

酒廠放流水對高粱吸收常量元素之影響

THE EFFECT OF DISTILLERY WASTEWATER ON MACROELEMENTS IN THE SORGHUM PLANT

國立臺灣大學
生物環境系統工程學系
副教授

江 莉 琦*

Li-Chi Chiang

國立臺灣大學
生物環境系統工程學系
碩士班研究生

黃 其 軒

Chi-Hsuan Huang

國立臺灣大學
生物環境系統工程學系
研究助理

廖 啟 鈞

Ci-Jyun Liao

財團法人農業工程研究中心
資源組
研究員

陳 豐 文

Feng-Wen Chen

摘 要

金門位於福建省東南方海面上，為台灣離島，島上無巨川長流，平均年雨量約 1,072 mm，僅有台灣的 40 % 左右，且雨量分布極不均勻，有 75 % 集中在 4 月至 9 月，年蒸發量約 1,653 mm，造成金門降雨不足但蒸發量大之乾燥氣候，對金門農業用水環境構成了極大挑戰。鑑於金門地區天然水資源有限，必須開發其他水源，金門酒廠放流水具有可利用價值，但其中含有高濃度的鎂 (Mg)、鈉 (Na)、鉀 (K) 等常量元素。因此，本研究在金門農業試驗所之試驗田進行高粱栽種試驗，使用稀釋後之酒廠放流水進行灌溉，以評估常量元素對作物之影響。

灌溉水質分析結果顯示，添加金門酒廠放流水之灌溉水之鈉吸著率 (SAR)、電導度 (EC)、殘餘碳酸鈉 (RSC) 超出台灣灌溉水質基準值規範 ($EC = 750 \mu S/cm @ 25^\circ C$, $SAR = 6.0 (meq/L)^{1/2}$, $RSC = 2.5 meq/L$)，但可適用於耐鹽作物。高粱各部位之常量元素濃度結果顯示，根部之鉀和鈉濃度最高；葉片之鈣和鎂濃度最高；常量元素之迴歸分析結果說明，根、莖、葉和穀中之鈣、鎂、鈉和鉀之間存在顯著相關性，說明各部位之常量元素吸收會互相影響。基於試驗結果，本研究結果可作為未來制定水資源再利用方案之參考，即將酒廠放流水與現有灌溉水混和使用，達到有效提高水資源再利用效率並減輕農業缺水困境之目標。

關鍵詞：酒廠放流水、鈉、鈉吸著率、殘餘碳酸鈉、水資源再利用。

* 通訊作者，國立臺灣大學生物環境系統工程學系副教授
106 台北市大安區羅斯福路四段 1 號 · lchiang@ntu.edu.tw

THE EFFECT OF DISTILLERY WASTEWATER ON MACROELEMENTS IN THE SORGHUM PLANT

Li-Chi Chiang*

National Taiwan University
Department of Bioenvironmental Systems
Engineering

Ci-Jyun Liao

National Taiwan University
Department of Bioenvironmental Systems
Engineering

Chi-Hsuan Huang

National Taiwan University
Department of Bioenvironmental Systems
Engineering

Feng-Wen Chen

Agricultural Engineering Research Center
Resource Division

ABSTRACT

Kinmen is an outlying island of Taiwan, located in the southeastern sea area of Fujian Province. The island lacks major rivers and has an average annual rainfall of about 1,072 mm, which is only around 40 % of Taiwan's average. Moreover, the rainfall distribution is highly uneven, with 75 % of it concentrated between April and September. With an annual evaporation of about 1,653 mm, Kinmen experiences a climate characterized by insufficient rainfall but high evaporation, posing significant challenges to its agricultural water environment. Given the limited natural water resources in the Kinmen region, it is necessary to explore alternative water sources. The effluent from Kinmen Kaoliang Liquor holds potential utility; however, it contains high concentrations of macroelements such as magnesium (Mg), sodium (Na), and potassium (K). Therefore, this research conducted sorghum cultivation experiments in the experimental fields of the Agricultural Research Institute, Kinmen County, using diluted distillery effluent for irrigation to assess the impact of macroelements on crops.

The results of the irrigation water quality analysis indicate that the sodium adsorption ratio (SAR), electrical conductivity (EC), and residual sodium carbonate (RSC) of the effluent from Kinmen Kaoliang Liquor exceed the Taiwan Irrigation Water Quality Standard ($EC = 750 \mu S/cm@25^{\circ}C$, $SAR = 6.0 (meq/L)^{1/2}$, $RSC = 2.5 meq/L$). However, it may be suitable for salt-tolerant crops. The concentration of macroelements in various parts of the sorghum plant shows that the highest potassium and sodium concentrations are in the root, while the highest calcium and magnesium concentrations are in the leaf. The results of the regression analysis of macroelements in root, stem, leaf, and grain indicate significant correlations among those four macroelements in these plant parts. Based on the experimental results, this research can be used as reference to formulate a new water resource reuse strategy, which is mixing the distillery effluent with the existing irrigation water. The diluted distillery effluent has the potential to significantly enhance water resource reuse efficiency and mitigate the challenges faced by the agricultural environment.

Keywords: Distillery effluent, Sodium, Sodium adsorption ratio (SAR), Residual sodium carbonate (RSC), Water resource reuse.

Chiang, L.C.*, Liao, C.J., Huang, C.H., & Chen, F.W. (2024). "The Effect of Distillery Wastewater on Macroelements in the Sorghum Plant" *Journal of Taiwan Agricultural Engineering*, 70(1), 11-23.
[https://doi.org/10.29974/JTAE.202403_70\(1\).0002](https://doi.org/10.29974/JTAE.202403_70(1).0002)

一、緒論

1.1 研究動機

隨著社會經濟發展，用水需求逐日增加，但在環保意識抬頭的共識下，實現可持續發展的目標、保護環境、節水計畫、廢水再生、重建自然水循環等方法都是需要被重視的 (Hwang, 2003)。經過處理之廢水具有相當大的潛力作為灌溉替代水源，特別是在缺水的地方 (Howell *et al.*, 2015)。水資源匱乏的地區面臨氣候變化的挑戰，如：南非透過廢水回收做為解決辦法 (Adewumi *et al.*, 2010)；在中國和其他乾旱地區，回收水已被廣泛應用於農業灌溉用水 (Wang *et al.*, 2007; Mapanda, 2005)。而且使用再生水灌溉農田可降低水資源處理的成本，也能降低污水處理廠的負擔 (Jang *et al.*, 2010)。此外，經過處理的酒廠放流水中之殘留物質可作為作物和土壤營養來源之一 (Howell and Myburgh, 2018)。Alkhamisi *et al.* (2011) 研究結果指出，再生水灌溉的植物株高比淡水灌溉的高，而葉長和葉面積沒有顯著差異。再生水灌溉的植物其葉綠素含量亦較高。廢水灌溉的植物比淡水灌溉的植物要長得高主要歸因於水中的高含量氮元素和鹽度，因此經過處理的廢水用以灌溉可以提高飼料作物的產量及水資源使用率。

國外已有許多研究探討施灌回收水對作物的影響，使用處理過或未經處理之廢水進行現地灌溉，會造成土壤 pH 值降低、有機質增加，並造成土壤重金屬 (Cd、Cr、Cu、Fe、Mn、Ni、Pb 及 Zn) 累積 (Kiziloglu *et al.*, 2008; Rattan *et al.*, 2005)。Rattan *et al.* (2005) 評估污水灌溉對土壤、植物和地下水中重金屬含量的長期影響，研究結果表明，與地下水相比，污水中的 P、K、S、Zn、Cu、Fe、Mn 和 Ni 含量要高許多，但作為灌溉水而言，金屬含量仍在允許範圍內。廢水具有不同濃度的陽離子 (K、Ca、Mg、Na) 能影響土壤鹼基飽和度，因此廢水應用可增加土壤有機質，進而增加了其陽離子交換能力 (CEC) (Arienzo *et al.*, 2009)。國外文獻亦指出回收再利用廢水可能有環境及人體健康風險存在，使用廢水灌溉需同時評估土壤、水資源、公共健康，並考慮土壤及植物的生理與型態。回收水再利用必須確認、了解污水特性，以規劃適當的處理、儲存、分配系統，回收水灌溉需要確認其對土壤、作物灌溉適應性，且必須考量土壤在進行回收水灌溉後所造成的物理化學變化 (Leonel and Tonetti, 2021)。美國多數州參考美國環保署於 2004 年修訂之「水再利用

指引」(Guidelines for Water Reuse) 後，訂出處理標準或準則，助於規畫水再生方案和制定適當條例，亦有益於評估、規劃、設計等工作；日本國土交通省公告「再生水水質及再生處理準則」、厚生勞動省公告「建築物水回收衛生確保施行令」，可作為各都道府縣訂定再生水水質準則或標準之依據，包括沖廁、噴灑、景觀、親水等用途；新加坡之再生水多用於工業及高科技業用水，或用於都市雜項之次級用水用途；歐盟各國之再生水以農業灌溉用途為主，考量風險問題，將水質標準分為化學指標與微生物指標兩大類；國內再生水利用之水質標準僅有環境部之「建築物生活污水回收再利用建議事項」，其他都市、工業或農業利用未有依循標準，相關用途水質標準之規範有訂定之必要 (施堅仁等, 2010; 潘文炎等, 2018)。台灣於 2015 年通過「再生水資源發展條例」，根據條例對於再生水之定義，可區分為系統再生水及非系統再生水，適合利用用途包含工業清洗用水、農業補充用水、生態用水、都市雜用水等，公共污水處理廠及工業區廢水處理廠放流水，其水量大且水質符合放流水標準，具有高度再生利用潛勢，尤其是公共污水處理廠放流水具有水質單純且穩定之特性 (潘文炎等, 2018)。

金門地區年蒸發量約 1,653 mm，年降雨量約為 1,072 mm，形成蒸發量大於降雨量之乾燥氣候，且每年會發生 2~4 次之連續不降雨天數達 30 天以上，受環境與氣候影響，當地農業受到許多限制，僅適於種植高粱、小麥、甘藷等較能抗旱之雜糧作物。近年來受氣候變遷影響，極端事件頻繁，導致金門地區常耕種的高粱與小麥有灌溉水源不足之情況，鑑於金門地區天然水資源有限，必須開發其他水源，而金門酒廠放流水具有可利用價值。因此，本研究進行金門地區高粱栽種試驗，評估不同酒廠放流水稀釋比例的灌溉水對高粱吸收常量元素 (鈣、鎂、鈉、鉀) 之影響。

二、研究區域與方法

2.1 研究區域

金門縣位於福建省東南方廈門灣海面上，距台灣 150 哩 (約 277 公里)，金門本島東西長約 20 km，總面積約 153 km²。島上沒有巨川長流，也無高山遮蔽，最高的北太武山標高僅 262 m，易受大陸東北季風直接吹襲，每年蒸發量超過 1,600 mm，平均降雨量不足 1,100 mm，常有缺水情形發生，對農作物之生長影響非常明顯。本研究現地試驗區位於金湖鎮之金門縣農業試驗

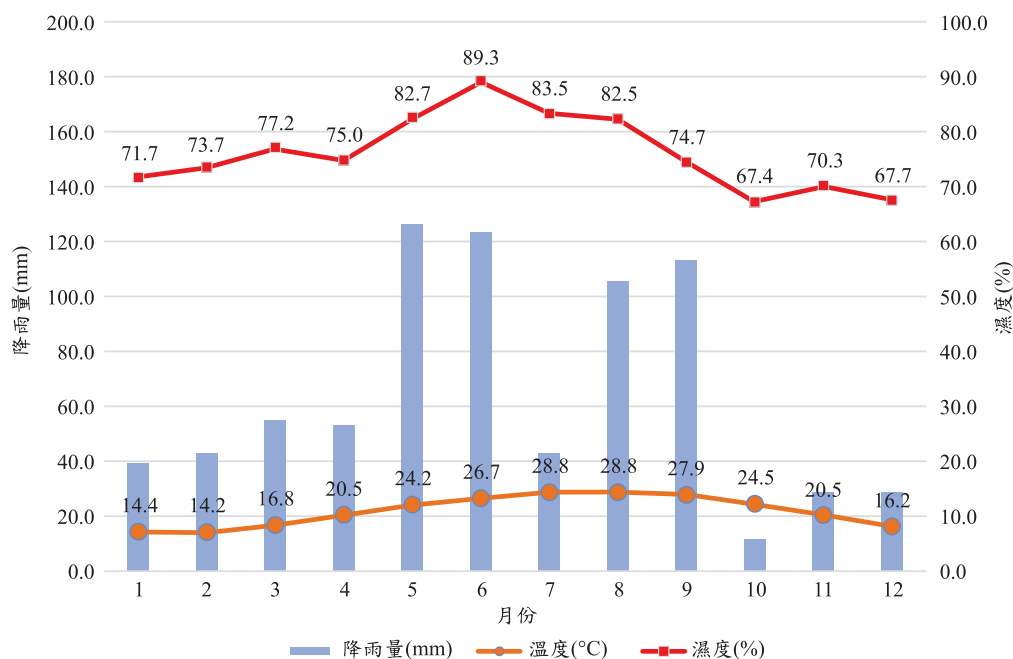


圖 1 金沙氣象站之月平均降雨量、溫度和相對濕度

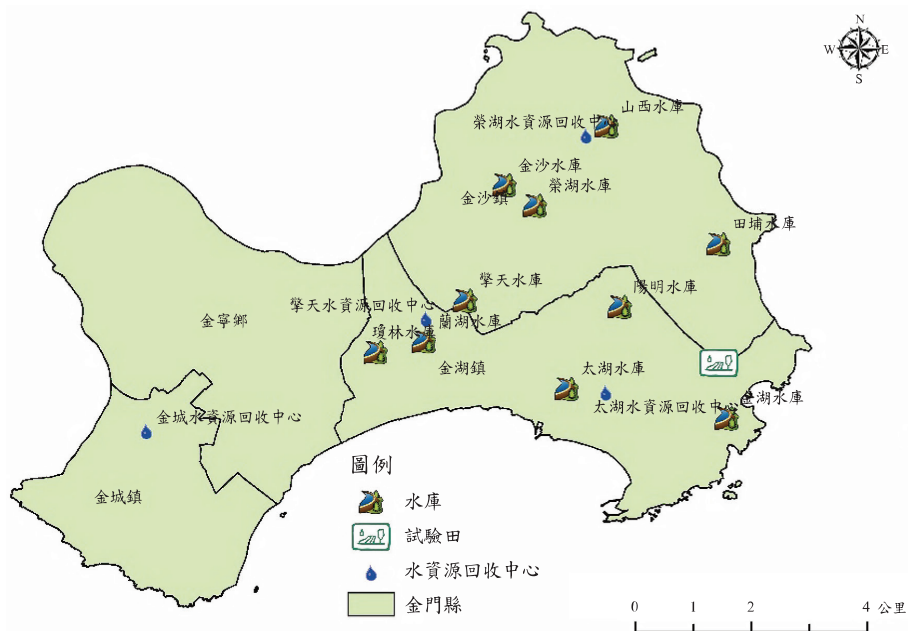


圖 2 水庫、水資源回收中心與試驗田位置圖

所，當地氣候條件參考金沙氣象站之資料 (圖 1)，金門屬亞熱帶海洋氣候，平均氣溫為 21 度，7、8 月份最高氣溫可達 33 度，最冷為 12 月至隔年 3 月只有 14 ~ 16 度，全年降雨分布不均，每年 4 月至 9 月為雨季，10 月至翌年 3 月為旱季，平均相對濕度 76%，每年 5 月至 8 月間濕度較高，平均相對濕度為 82 % ~ 89 % 之間，9 月至隔年 4 月間相對濕度較低，約為 67 % ~ 77 % 之間。

金門缺少廣大湖泊、綿長河流，加上蒸發量大於降雨量之氣候，突顯金門水資源先天條件上之不足，因此水庫與水資源回收中心在金門地區更顯重要性。金門本島共有 10 座水庫，分別為：金沙、榮湖、田埔、擎天、山西、太湖、陽明、瓊林、蘭湖與金湖水庫；4 座水資源回收中心為：金城、太湖、榮湖、擎天水資源回收中心 (圖 2)，水庫供水與水資源回收中心輸送之放流水在金門地區之民生與農業用水有著相當重要

之地位。

2.2 試驗設計與方法

本試驗於金門縣農業試驗所試驗田進行，試驗田位於農試所東方環島東路上（圖 2），佔地面積 970 m²，設計五種灌溉用水配比，灌溉水源為后壠溪溪水與金門酒廠（簡稱：金酒）放流水。灌溉水配比說明如下：后壠溪溪水為控制組、20 %金酒放流水與 80 %后壠溪溪水為實驗第 1 組（20 %KKL）、40 %金酒放流水與 60 %后壠溪溪水為實驗第 2 組（40 %KKL）、60 %金酒放流水與 40 %后壠溪溪水為實驗第 3 組（60 %KKL）、80 %金酒放流水與 20 %后壠溪溪水為實驗第 4 組（80 %KKL）。每一儲水桶容量為 2 噸，灌溉方式以穿孔管灌溉，每一灌溉水配比皆進行三重複試驗種植，田間每一試驗區大小為 20 m²，試驗區間隔 2.5 m，不同配比之試驗區間隔 3 m，以避免不同的灌溉水影響試驗結果（圖 3）。

在田區試驗進行前，採取試驗田不同位置之土壤混樣後分析其性質，土壤種類為壤質砂土（82 %砂粒、4 %粉粒、14 %黏粒），適合種植高粱與小麥；有效性磷、有效性鉀、鈣、鎂與鈉含量高，顯示土壤肥沃度

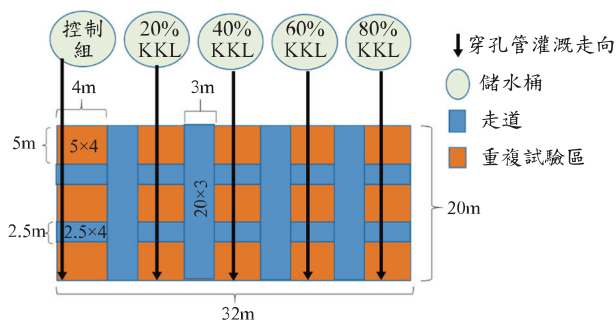


圖 3 試驗田設計示意圖

高；pH 為 5.32 表該土壤為酸性土壤，土壤在此酸鹼度下，釋放養分供給植物生長之效果佳。利用后壠溪溪水與金門酒廠放流水混和調配不同比例之灌溉水作為試驗灌溉用水，於作物澆灌前進行性狀調查（如：株高、株鮮重等）與採樣分析。在作物收成後，檢測土壤在作物種植前與收成後之酸鹼度、電導度、有效性磷、有效性鉀等；植體分析八大重金屬、鎂、鈣、鈉等金屬含量；試驗灌溉用水分析八大重金屬、酸鹼度、電導度、氯鹽、硫酸鹽等，以研析不同比例之灌溉用水對土壤與植體之影響。分析儀器包含：攜帶式測試計、離子層析儀、分光光度計、感應耦合電漿光學發射光譜儀與總有機碳分析儀等精密儀器。

2.3 試驗灌溉配水

本研究於現地栽種試驗每次灌溉前皆採集水樣，1 組控制組灌溉水與 4 組實驗組灌溉水，再額外檢測金酒放流水原水（100 %KKL），共 6 組水樣進行分析，總計採集 4 次樣本。依照金門農試所種植經驗建議，視氣候狀況（如：降雨、氣溫等）決定灌溉頻率，因此，在種植期間每一試驗組皆進行 8 次灌溉，共計 16 噸水。表 1 顯示檢測 4 次不同組合灌溉水水質檢測項目之平均值，pH 介於 6 ~ 7.7 符合台灣灌溉水質標準；EC 為 590 ~ 3600 (μS/cm@25 °C) 間，只有控制組水質符合標準；鈉吸著率 (SAR) 為 7 ~ 28 (meq/L)^{1/2}，皆超出標準；殘餘碳酸鈉 (RSC) 為 0.39 ~ 3.5 (meq/L)，80 %KKL 與 100 %KKL 不符合標準；K 介於 14 ~ 240 (mg/L) 間，皆超出標準；Ca 為 15 ~ 29 (mg/L) 間，皆符合標準；Mg 為 6 ~ 75 (mg/L) 間，皆符合標準；Na 為 140 ~ 1,200 (mg/L) 間，只有 100 %KKL 不符合標準。本研究透過不同比例之混和灌溉水，評析酒廠放流水對高粱吸收常量元素之影響。

表 1 試驗灌溉用水水質分析

	控制組	實驗組 (KKL)					標準值
		20 %	40 %	60 %	80 %	100 %	
pH	6.35±0.45	6.95±0.24	7.27±0.24	7.45±0.30	7.58±0.34	7.73±0.35	6.0-9.0 ¹
EC (μS/cm@25 °C)	591.70±34.47	917.55±58.65	1533.75±107.05	2051.25±213.74	2680.75±372.02	3140.75±458.52	750 ¹
SAR ((meq/L) ^{1/2})	7.04±0.65	11.40±4.19	15.34±1.87	18.74±5.12	22.33±5.57	28.42±6.84	6.0 ¹
RSC (meq/L)	0.39±0.16	0.22±0.25	1.19±0.29	2.01±0.48	2.71±0.68	3.47±1.04	2.5 ¹
K (mg/L)	14.95±6.12	18.15±1.20	58.25±9.81	111.75±17.46	156.75±28.59	212.50±26.86	0-2 ²
Ca (mg/L)	27.40±2.26	27.75±0.5	25.00±1.41	23.50±2.89	19.25±4.65	20.00±5.48	0-802 ²
Mg (mg/L)	6.43±0.68	12.50±2.38	24.75±6.90	36.75±9.46	45.00±16.55	54.00±20.85	0-121.5 ²
Na (mg/L)	157.45±13.05	287.00±104.82	449.75±59.02	610.00±112.60	773.25±194.63	1039.75±137.48	0-920 ²

註：¹ 台灣灌溉水質基準值；² Shahinasi and Kashuta (2008)。

三、結果與討論

3.1 不同植體部位之常量元素濃度

本次高粱現地栽種試驗時間為 2022 年 7 月 ~ 2022 年 11 月，生長期約 105 天，高粱品種選用金門當地最大宗-台中五號。根據表 1 所檢驗之水質項目，金門酒廠放流水含有大量之鈣、鎂、鈉、鉀，可能會對作物生長產生影響，因此針對植體之根、莖、葉、穀進行相關檢驗，分析常量元素在植體各部位之濃度分布。

試驗用灌溉水中含有大量的鈣、鎂、鈉、鉀，可作為植體之養分來源之一，適當的養分可促進植株生長，表 2 顯示控制組與 4 組實驗組於生長期所採集高粱作物樣本不同植體部位之平均常量元素濃度。鉀在植體各部位之濃度大小依序為：根 > 莖 > 葉 > 穀；鈣在植體各部位之濃度大小依序為：葉 > 根 > 莖 > 穀；鎂在植體各部位之濃度大小依序為：葉 > 穀 > 莖 > 根；鈉在植體各部位之濃度大小依序為：根 > 莖 > 葉 > 穀。其結果與國外研究相近，鈉大多集中在根 (Mirck and Volk, 2012)，鈣和鎂在葉子上濃度最高，比根、莖都高 (Santamaria *et al.*, 1999)；在所有作物器官中，鈣濃度在葉中最高，其次是根 (Mirck and Volk, 2012)。多數土壤提供鈣、鎂、鈉等鹽分來源，根據 Rengasamy (2006) 之調查，鈉鹽在世界上許多鹽化土壤中占主導地位，甚至使土壤出現暫時性鹽度 (transient salinity) 之情況，土壤鈉含量過高對作物是

有害的 (Zhang *et al.*, 2010)，因為種子發芽率和鹽濃度之間呈負相關 (Ramoliya and Pandey, 2003)。因此在灌溉上不宜用含鹽濃度過高之灌溉水進行灌溉，這會使灌溉水引入之鹽分儲存於土壤中進而導致土壤鹽化之問題產生 (Rengasamy, 2016)。

此外，不同元素間相互影響植體吸收之能力大不相同，除了鈣與鎂在所有植體部位皆為正相關之外，其他元素的關係性在不同植體部位並不一致 (表 3)。鉀與鈉在根與莖部位為顯著正相關 ($p < 0.01$)，然而在葉與穀部位鉀與鈉為顯著負相關 (葉： $p < 0.05$ ；穀： $p < 0.01$)。鈉不但會影響作物對鉀之吸收，亦會影響光合作用之強弱，鉀濃度越高，光合作用之產物越多，使根系生長增加 (Krishnasamy *et al.*, 2014)。鉀與鈣在莖與穀部位為顯著正相關 ($p < 0.01$)，然而在葉部位鉀與鈣為顯著負相關 ($p < 0.01$)。鉀與鎂僅在根部為顯著正相關 ($p < 0.01$)，其他部位皆無相關性。鈣與鎂在所有部位皆呈現正相關 (根、莖： $p < 0.05$ ；葉、穀： $p < 0.01$)；鈣與鈉僅在莖、葉呈正相關，在根、穀無相關性。鎂與鈉在根、穀無相關性；莖為負相關 ($p < 0.05$)；葉為正相關 ($p < 0.05$)。

3.2 不同生長期之植體常量元素

在為期四個月之生長期中，高粱歷經播種期、生育期、幼穗形成期 (播種後 40~45 天)、抽穗期 (播種後 60~65 天) 及乳熟期 (播種後 75~80 天)。配合試驗需求，探討不同實驗組之常量元素在高粱不同生長時期之植體濃度變化 (表 4)，藉此分析持續使用混和金門酒廠放流水之灌溉水對植體常量元素累積之變化。鉀在高粱生長 53 天與 83 天的濃度並不受灌溉配水影響，但在生長 67 天時，控制組的濃度最高、60 % 與 80 %KKL 試驗組的濃度最低；在生長 98 天時，80 %KKL 試驗組的濃度最高、20 %KKL 試驗組的濃度最低。鈣在 67 天、83 天、98 天時，不同灌溉用水組合對植體元素濃度無顯著影響，在 53 天時，鈣在 20 %KKL 試驗組的濃度最高、在 80 %KKL 試驗組的濃度最低。鎂在所有生長時期之元素濃度不受灌溉用水

表 2 高粱植體各部位之元素統計分析

	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	Na (g/kg)
根 ¹	22.44±9.65	2.04±0.52	1.11±0.34	2.74±2.04
莖 ¹	20.49±7.41	1.64±0.43	1.23±0.39	0.64±0.53
葉 ¹	20.16±4.35	3.10±1.12	2.42±0.37	0.34±0.23
穀 ²	6.72±2.88	0.56±0.30	1.92±0.24	0.13±0.07

註：¹為 5 組灌溉水組合之高粱植體部位 (根、莖、葉)，共 60 個重複之平均值±標準差，²為 5 組灌溉水組合之高粱植體部位 (穀)，共 75 個重複之平均值±標準差。

表 3 高粱植體各部位之元素相關性分析

	根			莖			葉			穀		
	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na
K	0.096	.601**	.417**	.418**	-0.160	.649**	-.433**	-0.051	-.261*	.557**	0.126	-.552**
Ca		.277*	0.225		.311*	.338**		.700**	.320*		.599**	-0.035
Mg			0.114			-.321*			.309*			0.168

註：**相關性在 0.01 層級上顯著 (雙尾)；*相關性在 0.05 層級上顯著 (雙尾)。

表 4 灌溉用水對高粱不同生長時期之植體元素統計分析

元素	試驗組	不同生長時期			
		53 天 (9/19) ¹	67 天 (10/3) ²	83 天 (10/19) ²	98 天 (11/3) ³
K (g/kg)	控制組	21.68±7.33 ^a	21.54±6.22 ^a	14.32±5.37 ^a	13.46±10.16 ^{ab}
	20 %	23.04±5.79 ^a	17.64±5.77 ^{ab}	13.63±4.83 ^a	10.13±5.46 ^b
	40 %	21.14±5.71 ^a	17.52±4.81 ^{ab}	17.51±11.68 ^a	13.86±9.47 ^{ab}
	60 %	25.96±7.62 ^a	14.13±3.53 ^b	14.40±4.41 ^a	14.76±11.32 ^{ab}
	80 %	26.05±10.46 ^a	16.91±4.64 ^b	14.60±4.79 ^a	19.02±17.12 ^a
Ca (g/kg)	控制組	2.01±0.72 ^{ab}	1.46±0.51 ^a	1.81±0.90 ^a	1.53±1.51 ^a
	20 %	2.07±0.57 ^a	1.78±0.98 ^a	1.94±1.03 ^a	1.68±1.44 ^a
	40 %	1.84±0.59 ^{ab}	1.68±0.77 ^a	1.89±1.20 ^a	1.79±1.64 ^a
	60 %	1.98±0.53 ^{ab}	1.43±0.72 ^a	1.98±1.05 ^a	1.62±1.49 ^a
	80 %	1.51±0.30 ^b	1.76±1.00 ^a	1.91±0.85 ^a	1.81±1.83 ^a
Mg (g/kg)	控制組	1.36±0.76 ^a	1.65±0.62 ^a	1.65±0.74 ^a	1.56±0.66 ^a
	20 %	1.64±0.42 ^a	1.60±0.70 ^a	1.59±0.45 ^a	1.82±0.62 ^a
	40 %	1.68±0.69 ^a	1.73±0.41 ^a	1.62±0.74 ^a	1.86±0.58 ^a
	60 %	1.90±0.63 ^a	1.44±0.51 ^a	1.68±0.54 ^a	1.75±0.56 ^a
	80 %	1.53±0.44 ^a	1.70±0.58 ^a	1.84±0.80 ^a	1.79±0.77 ^a
Na (g/kg)	控制組	0.42±0.44 ^a	0.52±0.74 ^a	1.10±1.26 ^a	0.96±1.19 ^b
	20 %	0.52±0.55 ^a	0.75±1.04 ^a	0.76±0.79 ^a	0.52±0.62 ^b
	40 %	0.77±0.78 ^a	0.95±1.38 ^a	0.94±1.06 ^a	0.76±1.04 ^b
	60 %	0.67±0.59 ^a	0.69±0.87 ^a	1.13±1.40 ^a	0.71±0.79 ^b
	80 %	1.20±1.42 ^a	1.07±1.74 ^a	1.47±1.97 ^a	2.17±3.62 ^a

註：¹為 9/19 高粱植株三個部位 (根、莖、葉) 9 個重複之平均值±標準差；²為 10/3 和 10/19 高粱植株四個部位 (根、莖、葉和穀) 12 個重複之平均值±標準差；³為 11/3 高粱植株四個部位 (根、莖、葉和穀) 18 個重複之平均值±標準差。a、b 表最小顯著差異 (LSD) 在 $p < 0.05$ 時有顯著差異，以黃、綠底色標示。

影響。鈉在 53 天、67 天、83 天時，不同灌溉用水組合對植體元素濃度無顯著影響，在 98 天時，鈉在 80 %KKL 試驗組之濃度最高，且隨著灌溉水之鈉濃度越高，鈉之累積有增加之趨勢 (Santiago-Rosario *et al.*, 2021)。顯示持續使用混和金酒放流水之灌溉水之情況下，植體累積鉀、鈉之變化最大，且鉀濃度相對於其他元素也是累積最多；鈣、鎂之植體累積濃度變化較小。在收成時，鉀與鈉在 80 %KKL 試驗組之濃度最高，20 %KKL 試驗組最低；鈣及鎂較不受混和灌溉水之影響，且鈉鹽在土壤中占主要成分，鹽度之增加與鈉濃度成正比 (Naeini *et al.*, 2006)，鹽度會降低植物吸水之能力並降低其生長速度 (Rengasamy, 2016)，因此，在使用混和灌溉水之比例上不宜添加過量之放流水。

將不同植體部位與試驗用水結果綜合考量，可發現常量元素會隨著生長時期而變化 (表 5)。鉀在不同植體部位會隨著生長時期而遞減，鎂與鈉會隨著生長時期而遞增，而鈣濃度則無較明顯變化趨勢。Hu and Schmidhalter (1997) 與 Khoshgoftarmansh and Siadat (2002) 之研究指出鈉和鉀間有明顯之拮抗關係 (antagonistic relationship)，這種拮抗關係與根吸收鉀和

表 5 高粱在不同生長時期之元素統計分析

	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	Na (g/kg)
53 天 (9/19) ¹	23.57±7.53	1.88±0.57	1.62±0.60	0.72±0.84
67 天 (10/3) ²	17.55±5.46	1.62±0.80	1.62±0.56	0.80±1.20
83 天 (10/19) ²	14.89±6.70	1.91±0.98	1.68±0.65	1.09±1.34
98 天 (11/3) ³	14.25±11.46	1.69±1.56	1.76±0.64	1.02±1.88

註：¹為 5 組灌溉水組合之高粱植株部位 (根、莖、葉)，共 45 個重複之平均值±標準差；²為 5 組灌溉水組合之高粱植株部位 (根、莖、葉和穀)，共 60 個重複之平均值±標準差；³為 5 組灌溉水組合之高粱植株部位 (根、莖、葉和穀)，共 90 個重複之平均值±標準差。

鈉間之直接競爭有關 (Epstein, 1966)。高粱在不同生長時期，各元素之相關性結果如表 6，鉀與鈣在不同時期皆表現顯著正相關 ($p < 0.01$)，鉀與鈉在 53 天、83 天、98 天為顯著正相關 ($p < 0.01$)，然而，鉀與鎂之相關性變化較大，在 53 天時為顯著正相關 ($p < 0.01$)、在 98 天時為顯著負相關 ($p < 0.01$)、在 67 天與 83 天

表 6 高粱在不同生長時期之元素相關性分析

	53 天 (9/19)			67 天 (10/3)			83 天 (10/19)			98 天 (11/3)		
	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na	Ca	Mg	Na
K	.488**	.504**	.604**	.466**	0.089	0.160	.466**	-0.247	.359**	.529**	-.385**	.689**
Ca		.725**	0.028		0.200	0.163		.303*	0.040		.347**	.243*
Mg			-0.019			-.581**			-.587**			-.378**

註：**相關性在 0.01 層級上顯著 (雙尾)；*相關性在 0.05 層級上顯著 (雙尾)。

則無相關性。鈣與鎂在 53 天、83 天、98 天為顯著正相關 (53 天與 98 天: $p < 0.01$ ；83 天: $p < 0.05$)。鈣與鈉僅在 98 天呈正相關 ($p < 0.05$)、在 53 天、67 天、83 天皆無相關性。鎂與鈉在 67 天、83 天、98 天為顯著負相關 ($p < 0.01$)。

3.3 植體常量元素於不同生長期在植體各部位之分佈比例

酒廠廢水之化學成分複雜且多樣，包含大量無機和有機化合物，如：鈉 (Na)、鉀 (K)、鎂 (Mg) 等元素 (Melamane *et al.*, 2007; Papini, 2000)，其對作物毒性之影響多變 (Chapman *et al.*, 2001)。Bories *et al.* (2005) 研究結果顯示酒廠廢水含有高濃度之鈉 (Na) 和鉀 (K)，且與其他農業灌溉用水相比，氮和磷之含量通常較低。透過高粱在不同階段生長期吸收混和灌溉水，

分析植體不同部位常量元素，可研析不同常量元素之累積性，更能分析元素在植體內之移動性，全面瞭解元素對作物生長造成之影響。鉀在未灌溉 (39 天) 與生長初期 (53 天) 時，多集中於葉上，在多次灌溉後，莖之鉀濃度越來越高，於最後收成 (98 天) 時根的濃度最低，莖的濃度最高，顯示莖在生長時需大量的鉀。鈣在未灌溉 (39 天) 與生長初期 (53 天) 時，多集中於葉上，隨著生長，莖與葉之鈣濃度越來越高，於最後收成 (98 天) 時，莖與葉之濃度最高，根最低，顯示鈣會影響莖、葉之生長。鎂在未灌溉 (39 天) 與生長初期 (53 天) 時，多集中於葉上，在多次灌溉後，穀之鎂濃度越來越高，在 98 天時，穀之鎂濃度為最高，根的含量極低，顯示穀生長受鎂影響。鈉在未灌溉 (39 天)、53 天與 67 天時，根的含量極高，隨著生長，逐漸移往莖，收成 (98 天) 時，根與莖濃度遠高於葉和穀 (圖 4 ~ 圖 7)。鉀與鈣移動性相似，最後收

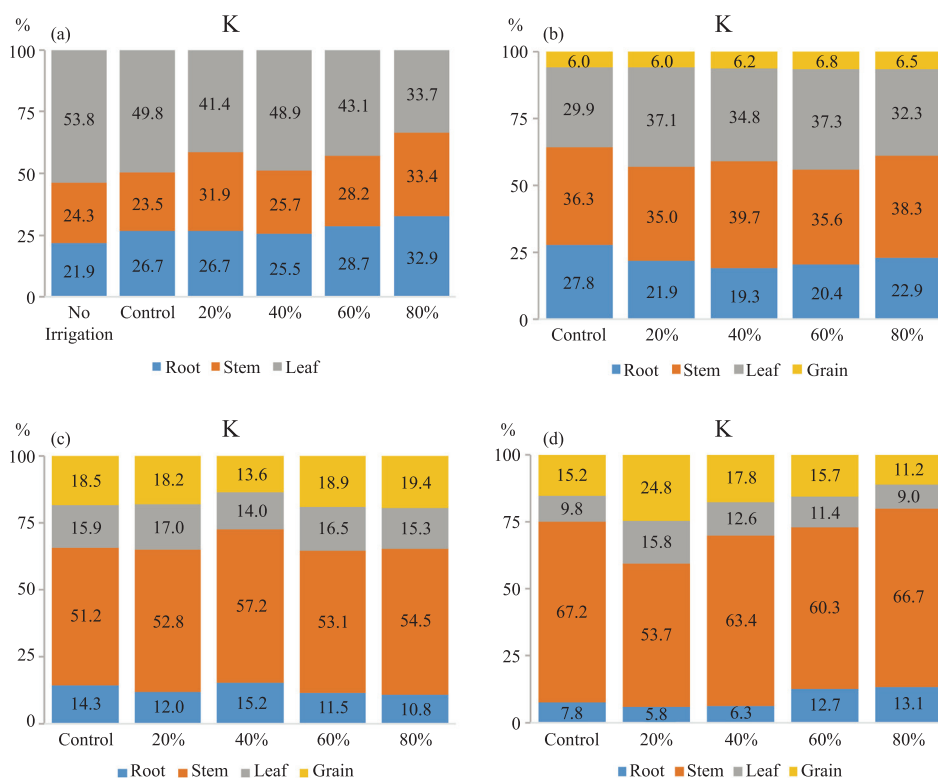


圖 4 鉀 (K) 於不同生長時期在植體各部位之分佈比例 (a) 39 天 (9/5) 未灌溉) & 53 天 (9/19)、(b) 67 天 (10/3)、(c) 83 天 (10/19)、(d) 98 天 (11/3)

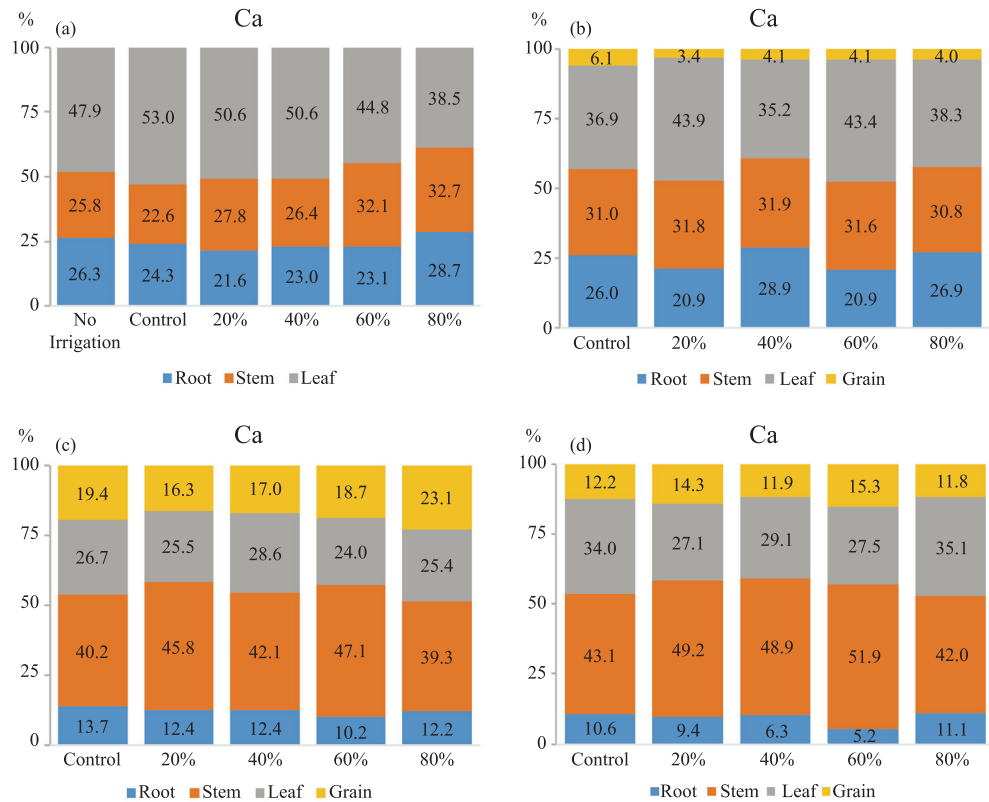


圖 5 鈣 (Ca) 於不同生長時期在植體各部位之分佈比例 (a) 39 天 (9/5 未灌溉) & 53 天 (9/19)、(b) 67 天 (10/3)、(c) 83 天 (10/19)、(d) 98 天 (11/3)

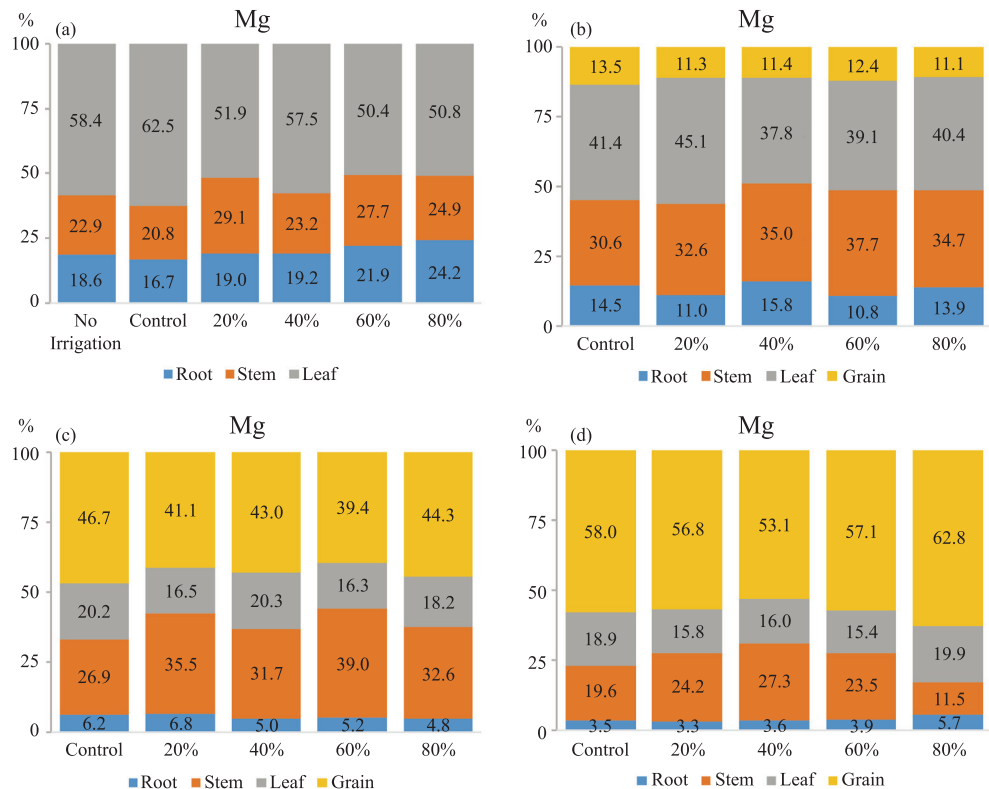


圖 6 鎂 (Mg) 於不同生長時期在植體各部位之分佈比例 (a) 39 天 (9/5 未灌溉) & 53 天 (9/19)、(b) 67 天 (10/3)、(c) 83 天 (10/19)、(d) 98 天 (11/3)

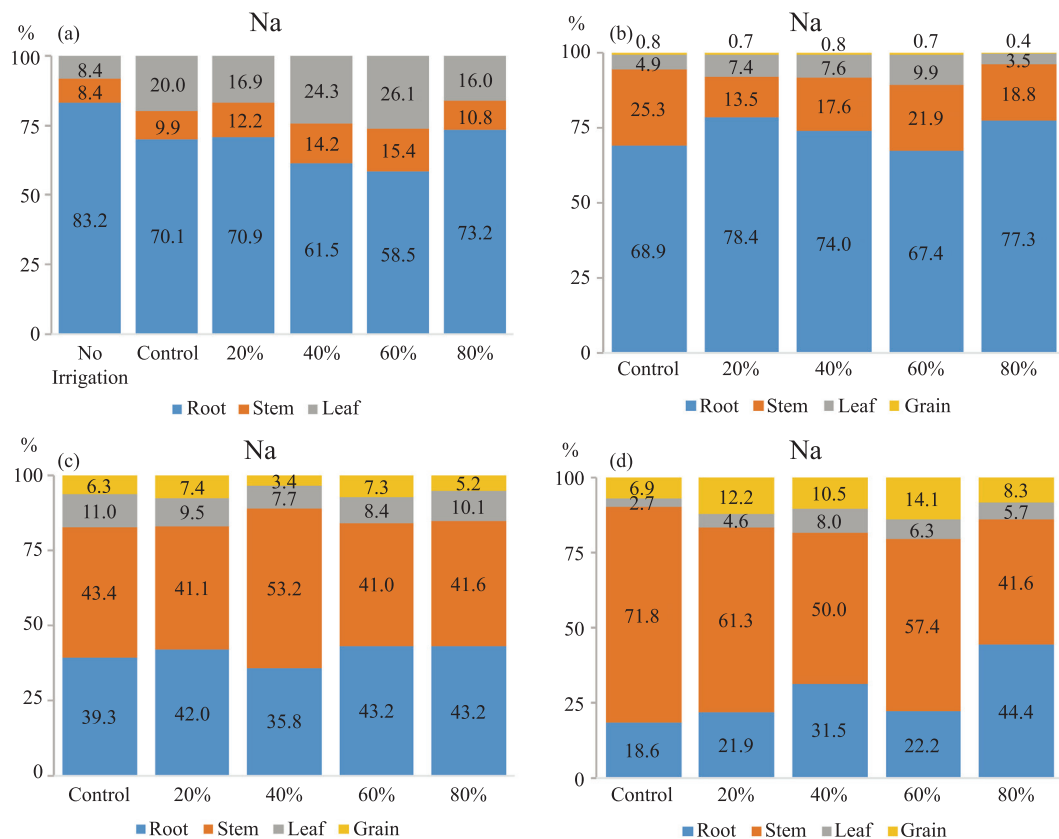


圖 7 鈉 (Na) 於不同生長時期在植體各部位之分佈比例 (a) 39 天 (9/5 未灌溉) & 53 天 (9/19)、(b) 67 天 (10/3)、(c) 83 天 (10/19)、(d) 98 天 (11/3)

成時多集中於莖上；鎂之移動性最快速，收成時多集中於穀；鈉之移動性最為緩慢，生長前期多集中於根，生長中期逐漸往莖移動，最後收成時多聚於莖，因此，移動性快速之元素會影響穀（果實）飽滿，而移動性較為緩慢之元素則影響根與莖之發展。而含有高濃度鈉之灌溉水滲入土壤時，土壤會形成鈉質土壤，會限制根系發展和幼苗發育 (Pearson, 1960)，高鹽度之灌溉水會使滲透導向過程發生變化，在植物根部外溶液之鹽濃度高於根部內細胞之情況下，水會從根部移動至周圍之溶液中 (Allison, 1964)，進而導致作物生長不良和作物產量下降 (Haidarizadeh and Zarei, 2009)。

在許多國家，包括南非、澳大利亞和美國，酒廠放流水經常被用於灌溉缺水地區之牧場或農作物 (Hirzel *et al.*, 2017; Mosse *et al.*, 2012; Oster *et al.*, 2016)。酒廠放流水有大量鹽分、營養物質和礦物質，這些物質在土壤中都會造成土壤鹽鹼化和滲透性降低，進而導致含水層補給不足與地下水水質受影響 (Almuktar *et al.*, 2018; Howell and Myburgh, 2018; Laurenson *et al.*, 2012; Mulidzi *et al.*, 2015; Mulidzi *et al.*, 2016)。

3.4 不同灌溉配水對高粱產量與土壤之影響

作物收成後，將使用不同灌溉水配比之田區土壤做檢測 (表 7)，與田間試驗前結果相比，pH、EC、有效性 K、Na 皆有顯著提升，且隨著使用放流水比例增加而升高，Ca 和 Mg 之濃度分別為 30.3 ~ 73.3 mg/kg 和 14.3 ~ 64.4 mg/kg，皆低於灌溉前土壤樣本之 201.74 mg/kg 和 82.68 mg/kg。結果說明，混和灌溉水可提供高濃度之有效性 K 與 Na 供給作物生長並同時累積於土壤中，而作物吸收土壤中較多之 Ca 和 Mg，因此收成後土壤中 Ca 和 Mg 濃度均低於種植前。酒廠放流水中，含有高濃度之常量元素 (Ca、K、Na、Mg)，顯示放流水具有施肥作用，可促進作物生長 (Ofori *et al.*, 2021)。作物生長好壞與產量有著密切關係 (Pimentel, 2004)，控制組、20%、40%、60%和 80%KKL 之高梁植株平均乾重量分別為 108.1、81.7、107.8、117.3、138.8 公克，其中，40%KKL 之高梁試驗區產量最高，為 2,733.3 kg/ha，其次是 80%、60%、20%KKL，產量分別為 2,533.3 kg/ha、2,250 kg/ha 和 2,016.7 kg/ha，最低產量為 1,450 kg/ha 是採用 100%溪水 (控制組)

表 7 作物收成後試驗田土壤性質

檢測項目	種植前	收成後				
		控制組	20 %KKL	40 %KKL	60 %KKL	80 %KKL
pH	5.32	6.4	6.06	5.88	5.81	5.63
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}@25\text{ }^{\circ}\text{C}$)	193	205	149.6	183	132.7	260
有效性 P (mg/kg)	333.9	251.7	274	215.6	216.7	237
有效性 K (mg/kg)	96.9	72.1	93.3	126.7	136.4	120.9
Ca (mg/kg)	201.74	30.3	73.3	41	33	72.1
Mg (mg/kg)	82.68	64.4	41.1	14.3	15.5	43.5
Na (mg/kg)	11.73	11.2	633.4	95.6	58.7	78.6

灌溉之高粱，顯示酒廠放流水常量元素含量高，對高粱乾重和產量有正面影響，尤以 40 %和 60 %KKL 之試驗組產量表現最為優異。

四、結論

試驗灌溉用水水質顯示，控制組之鈉吸著率 (SAR) 與 K 超出水質標準，而加入金酒放流水之實驗組 SAR、殘餘碳酸鈉 (RSC)、K 皆超出水質標準，且濃度會隨著稀釋比例降低而升高；雖然 Ca、Mg、Na 並無超出標準，但灌溉水含有高濃度鹽類易引起鹽度危害 (Abrol *et al.*, 1988)。灌溉水之電導度 (EC)、SAR、K 和 Na 等為評估酒廠放流水是否可應用其他方面之重要指標 (Howell *et al.*, 2015)，因此當酒廠放流水要做為其他用途時，需要進行有效之好氧或厭氧處理以降低放流水毒性 (Arienzo *et al.*, 2009)。植體各部位常量元素濃度結果顯示，鉀和鈉在根濃度最高；鈣和鎂在葉濃度最高。常量元素迴歸分析結果說明，根之鉀、鎂、鈉之間呈顯著正相關；莖、葉和穀之鉀、鈣、鈉之間呈顯著相關；根和穀之鈣、鎂間呈顯著正相關；莖和葉之鈣、鎂、鈉間呈顯著正相關；莖和葉之鎂、鈉間呈顯著相關，因此，各部位常量元素間之吸收存在密切關連。在混和灌溉水持續灌溉下，植體累積之鉀濃度多於其他元素。隨著高粱生長時間之推進，根、莖、葉和穀之鉀濃度會遞減；鎂與鈉濃度會遞增；而鈣濃度無明顯變化。在生長變化上，鎂會影響穀之豐碩，鈣影響莖、葉之生長，鉀影響莖之生長，鈉則影響根系之發展。因此，在考量土壤鹽化程度及產量上，20 %KKL 產量較低，80 %KKL 易累積大量之鈉，本研究建議以 40 %和 60 %KKL 之灌溉水最為適用，但其影響土壤之結構、成分之反應、鹽類平衡和離子組成之變化、適當之灌溉方式、排水設施及對農業生產之整體影響需做更進一步之探討 (Reitz and Haynes,

2003; Rengasamy and Olsson, 1993; Shainberg and Shalhevet, 2012; Smedema and Shiati, 2002)。

隨著社會經濟發展，用水需求日益增加，放流水使用率可能會逐漸上升，而放流水處理必須受到嚴格之法律規定，否則將會對土壤環境和地下水造成威脅 (Arienzo *et al.*, 2009)。將放流水再利用於灌溉可以緩解農業環境需水之急切和經濟壓力，並可增加全年水資源供應 (Holt-Giménez *et al.*, 2012; Jaramillo and Restrepo, 2017; Jiménez, 2006; Jovanovic, 2008)。因此，本研究將酒廠放流水混和現有之灌溉水源的試驗結果，可做為未來金門地區發展新興水資源再利用策略之參考，以有效減緩農業環境面臨極端氣候之壓力。

參考文獻

- Allison, L. E., "Salinity in Relation to Irrigation," *Advances in Agronomy*, 16, 139-180, 1964.
- Abrol, I. P., Yadav, J. S. P., and Massoud, F. I., "Salt-affected Soils and Their Management (Vol. 39)", Food & Agriculture Org., 1988.
- Alkhamisi, S. A., Abdelrahman, H. A., Ahmed, M., and Goosen, M. F. A., "Assessment of Reclaimed Water Irrigation on Growth, Yield, and Water-use Efficiency of Forage crops," *Applied Water Science*, 1, 57-65, 2011.
- Arienzo, M., Christen, E. W., Quayle, W., and Kumar, A., "A Review of the Fate of Potassium in the Soil-plant System After Land Application of Wastewaters," *Journal of hazardous materials*, 164(2-3), 415-422, 2009.
- Adewumi, J. R., Ilemobade, A. A., and Van Zyl, J. E., "Treated Wastewater Reuse in South Africa: Overview, Potential and Challenges," *Resources, Conservation and Recycling*, 55(2), 221-231, 2010.
- Almuktar, S. A., Abed, S. N., and Scholz, M., "Wetlands

- for Wastewater Treatment and Subsequent Recycling of Treated Effluent: A Review,” *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 23595-23623, 2018.
7. Bories, A., Sire, Y., and Colin, T., “Odorous Compounds Treatment of Winery and Distillery Effluents During Natural Evaporation in Ponds,” *Water Science and Technology*, 51(1), 129-136, 2005.
8. Chapman, J., Baker, P., and Wills, S., “Winery Wastewater Handbook: Production, Impacts and Management”, Winetitles, 2001.
9. Epstein, E., Dual Pattern of Ion Absorption by Plant Cells and by Plants,” *Nature*, 212(5068), 1324-1327, 1966.
10. Howell, C. L., Myburgh, P. A., Lategan, E. L., and Hoffman, J. E., “An Assessment of Winery Wastewater Diluted for Irrigation of Grapevines in the Breede River Valley with Respect to Water Quality and Nutrient Load,” *South African Journal of Enology and Viticulture*, 36(3), 413-425, 2015.
11. Hwang, J. S., “The Development and Management Policy of Water Resources in Taiwan,” *Paddy and Water Environment*, 1, 115-120, 2003.
12. Haidarizadeh, M., and Zarei, M. A., “Effect of Different Sodium Chloride Concentrations on Early Seedlings Growth of Wheat Cultivar (*Triticum Aestivum* L.),” *Journal of Biological Sciences*, 9(2), 188-191, 2009.
13. Hirzel, D. R., Steenwerth, K., Parikh, S. J., and Oberholster, A., “Impact of Winery Wastewater Irrigation on Soil, Grape and Wine Composition,” *Agricultural Water Management*, 180, 178-189, 2017.
14. Howell, C. L., and Myburgh, P. A., “Management of Winery Wastewater by Re-using it for Crop Irrigation-A Review,” *South African Journal of Enology and Viticulture*, 39(1), 116-131, 2018.
15. Holt-Giménez, E., Shattuck, A., Altieri, M., Herren, H., and Gliessman, S., “We Already Grow Enough Food for 10 Billion People... and Still Can't end Hunger,” *Journal of Sustainable Agriculture*, 36(6), 595-598, 2012.
16. Hu, Y., and Schmidhalter, U., “Interactive Effects of Salinity and Macronutrient Level on Wheat. II. Composition,” *Journal of Plant Nutrition*, 20(9), 1169-1182, 1997.
17. Jovanovic, N. Z., “The Use of Treated Effluent for Agricultural Irrigation: Current Status in the Bottelary Catchment (South Africa),” *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 112, 371-380, 2008.
18. Jaramillo, M. F., and Restrepo, I., “Wastewater Reuse in Agriculture: A Review About Its Limitations and Benefits,” *Sustainability*, 9(10), 1734, 2017.
19. Jiménez, B., “Irrigation in Developing Countries Using Wastewater,” *International Review for Environmental Strategies*, 6(2), 229-250, 2006.
20. Jang, T., Lee, S. B., Sung, C. H., Lee, H. P., and Park, S. W., “Safe Application of Reclaimed Water Reuse for Agriculture in Korea,” *Paddy and Water Environment*, 8, 227-233, 2010.
21. Kiziloglu, F. M., Turan, M., Sahin, U., Kuslu, Y., and Dursun, A., “Effects of Untreated and Treated Wastewater Irrigation on Some Chemical Properties of Cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and Red Cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) Grown on Calcareous Soil in Turkey,” *Agricultural water management*, 95(6), 716-724, 2008.
22. Krishnasamy, K., Bell, R., and Ma, Q., “Wheat Responses to Sodium Vary with Potassium Use Efficiency of Cultivars,” *Frontiers in plant science*, 5, 631, 2014.
23. Khoshgoftarmansh, A. H., and Siadat, H., “Mineral Nutrition of Vegetables and Horticultural Crops in Saline Conditions,” *Tehran, Iran: Agricultural Ministry, Deputy of Horticulture*, 87, 2002.
24. Laurenson, S., Bolan, N. S., Smith, E., and McCarthy, M., “Use of Recycled Wastewater for Irrigating Grapevines,” *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 18(1), 1-10, 2012.
25. Leonel, L. P., and Tonetti, A. L., “Wastewater Reuse for Crop Irrigation: Crop Yield, Soil and Human Health Implications Based on Giardiasis Epidemiology,” *Science of the Total Environment*, 775, 145833, 2021.
26. Mapanda, F., Mangwayana, E. N., Nyamangara, J., and Giller, K. E., “The Effect of Long-term Irrigation Using Wastewater on Heavy Metal Contents of Soils Under Vegetables in Harare, Zimbabwe,” *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 107(2-3), 151-165, 2005.
27. Mirck, J., and Volk, T. A., “Mass Balances and Allocation of Salt Ions from Solvay Storm Water for Shrub Willow (*Salix* spp.),” *biomass and bioenergy*, 39, 427-438, 2012.
28. Melamane, X. L., Strong, P. J., and Burgess, J. E., “Treatment of Wine Distillery Wastewater: A Review with Emphasis on Anaerobic Membrane Reactors,” *South African Journal of Enology and Viticulture*, 28(1),

- 25-36, 2007.
29. Mosse, K. P. M., Patti, A. F., Smernik, R. J., Christen, E. W., and Cavagnaro, T. R., "Physicochemical and Microbiological Effects of Long- and Short-term Winery Wastewater Application to Soils," *Journal of Hazardous Materials*, 201, 219-228, 2012.
30. Mulidzi, A. R., Clarke, C. E., and Myburgh, P. A., "Effect of Irrigation with Diluted Winery Wastewater on Cations and pH in Four Differently Textured Soils," *South African Journal of Enology and Viticulture*, 36(3), 402-412, 2015.
31. Mulidzi, A. R., Clarke, C. E., and Myburgh, P. A., "Effect of Irrigation with Diluted Winery Wastewater on Phosphorus in Four Differently Textured Soils," *South African Journal of Enology and Viticulture*, 37(1), 79-84, 2016.
32. Naeini, M. R., Khoshgoftarmanesh, A. H., and Fallahi, E., "Partitioning of Chlorine, Sodium, and Potassium and Shoot Growth of Three Pomegranate Cultivars Under Different Levels of Salinity," *Journal of Plant Nutrition*, 29(10), 1835-1843, 2006.
33. Oster, J., Sposito, G., and Smith, C., "Accounting for Potassium and Magnesium in Irrigation Water Quality Assessment," *California Agriculture*, 70(2), 71-76, 2016.
34. Ofori, S., Puškáčová, A., Růžicková, I., and Wanner, J., "Treated Wastewater Reuse for Irrigation: Pros and Cons," *Science of The Total Environment*, 760, 144026, 2021.
35. Papini, A. G., "Land Treatment of Grape-processing Effluents Near Robertson, Western Cape," Master's Thesis, University of Cape Town, 2000.
36. Pearson, G. A., Tolerance of Crops to Exchangeable Sodium (No. 216), Agricultural Research Service, US Department of Agriculture, 1960.
37. Pimentel, C., "The Relationship of the Plant with the Water," *EDUR Seropédica*, 2004.
38. Rattan, R. K., Datta, S. P., Chhonkar, P. K., Suribabu, K., and Singh, A. K., "Long-term Impact of Irrigation with Sewage Effluents on Heavy Metal Content in Soils, Crops and Groundwater—A Case Study," *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 109(3-4), 310-322, 2005.
39. Rengasamy, P., "World Salinization with Emphasis on Australia," *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1017-1023, 2006.
40. Ramoliya, P. J., and Pandey, A. N., "Soil Salinity and Water Status Affect Growth of Phoenix Dactylifera Seedlings," *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 31(4), 345-353, 2003.
41. Rengasamy, P., "Soil Salinization," In *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*, 2016.
42. Rietz, D. N., and Haynes, R. J., "Effects of Irrigation-induced Salinity and Sodicity on Soil Microbial Activity," *Soil Biology and Biochemistry*, 35(6), 845-854, 2003.
43. Rengasamy, P., and Olsson, K. A., "Irrigation and Sodicity," *Soil Research*, 31(6), 821-837, 1993.
44. Shahinasi, E., and Kashuta, V., "Irrigation Water Quality and Its Effects Upon Soil," *Tirana Agricultural University, Tirana, Albania BALWOIS*, 2008.
45. Santamaria, P., Elia, A., Serio, F., and Todaro, E., "A Survey of Nitrate and Oxalate Content in Fresh Vegetables," *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(13), 1882-1888, 1999.
46. Santiago-Rosario, L. Y., Harms, K. E., Elder, B. D., Hart, P. B., and Dassanayake, M., "No Escape: The Influence of Substrate Sodium on Plant Growth and Tissue Sodium Responses," *Ecology and Evolution*, 11(20), 14231-14249, 2021.
47. Shainberg, I., and Shalhevet, J., (Eds.), *Soil Salinity Under Irrigation: Processes and Management (Vol. 51)*, Springer Science & Business Media, 2012.
48. Smedema, L. K., and Shati, K., "Irrigation and Salinity: A Perspective Review of the Salinity Hazards of Irrigation Development in the Arid Zone," *Irrigation and Drainage Systems*, 16(2), 161-174, 2002.
49. Wang, J. F., Wang, G. X., and Wanyan, H., "Treated Wastewater Irrigation Effect on Soil, Crop and Environment: Wastewater Recycling in the Loess Area of China," *Journal of Environmental Sciences*, 19(9), 1093-1099, 2007.
50. Zhang, J. L., Flowers, T. J., and Wang, S. M., "Mechanisms of Sodium Uptake by Roots of Higher Plants," *Plant and soil*, 326, 45-60, 2010.
51. 施堅仁、蔡家弘、林正芳、謝明昌、張國強、覃嘉忠，「水再生利用系統實施探討」，工業污染防治，第 113 期，2010。
52. 潘文炎、鄒倫、歐陽嶠暉，「台灣推動再生水利用所面臨的新挑戰及因應策略」，財團法人中技社發行，2018。
- 收稿日期：民國 112 年 09 月 25 日
修改日期：民國 112 年 11 月 03 日
接受日期：民國 112 年 12 月 12 日