/ha；秈稻則為一期作 130~150、二期作 100~120 kg/ha；另台南 11 號全期氮素可使用到 150 kg/ha(林國清，2004)，故以水稻一個期作需要氮素 150 kg/ha 計算，因放流水的氨氮濃度高於一般溪水，以放流水供灌恰可提供水稻生長過程所需氮肥，且間接達成政府推動合理化施肥、保護農地的效益。

表1 北區、大溪、石門、楊梅水資中心2019~2021年放流水水質資料

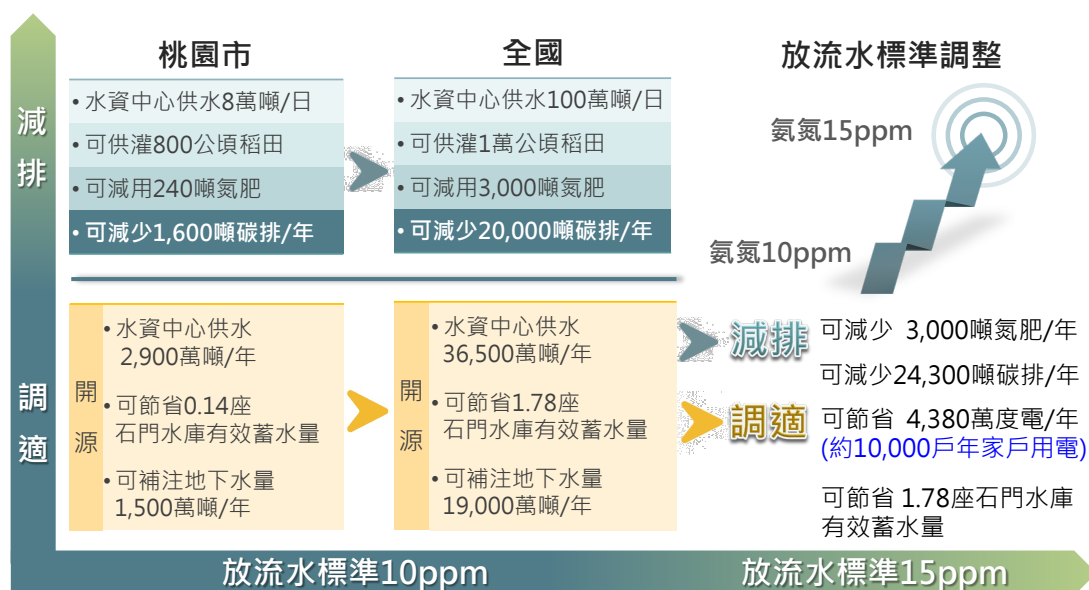
項目	處理水量 (CMD)	pH 值	水溫 (°C)	導電度EC (µs/cm)	懸浮固體SS (mg/L)	氨氮 (mg/L)	總油脂 (mg/L)
檢測頻率	日	日	日	日	日	週	季
北區	48,786	6.98	25.3	534	7.4	9.0	無資料
大溪	3,747	6.97	25.0	343	7.8	1.1	無資料
石門	2,872	6.95	24.7	334	4.5	0.9	0.9
楊梅	2,447	6.93	24.3	469	10.7	3.3	5.7
灌溉水質基準值		6~9		750	100.0	3.0	5.0

根據 2019 年政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)發表的氣候變遷和土地報告，自 1961 年以來，全球農業肥料的使用量增加了 9 倍，臺灣單位種植面積化學肥料用量則成長了 3 倍(1961 年 0.437 公噸/公頃；2016 年 1.33 公噸/公頃)。2007~2016 年間，全球 N₂O 排放量平均每年淨增加 430 萬噸，其中人為 N₂O 排放量成長 30%，上升到每年 730 萬噸，其中 50% 以上來自提高農業產量的氮肥。桃園市政府水務局(2021b)採用經處理之放流水進行栽培驗證，針對放流水氮含量偏高之現象，以科學化方式計算對作物肥培管理之影響，可進而降低氮肥施用量。以旱作物-番茄栽培試驗為例，依照作物施肥手冊之建議：每公頃施用 10 公噸堆肥的情況下，採北區水資中心放流水澆灌每公頃約可減少使用 170 kg 氮肥。

本研究進一步以大溪水資中心放流水進行水稻栽培驗證，氨氮為作物肥料主要施用元素，經由灌區水稻栽培所需肥份換算，並經 2021 年示範栽培驗證，可減少追肥次數 1~2 次，若以台南 11 號稻米全期耕種所需氮素每公頃 150 kg 估算，全程以放流水灌溉

取代氮肥施用，以桃園市目前每日 8 萬噸放流水量可供灌 800 公頃水稻田，每公頃減用 150 kg 氮肥，每年 2 期作約可減用 240 噸氮肥，以每公噸氮肥碳排係數 6.67 噸 CO₂ 估算，則可減少 1,600 噸碳排/年。將全國現有水資中心剩餘處理水量 100 萬 CMD 轉為農業灌溉補充用水，約可供灌 10,000 公頃水稻田，則每年可減用 3,000 噸氮肥，相當於每年減少 20,000 噸碳排。

上述減排效益係以放流水標準之氮氮限值 10 mg/L 計算，另依公共污水下水道系統放流水水質標準，排放於自來水水質水量保護區內者氮氮限值为 10 ppm，參考農委會水稻施肥推薦量第 1、2 期作粳稻或秈稻可忍受最大氮素分別為 14、15 mg/L，以此可作為放流水標準氮氮限值調整為 15 ppm 之依據，則應用放流水供灌每年可減少使用 3,000 噸氮肥、減少 24,300 噸碳排、節省 4,380 萬度電，減排、調適效益驚人，如圖 5 所示。



註：2021年底石門水庫有效容量2.0526億立方公尺

圖 5 應用回收放流水供灌可達成之減排調適效益

四、結論

臺灣部份地區因水資源競用，水庫供灌水量不足，致使下游灌區引取區域排水作為補注水源供灌，造成部份農地土壤污染，2019 年桃園市農地污染面積為 113.4 ha。本研究以生活污水為處理對象之放流水供灌，水質穩定無重金屬污染疑慮，可作為缺水區域及水質嚴重污染灌區的農業替代用水或支援用水。放流水的氮氮濃度略高，經栽培驗證恰可提供水稻生長過程所需氮肥，以放流水灌溉減少農民肥料使用量，降低農業施作過程對土壤、水的污染，同時可節省耕作成本，減排調適效益顯著。

面對 2050 年淨零挑戰，農委會率先宣示，2040 年達成農業淨零排放，透過「減量」、「增匯」、「循環」和「綠趨勢」，增強臺灣農業韌性。本研究不僅擴大放流水再利用層面，經處理後之放流水可再利用的含「氮」量豐富的特性，應用於農業生產具節能減碳之效益，農作物是最省成本和最直接的除碳方式，減碳是我國農業加值化的下一步。透過運用放流水進行灌溉減少氮肥使用，亦可促進「2050 淨零轉型」目標達成。

參考文獻

1. Chaiprapat, S. and Sdoodee, S., 2007, Effects of Wastewater Recycling from Natural Rubber Smoked Sheet Production on Economic Crops in Southern Thailand. Resources, Conservation and Recycling. 51(3), P.577-590.
2. Cristina, B-C, Ana Rita, L., Ivone, V-M., Elisabete, F. S., Célia, M. M. and Olga, C. N., 2015, Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in Soil Fertility and Human and Environmental Health. Environment International, 75, P. 117-135.
3. Leonel, L. P. and Tonetti, A. L., 2021, Wastewater Reuse for Crop Irrigation: Crop Yield, Soil and Human Health Implications Based on Giardiasis Epidemiology. Science of the Total Environment. 775, 145833.
4. Shilpi, S., Seshadri, B., Sarkar, B., Bolan, N., Lamb, D. and Naidu, R., 2018, Comparative Values of Various Wastewater Streams as a Soil Nutrient Source. Chemosphere. 192, February. P.272-281.
5. 內政部營建署，2013，公共污水處理廠放流水回收再利用示範推動方案(核定本)。
6. 林國清，2004，水稻新品種台南 11 號之育成，農委會臺南區農業改良場研究彙報，第 45 號，P.1-25。
7. 桃園市政府水務局，2021a，桃園市智慧多元節水防災抗旱調適技術之評估委託專業服務。
8. 桃園市政府水務局，2021b，桃園市再生水再利用於農田灌溉之委託服務計畫。
9. 張超品、劉洪祿、吳文勇、齊志明、師彥武，2004，再生(污)水灌溉利用研究，北京水利，第 4 期。
10. 許珮甄，2005，都市污水處理廠放流水再利用於農業灌溉之研究-以八里污水處理廠為例，國立臺北科技大學環境規劃與管理研究所論文。
11. 陳旺助，1996，有機廢水對作物產量、土壤及地下水質之影響，台灣大學農業工程學系碩士論文。
12. 陸紅飛，2020，枯草芽孢桿菌和酵母菌配施對再生水灌溉土壤生境和水稻生理生化的影響，中國農業科學院博士論文。
13. 馮紹元、齊志明、黃冠華、王亞平，2003，清、污水灌溉對冬小麥生長發育影響的田間試驗研究，灌溉排水學報，第 3 期，P.11~14。
14. 楊嘉凌、鄭佳綺、許志聖，2015，生產優質稻米的栽培管理技術，農委會臺中區農業改良場臺中區農業技術專刊，193 期，水稻栽培管理技術手冊。
15. 經濟部水利署，2021，再生水之供需潛勢調查及媒合利用。