

# 以色列管路灌溉與水循環利用技術

郭勝豐  
立德大學資源環境學系教授

譚智宏  
農業工程研究中心資訊組組長

林尉濤  
農委會農田水利處灌溉管理科科长

何逸峰  
農委會農田水利處灌溉管理科技正

## 一、前言

以色列長約 450 公里，最寬處約 135 公里，總面積為 27,817 平方公里。以色列之年降雨量隨區域不同而差異，每年 11 月到 4 月之間為雨季，每年的降雨量低，於北邊約為 800 公釐，在最南邊則僅約 50 公釐，差異極大。年降雨量約僅世界平均值 30~40%。

以色列屬於水資源奇缺國家，以國管路灌溉技術已從簡單的噴灌發展到目前全國約 80%採用自動控制之管路灌溉，藉以有效率運用有限農業水資源，提升農作物產量和品質，創造出該國農業奇蹟。以色列的農業技術已躋身全球農業管理的領導地位，其中又以管路灌溉、水循環利用、水資源管理、高密度農業、乾旱沙地的開墾及蔬果栽培等方面最顯著。

以國年平均用水量約為每日 600 萬，現行之各標的用水量如下：(1).民生用水量：36% (每日 216 萬噸)；(2).工業用水量：6% (每日 36 萬噸)；(3).農業用水量：58% (每日 348 萬噸)。海水淡化為以色列之重要替代水源(生活用水及工業用水)。以色列現已建置全世界最大之 Ashklon 海水淡化廠(30 萬 CMD)，預計 2020 年海水淡化水量將達到 205 萬 CMD，達全國用水量之 1/3，且可供應大部分之生活用水及工業用水。現有 2 座海水淡化廠，主要為世界最大的 Ashkelon 海淡廠(產水量每日 30 萬噸，每年 1.1 億噸)，產水量達以色列全國用水量之 5%。預計於 2010 年海水淡化水量達到每日 86 萬噸(每年 3.2 億噸)，2020 年海水淡化水量達到每日 205 萬噸 (每年 7.5 億噸)。

台灣農業發展方向朝向經濟農業、科技農業、環境農業、國際農業等四大特徵，因應國內水資源日漸匱乏、旱象頻傳及各標的用水需求日增之壓力，加強與以色列國際合作交流，汲取該國管路灌溉及水循環利用技術與經驗，期能提供國內農田水利灌溉管理所需之技術與推廣，有效率運用國內農業水資源。

## 二、以色列管路灌溉

以國總耕地面積約 33 萬公頃，其中包括灌溉與非灌溉面積各為 19 萬及 14 萬公頃。以國作物總類包括：(1) 田間作物 66,728 公頃，(2) 蔬菜 55,032 公頃，(3) 柑橘 30,421 公頃，(4) 其他果樹 38,851 公頃，(5) 花卉 3,600 公頃。以國水資源匱乏，因而致力於灌溉技術以增進灌溉效率，節省農業用水。以國改善灌溉效率作法包括：(1) 收集作物需水量資料，(2) 利用土壤水分測驗、張力計、自動農業氣象資料等於最佳化灌溉，(3) 100% 灌溉區域採用管路灌溉，(4) 增加滴水灌溉作物耕種面積，(5) 利用 GPS 技術協助於地下滴水灌溉系統。藉由上述增進灌溉效率方法，以國灌溉效率由 1960 年代之 8700 m<sup>3</sup>/ha 降為 2000 年代之 6000 m<sup>3</sup>/ha，充分達到水資源有效率應用之目的。

以國南部 Western Negev 區域年降雨量僅約為 50 mm ~ 200 mm，年蒸發量卻高達 2200 mm ~ 3400 mm，此表示該區域種植葡萄柚、石榴、杏及酪梨、柑橘等果樹需藉助完整灌溉系統方能維持作物生長。Western Negev 地區果樹都採用滴管式灌溉，其目的為縮減灌溉濕潤面積，將灌溉水施灌於根部附近，讓根部吸收。滴管佈置於每株果樹兩旁，經過種植與灌溉 20 餘年後，成長極為茂盛，著果情形亦良好，可見滴管式滴水灌溉用於大形果樹灌溉，應付果樹生長並無問題。估計其滴灌水量在成木果園每公頃約 1200 公厘/年。而較幼小果樹則約 800 公厘/年，大約為 2.5~4 公厘/天。每日施灌水量 4 公厘之施灌水量與本省旱作物灌溉需水量相近。在溫室栽培方面，除了盆鉢栽植需要每盆放置一小型滴嘴外，若可種植於人工畦面上，則大都亦採用滴管的方式，採用微噴的情形不多。主要原因為灌溉水必須準確且有效地直接供給作物根部吸收且不致浪費。而溫室中種植畦之下，都設有灌溉水回收槽，其目的在回收滲入種植畦而下漏的灌溉水。以色列對灌溉水的珍視由此可見。

以色列除了發展田間管路灌溉器材外，亦開發灌溉兼施肥及自動控制系統使灌溉系統可達到多目標利用及省工與作業精確化，灌溉水兼施肥於作物根系，可有效促進作物對肥分之吸收，管路灌溉公司開發自動混合液體肥料至灌溉系統中，其氮、磷、鉀等肥料可按設定的濃度自動依時，定量混入灌溉水中，達到灌溉兼施肥的目標。農民應用 IrriWise 無線作物管理系統進行精準灌溉。圖 1 表示 IrriWise 管路灌溉控制系統流程包括如下：(1) 農民於田間裝置包括張力計、ECH2

及 TDR 等土壤水分感應設置及滴水灌溉設備，(2) 現地土壤水分資料透過無線傳輸至接收器及電腦，(3) 奇布茲專業管理人員隨時檢視農地現況，同時發佈消息給農民以及時灌溉供給作物生長所需，確保作物生產品質。

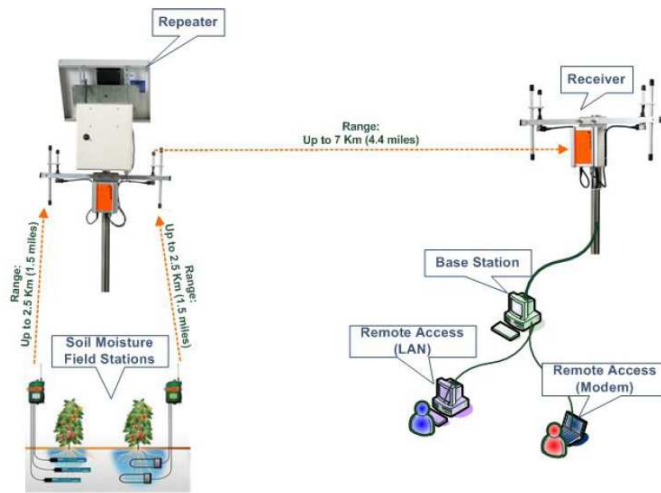


圖 1、以色列管路灌溉控制系統



(續)圖 1、以色列管路灌溉控制系統

### 三、以色列水循環利用

以色列自建國以來即面對水源逐漸短缺與用水需求增加的挑戰，在乾旱或半乾旱地區水源不足，由都市污水處理後的再生水是以國重要水資源，如用於農作使用可減少該區域或全國對清淨水源的需求，故以色列將適切與有效率的使用再生水於農業灌溉，視為必須面對的挑戰。目前以色列生活污水現行約有 60% (110

萬 CMD)回收作為農業用途，回收水量約佔總農業用水量之 32%。然而，以色列政府的目標為回收 80% 之生活污水，使得農業用水有 50% 被回收水取代。

民生污水經由處理再利用後，使用於灌溉用水，可供應植物生長利用之灌溉水，只要控制得當，並不會影響農產品品質，並且污水處理後灌溉或排放於自然界，對於環境污染防治有正面的效益。圖 2 顯示以色列農業使用再生水的用水比例從 1963 年以來逐年增加，預計到 2010 年，再生水於整體農業用水比例將達到 50%。

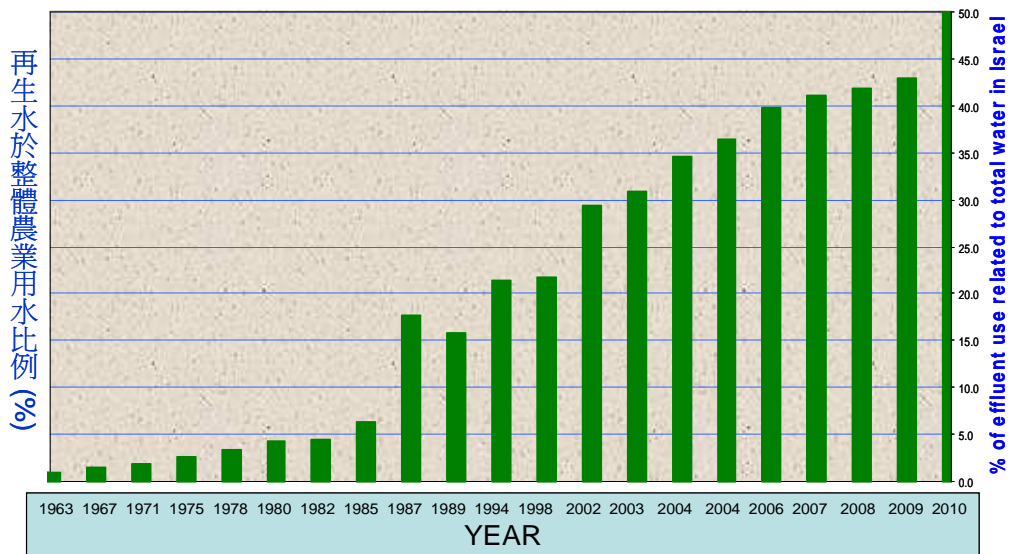


圖 2、以色列農業使用再生水的用水比例變化

以色列政府基於再生水灌溉重要性日益增加，於 2000 年 7 月第 46 號決議 (Decision 46, July 2000) 經濟部長會議 (Ministers Committee for Economics)，組成一個跨部會專門委員會 (Inter-Ministerial Committee, Inbar Committee) 來制訂新的再生水用於灌溉與釋放於環境的水質規範，將處理後之污水視為一種可再利用的灌溉水資源，須符合各項新的水質標準規範，再生水水質必須提高。由於水處理的設備與容量限制，以色列對不同類別的污染原，定有不同的處理方法：基本上有機質、營養元與病原體可在污水處理廠，現有設備或經過適當的設備升級，得到妥善處理；而鹽分與重金屬由於種類繁多，目前污水處理廠無法妥善處理，需在來源處預作處理。

除了水質規範外，農民以色列需要申請再生水用水許可方能用於灌溉，這主要是基於用水的衛生考量。再生水用水許可由衛生部門核定，依據輸送至該地農

戶的再生水水質與預計種植的作物為核發考量依據。如果是超高品質再生水 (Very high quality effluent) 即在物理—生物處理廠產生符合 20/30 (BOD/TSS) 標準，再經沙床（或相同等級濾材）過濾，且經過消毒過程至少 30 分鐘，這種超高品質再生水可不限制灌溉任何作物。而另一種稱作高品質再生水 (High quality effluent)，即未經消毒過程的再生水，但仍符合 20/30 (BOD/TSS) 標準。使用這種高品質再生水灌溉時，需要考慮 2 層防護屏障來保護農產品安全，防護屏障例如：再生水是否會接觸到農產品、農作是否可食、是否經過高溫處理、是否有厚實果皮、是否煮熟後食用等，都在考量之內。圖 3 顯示再生水水質與所需屏障數的關係，圖 4 為作物型態決定屏障形式。

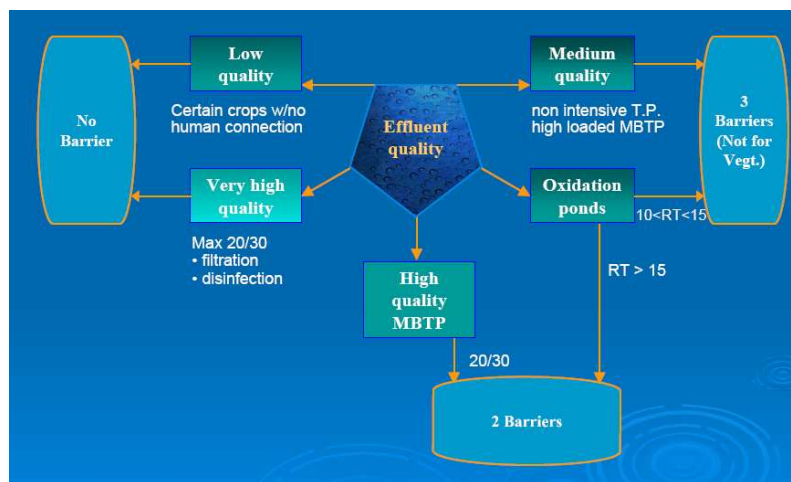


圖 3、再生水水質與所需屏障數的關係

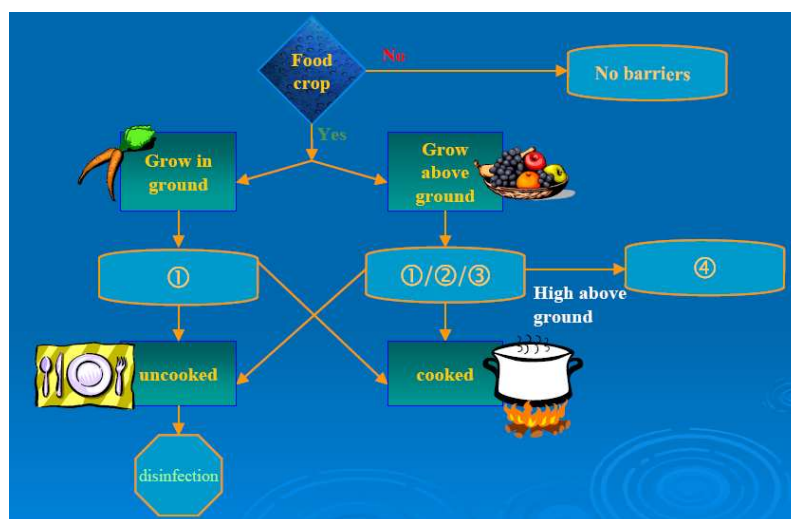


圖 4、作物型態決定屏障形式

#### 四、結論

以色列降雨量嚴重不足，為維繫生存及未來地球氣候變遷加劇，用水需求增加，以色列對於「水」已視為該國最重要資源。因此，以國對於污水再生利用、灌溉技術提升及海水淡化均視為國家重點發展項目，投入大量研發，其技術亦屬世界先進國家之一。

以色列自來水水價約每噸 US\$ 1 元（台幣 32 元），約台灣 3 倍，另為鼓勵使用回收水，以色列政府以「水價」及「水量」雙重誘因吸引農民。水價方面，使用公共給水之農業用水水價為每噸 US\$ 0.5 元（台幣 16 元），使用回收水則為每噸 US\$ 0.15 元（台幣 5 元）。水量方面，減少使用公共給水之農業用水量可補充 1.2 倍之回收水量。

以色列田間灌溉器材除了滴水灌溉外，管路系統多目標利用上灌溉兼施液肥的自動控制系統，可配合滴灌管分區自動實施灌溉與適量的液肥施放，不但可提升灌溉與施肥效果，也可有效節省人工施肥勞力。而在有限水源條件限制下，台灣的作物灌溉必須採用輪流灌溉的措失以解決各田區的灌溉需求。以色列研發的自動灌溉控制系統，能就各灌區不同作物、不同生長期與土壤水分的資料，自動開啟制水閥予以灌溉，此套自動控制系統值得應用於較大面積的管路灌溉。

以色列生活污水現行約有 60% (110 萬 CMD)回收作為農業用途，回收水量約佔總農業用水量之 32%。然而，以色列政府的目標為回收 80%之生活污水，使得農業用水有 50%被回收水取代。以色列對於污水回收利用之技術開發、法令規範等，均有完整的發展，台灣雖然降雨量充沛，但是面對全球暖化與國內各項用水競爭日益劇烈，污水回收再利用將是一項愈來愈具吸引力的增加水資源方案，除了供應更多元的用水外，更能對環境保護與河川污染防制有正面貢獻，未來應就以以色列污水處理技術於台灣可能之應用層面與成本效益加以考量，以增加台灣面對未來水資源挑戰之能力。

#### 參考文獻

1. 蔡明華 (2001). “未來灌溉用水管理策略(上)”，農業世界，215:8~13。
2. 林尉濤 (2001). “灌溉用水供需現況”，農業世界，215:14~21。

3. 劉振 (2001). “臺東農田水利會辦理省水管路灌溉推廣成果與效益”，農田水利，47(12):32~37。
4. 胡文章 (1998). “臺灣地區之農田水利設施現代化。”，科學農業，46(1&2):62~66。
5. Dukes M. D. (2004). “Automated Subsurface Drip Irrigation Based on Soil Moisture.” Paper No:042188, 2004 ASAE/CSAE Annual International Meeting, U. of Florida, Gainesville, FL.
6. Franco, J.A. et al. (2000). “Water Balance in a Young Almond Orchard under Drip Irrigation with Water of Low Quality.” Agricultural Water Management, 43:75-98.
7. Hanson, B.R., D.M. May. (2006). Crop Coefficient for Drip Irrigated Processing Tomato.” Agricultural Water Management, 81:381-399.