

一、美國與以色列近年來農業灌溉研究之發展

農復會水利組技正

秦 立 德

一、美國之灌溉研究及推廣

美國面積廣大，各州土壤氣候、作物及水源供應情形均異，大致西部地區概屬乾旱，灌溉事業一向發達，東部沿海地區比較濕潤，灌溉研究方興未艾，美國政府鑒於灌溉研究重在推廣，近年來已由農部在馬利蘭州設置之農業研究中心，進行全國性與農業增產有關因素之基本研究；由農部與各州州立大學合作設置區域研究中心，進行全國各區適應作物之灌溉、施肥、及需水量等基本問題之探討；更由農部水土保持局在各州設置各級工作單位，全面進行土壤調查，厘定灌溉指南，並與農業推廣人員合作，協助農民改善田間配水系統並執行灌溉配水計劃。

本次考察區域研究中心計四處，茲扼要敘述如下，以供參考。

1. Snake River Conservation Research Center——該研究中心設於美國西北部愛達荷州雙瀑城 (Twin Falls, Idaho)，其中心工作為研究 Snake River 河谷區域，提高灌溉效率及減輕排水問題之各項有效措施，諸如渠道滲漏損失之測驗及處理，溝灌法灌溉效率之測驗及改善，漫灌法灌溉效率有關因素之研究，作物播種深度與發芽率相互關係之探討等，均在加速進行。

2. Columbia Basin Irrigated Agriculture Research & Extension Center——該研究中心設於華盛頓州普拉色城 (Prosser Wash.)，其中心工作為研究哥倫比亞河谷大苦力 (Grand Coulee) 壩新灌區以內之適應作物、輪作制度、及灌溉施肥準則等，以促進全區面積約四十萬公頃 (一百萬英畝) 之農業開發。目前正在進行利用蒸發皿蒸發記錄為指標之灌溉研究及推廣，全區土壤田間含水量之實地測驗以更正試驗室資料之偏差，對於全區農民灌溉方法、灌溉水量、及灌溉效率之釋疑工作，利用簡易水力滲漏計 (Hydraulic Lysimeter) 測驗各種作物之耗水

量等項基本工作。

3. U. S. Soil & Water Conservation Research Center, Tempe, Arizona——該研究中心位於阿利桑那州，其中心研究工作目前為土壤水份動態之研究、分析，作物耗水系數之分析、探討，田間灌溉配水效率基本觀念之檢討，及渠道漏水動態之基本研究等問題。該中心研究各項問題，均足以代表美國西南部炎熱及乾旱地區，而有助於有限水源之經濟運用。

4. Southern Piedmont Conservation Research Center 該研究中心位於美國東南部喬治州雅典城 (Athens, Georgia)，目前其中心工作為研究美國東南部各州 Piedmont 地區以內，適種作物之施肥灌溉處理，及降雨強度與地面冲刷之相互關係等項。另外該中心並與喬治亞州立大學灌溉工程系合作，研究作物耗水量及土壤保水力等基本問題；與水土保持研究區合作，研究溫潤地區特殊土層構造情形下之田面配水及土壤水份動態，以期訂定合理之灌溉指南。

各區域研究中心之組織均相當健全，茲以華盛頓州研究中心為例，介紹如下：

華盛頓州灌溉農業研究推廣中心 (Irrigated Agriculture Research and Extension Center, Prosser, Wash) 簡稱華盛頓州灌溉試驗站 (Washington Irrigation Experiment Station) 於1917年奉准設立，1919年開始試驗工作，最初十年致力於開闢試驗場地及推動研究計劃，於1942年因 Rosa 灌溉計劃業已完成 Columbia Basin 灌溉計劃甫經開始，該站為配合需要增設面積廣達 343 畝之試驗區乙處，始自 1959 年又因 Columbia Basin 計劃灌區開墾工作加速進行，該站又陸續向美國內政部墾務局 (U. S. Bureau of Reclamation) 接洽，在灌區內購置面積各為 427 畝及 191 畝之試驗區兩處，並在

試驗站組織以內增添灌溉推廣服務部門，對於畜牧、作物、土壤及灌溉有關工作，大力推廣。目前該站共有專家39人助理人員60人，在所屬五處試驗區面積約1,190 畝以內，正在進行 65 項研究計劃及 5 類推廣工作。

該站之研究計劃，係由華盛頓州州立大學農學院及聯邦政府農業部 (College of Agriculture, Washington State Univ. Agricultural Research Service, U. S. Department of Agriculture 農業研究部各位專家共同負責執行。各項計劃擬定當時之構想，如果屬於本州計劃，應注意使成為全州農業開發之一環，如果屬於聯邦計劃，則應儘量使符合區域性農業開發之要求。聯邦計劃均由農業部指定各工作項目之負責單位，並供給研究員薪金及交通與特殊試驗所需費用，另由州立大學供給辦公室，試驗室、溫室、水電設備及一般費用。該站研究人員均為州立大學有關學系之教學及研究人員，農業部派駐該站之專家亦均接受州立大學有關學系之聘請，以加強該研究中心與州立大學之聯繫。州立大學及農業部與該站合作研究之單位大致如下：

1. 華盛頓州立大學農學院 (College of Agriculture, Washington State Univ)
 - a. 農業工程學系 (Agricultural Engineering)
 - b. 農藝學系 (Agronomy-field crops and soils)
 - c. 畜牧學系 (Animal Science)
 - d. 昆蟲學系 (Entomology)
 - e. 園藝學系 (Horticulture)
 - f. 植物病理學系 (Plant Pathology)
2. 聯邦政府農業部農業研究局 (Agric. Research Service, USDA)
 - a. 作物研究組 (Crops Research Division)
 - 食糧及飼料研究科 (Forage & Range Research Branch)
 - 作物保護研究科 (Crop Protection Research Branch)
 - 蔬菜及花卉研究科 (Vegetable & Ornamentals Research Branch)
 - 油籽及工業作物研究科 (Oilseed & Industrial Crops Research Branch)
 - b. 水土保持研究組 (Soil and Water Conservation Research Division)
 - 西北地區研究科 (Northwest Branch)

另外該站尚接受各州食糧及特用作物生產及運銷公司之補助經費，進行各種作物之育種增產及品質改良等技術問題之探討。

該站之推廣工作，亦與華盛頓州立大學有密切聯繫，推廣工作旨在以教育及示範方式向農民傳授各項研究計劃所得之新智識，故研究及推廣兩項工作係相輔進行而不能各自為政。該站推廣人員經常以最短時間將最新智識經由縣級推廣人員 (County extension agents)，向農民傳授以增進福利。目前推廣工作分五類進行：

1. 灌溉及用水 (Irrigation and Water Use)
 - a. 協助各灌溉事業區 (Irrigation Districts) 改善灌溉運營，輔導新灌區制定灌溉計劃。
 - b. 推動實地測驗土壤田間容水量工作，在全州各地着着進行。
 - c. 促進灌區農戶，採用蒸發皿法輔助機動灌溉配水，亦即利用蒸發資料推算灌溉週期。
 - d. 推動排水及開墾業務，隨時供應水質、土壤鹼鹼需量、及排水工程等有關資料。
 - e. 促進善用灌溉水量，以獲得最高及最佳之作物產量，亦即藉集會、出版物及訓練推廣人員等不同方式促進之。
2. 土壤改良計劃之推行 (Soils Program for Central Washington)
 - a. 促進農民廣事採用土壤分析資料，作為決定作物適宜施肥量之基準。
 - b. 藉適當利用磷、硼、及其他肥料，並配合適當之農事管理，以增進紫苜蓿 (Alfalfa) 之單位產量。
 - c. 推動鹽鹼土改良之有效措施及步驟。
3. 農場管理 (Farm Management)
 - a. 領導農民制定農場管理計劃，使農民了解並能評估政府公告週知之農業政策，俾藉以制定農場經營之基本方針，並適時調整管理計劃，以期有效利用農業資源。
 - b. 經常與研究及推廣人員會同蒐集、分析、解釋、並傳佈農場經營之財物收支、發展趨勢及其他有關資料。
 - c. 制定有效之方法及技術，使農場業主及農商團體等，能充分了解並靈活運用農場管理之基本原理。
 - d. 確使農商及農戶能夠善用制用農場管理決策所需各項基本資料。

4. 農村規劃 (Rural Planning)

- a. 教育農民，使增進智識並加強設施，以防農舍倒塌。
- b. 與村長會商，規劃村內公共場所之安全防護設施及智識。
- c. 藉教育方式，使馬鈴薯及果類加工廠商獲得通風設備及原料處置方面之新智識。

5. 園藝技術 (Horticulture)

- a. 推展馬鈴薯及蔬菜產銷商之技術訓練計劃。
- b. 倡導採用檢定馬鈴薯種子之重要性。
- c. 與馬鈴薯及蔬菜產銷商之技術訓練計劃，使原料生產之質與量，能夠配合日益擴展之加工業。
- d. 使馬鈴薯及蔬菜加工及生產業者，經常獲得最新之研究資料。

上述華盛頓州灌溉農業研究推廣中心之組織及業務，顯示灌溉事業之發展與農業研究之推廣息息相關，農業發展又處處仰仗灌溉開發，灌溉與農業實應聯為一體，而由單一機構主持之，俾使灌溉工程設計與田間配水計劃得以互相呼應，而能滿足最高與最佳作物產量之需水供應。達成此種最高理想確非易事，美國 Columbia Basin 灌溉計劃灌溉水源及輸水系統全部由內政部墾務局負責設計、施工及運營、管理；農場以內之灌溉配水系統，其規劃、設計及施工督導概由農業部水土保持局及其於州內設置之各級工作單位負責執行；關於灌溉技術之研究及推廣，則由農業部農業研究局與州立大學農學院合作執行，可見美國政府已煞費苦心，期促成高度並加速農業發展之妥善安排。但經筆者於考察期間詳細研究結果，發現其灌溉工程設計當時之假設、灌溉配水系統運營之根據、及灌溉試驗在作物及土壤方面之發現，均難以互相呼應，若干基本問題，尚待解決。

二、美國灌溉事業之運營

美國之大型灌溉事業多集中於西部各州，其管理方式大致如下：

1. 如果一個灌溉系統包括若干灌溉事業區 (Irrigation District) 或用水協會 (Water Users Association)，常由內政部墾務局設置管理處，統籌配水至各區水門，再由區管理人員配水至各農場水門。

2. 如果一個灌溉系統僅支配一個灌溉事業區，則由農民自行組織之區管理處負責管理水源、輸水、配

水等一切業務，如果該灌溉系統係屬內政部墾務局興辦工程，墾務局每年僅抽查水源及輸水系統之保養情形，以維運營而利還款。

美國西部除加利福尼亞州以外，大多地廣人稀，每家農戶可得農場面積約 160 畝 (約 64 公頃)，實際每一農戶尚可兼營若干農場，故灌溉配水之對象農戶，較諸我國臺灣省目前情形；簡易甚多，其灌溉管理人員配置之構想大致如下：

如果某一灌溉系統包括蓄水庫、引水壩、幹線、支線等項工程，其灌溉面積在 50,000 畝 (20,000 公頃) 左右，其總管理處內應設主任 (Superintendent)、副主任各一人及總務與事務人員，以辦理人事、器材採購費用記賬、及售水記錄等四項主要工作。總管理處主任之下，應設置配水長 (Water Master) 數人，如果通訊及交通設備良好，每位配水長可以管理 12,500 畝 (5,000 公頃)。每位配水長之下，再設掌水工 (Ditch rider) 若干名，如果配水系統間道路情形良好，掌水工均配有裝設無線電話之汽車，隨時可與配水長聯繫，則每位掌水工可以照顧 5,000 畝 (2,000 公頃)，如果道路、通訊、及交通工具均不理想，則甚難照顧 2,500 畝 (1,000 公頃) 之灌區。另外尚應設壩工長 (Dam Tender) 一人常駐壩址，負責放水管理及大壩維護各項工作，引水長 (Diversion Dam Tender) 一人負責調節幹線引水量及部分配水工作。根據上述配置方式，總管理處以下，配水長應有 4 人左右，掌水工應有 24-40 人，壩工長及引水長各一人，則可圓滿執行面積約 50,000 畝 (20,000 公頃) 之灌溉配水工作。又為灌溉及排水系統能經常保持正常機能起見，每位配水長之下應設養護長 (Maintenance Foreman) 一人及養護工數名，組成養護隊巡迴於輸水、配水、及排水系統之間。如果所需機動車輛、牽引機，及機械設備為量甚多，尚應僱用重機械駕駛員及一般機工，並應添置保養設備，在總管理處副主任督導之下，巡迴服務於各養護隊之間。

灌溉系統之運營，首應重視輸水及配水效率之提高，欲改善灌溉系統運營之效率，勢需同時考慮農場水門 (Farm Turnout) 以上之輸水系統及其下之配水系統。輸水系統之運營，宜有定期、定量配水至各農場水門之安排，配水系統之運營，宜機動配合作物需水之變化及土壤水份之盈虧，故其間之呼應配合，異常困難。美國西部灌溉系統之配水制度，大致分作下列四類：

1. 連續供水法 (Continuous flow)——經常供

應各農場水門以定量水流，如此可使輸水系統之運效率提高，但不易適應作物需水之要求及農人工作時間之分配，因而增加配水系統之管理及滲漏損失水量。

2. 輪流供水法 (Rotation System)——集中較大之水量而加大灌溉水頭，縮短農場逐坵之灌溉時間，而提高配水系統之灌溉效率。唯如灌區地形、土質，及作物均變化複雜，則甚難按排固定之輪流供水次序，以適應作物需要。

3. 供求呼應法 (Demand System)——所謂供求呼應係指灌溉時期及灌溉，水頭均能滿足農民要求。唯因灌溉時期尚應配合作物生理需要，灌溉水頭亦應顧及灌溉效率，故兩者均將增加輸水系統運管之困難。

4. 修正供求呼應法 (Modified Demand System)——本法係採納各法優點，以期滿足輸水系統及配水系統兩者之要求。美國西北部各州多採用此法配水。採用此法運管配水係基於渠道輸水容量及水源供水量之限制，而予以特別安排，以 W. Columbia Basin 計劃為例大致如下：

a. 根據灌溉需水量之推算，假定25%年需水量為最大月需水重，而除以30，算出日需水量，做為 Share System Capacity (SSC)，而為設計依據。

b. 如屬開渠水路，可按照 SSC 設計其通水容量。

c. 如屬管線水路、隧道、虹吸管等，其設計容量要酌增如下：

通水容量在 100c.f.s. 以下者，酌增10%

通水容量在 100c.f.s. 以上者，酌增5%

d. 農場水門（或本省之中小給水門）之通水容量，酌定如下：

灌溉面積在79畝以下者：最大流量 $Q=3\text{c.f.s.}$

灌溉面積在79-104畝之間：最大流量 $Q=4\text{c.f.s.}$

灌溉面積在105畝以上者：最大流量 $Q=5\text{c.f.s.}$

目前 Columbia Basin 計劃所採用之「修正供求呼應法」尚不能滿足田間機動配水之需要，因為內政部墾務局對於農場水門尺寸設計之基準，與農業部水土保持局對於農民田間配水輔導之基準，互相尚有不吻合之處，農場水門及水路通水能量，時常不能應付灌溉尖峯需水量。農業及灌溉推廣人員，按照土質、作物、地形、及灌溉方法等因素建議農民採用之灌溉水頭，常大於農場水門設計流量，使農民不得不增加灌溉次數，這是目前推廣人員最感困擾之問題，尤

以近年來農場以內配水系統之水路，均紛紛施行混凝土鑲面以利配水器具之管理，混凝土鑲面水路之設計流量究應採取何種標準，係灌溉推廣人員急待解決之問題。

美國灌溉用水，均定有基本水量及基本水費，表面上看來係計量收費，事實上用水在基本水量以內，不管多少均需繳納定額之基本水費，用水超過基本水量時，才實行計量收費。因為過去美國內政部墾務局舉辦之各項灌溉計劃，其擬定之基本水量多遠超過實際灌溉需水量，故農民均不願意接受農業部有關部門之指導，縮短田區長度及灌水時間以改善灌溉效率，蓋增設水路及加強管理均徒增工資開支而不能節省水費也。

美國內政部墾務局鑒於基本水量核定過高，釀成農民浪費灌溉用水，逐漸形成低窪地區之排水問題，已開始注意如何修正基本水量核定之方式。首先進行之工作為調查田間配水量及作物耗水量究竟佔水源引水量若干成數，經於1963及1964兩年初步調查結果，發現前者僅佔水源引水量之30%左右，後者更減至水源引水量之18%左右。按墾務局經辦各項大型灌溉計劃之水庫水源大部均屬多目標性質，灌溉用水浪費直接影響其他目標用水之發展，墾務局近年來已飽受指摘，此亦為急起研究灌溉需水量之原因之一。

美國對於 Columbia Basin 灌溉計劃之調查、規劃、研究、運營，值得參考之處甚多，茲列舉其灌溉基本資料之安排及灌溉水費徵收步驟之構想兩者如下，以供參考。

1. 灌溉基本資料於計劃前之安排——墾務局於計劃開始之前，曾聯合有關機構詳作調查，其重點如下：

a. 土地分類 (Land Classification)——有助於農場規劃、建議適種作物、擬定優先開發次序及分擔償還建設費用之準則。

b. 水量分級 (Water Duty Classification)——每40畝取一土樣為原則，於計劃前曾在灌區1,000,000畝以內，採取土樣8,000處，據以將基本灌溉水量分做3.25, 3.50, 4.00及5.00畝呎/畝等四級（其後曾調整為3.5, 4.0, 4.5, 及5.0畝呎/畝），當時土樣採取深度為5呎，全區土層、土質曾分作十種處理。

c. 土壤灌溉特性之測定 (Irrigation Characteristics of Project Soils)——當時曾選三十七處 Soil profiles，進行 infiltration rates 及

usable moisture holding capacity 之觀測，同時並選出九十四種代表性土壤樣本，各重二十五磅，送交 University of California 之 Professor Veihmeyer，進行 moisture equivalent 之測驗。

- d. 核定基本灌溉水量 (References for Water Duty Determination)——為慎重起見，曾根據四種資料核定基本灌溉水量。四種資料各為：
(1)調查附近 Yakima 河谷各種 Cropping Patterns, Soils, 及 topography 之實際灌溉用水量。(2)於各試驗站內測驗各種代表性土壤之灌溉需水量。(3)研究附近農場灌溉用水資料。(4)根據 b. c. 兩種資料推算需水量。

- e. 擬定灌溉效率 (Irrigation Efficiency) 標準——此處灌溉效率係指標準農場長 $\frac{1}{2}$ 哩寬 $\frac{1}{2}$ 哩面積 80 畝以內之灌溉效率，墾務局負責設計施工之輸水系統將水輸送至各農場地形最高點之水門，假設自農場水門沿農場長邊設一條主水路 (farm lateral)，沿農場短邊方向設六條副水路 (field ditches) 使每條副水路灌溉 13.3 畝或 5.3 公頃，則其灌溉效率可估計如下：

水量分級	A	B	C	D
(1)主水路損失	5.0~7.5%	5.0~10.0%	10.0%	12.5%
(2)田區流失	5.0~20.0%	5.0~20.0%	5.0~20.0%	5.0~20.0%
(3)田區滲漏	20%	25~40%	40%	50%
(4)平均灌溉效率	72~61%	66~43%	51~43%	42~35%

- f. 擬定平均作物耗水量及標準作物栽培類型 (Average Consumptive Uses and Standard Cropping Pattern of a Farm)——基本水量之擬定係根據平均作物耗水量 24 畝吋/畝及標準栽培類型：30 畝紫苜蓿 (Alfalfa), 15 畝玉蜀黍 (Corn), 10 畝小麥 (Wheat) 10 畝牧草 (Pasture)，及 15 畝甜菜 (Sugar beet) 而推算者。其中 10 畝牧草係以飼養 20 頭牛為準。

2. 灌溉基本資料於計劃進行之修正——計劃進行中及完成以後，調查資料欠詳及灌溉經營變化之處，均加調查而作為修正灌溉基本資料之依據。

- a. 墾務局計劃管理局繼續進行土壤分類調查。
b. 逐步改進灌溉輸水系統之遙控設備 (remote control system)。
c. 經常調查各區域 (regional) 灌溉及排水情形及

作物產量。

- d. 逐漸開始與農業部，水土保持局之各級工作站 (SCS Area and Unit Conservation ists) 協商輸水、配水之間相互呼應上之技術問題。
e. 逐漸開始與華盛頓州立大學 (Washington State University) 及灌溉農業研究站 (Research Station) 配合進行土壤含水量 (field capacity) 之實地測定工作。

3. 灌溉水費徵收步驟之構想——Columbia Basin 面積廣大，開發費時，工程費之償還及維持費之開支均賴水費之徵收，其構想為水費之徵收標準依土地等級及開發程度而不同。計劃當時土地分三級、開發分三期、水費亦分三種，大致可按下表說明之：

開發時期 (Development Periods)	普通水費 (O&M&S)	特別水費 (Repayment)	管理費 (Administration)
試水時期(一年) Trial Period (1year)	按實用水量以噸一呎單位計算，單位水量水費視情形而定。		
開發時期(十年) Development Period (10years)	累進徵收	○	視需要徵收
還款時期(五十年) Repayment Period (50years)	定額徵收	累進徵收	視需要徵收

三、以色列灌溉農業開發環境

以色列位於地中海東岸，南北長約 650 公里，東西寬度介於 175~13 公里之間，面積約為 21,000 平方公里。西臨地中海，東臨世界有名之大裂谷 (rift)，中部山地標高介於 600~1,200 公尺之間，全國各地之地形、地質、及氣候狀況，均有顯著差異，可分作四個氣候區，以資說明：

1. 海岸平原區——該區北端年雨量約 600 公厘，中部減為 400 公厘，南端更減至 150 公厘左右，其西側沿海一帶顯屬海洋性氣候，東側臨山地則受大陸氣候之影響。

2. 中部山岳區——該區北端年雨量約 1,000 公厘中段耶路撒冷附近年雨量約 700 公厘，南段則自 500 公厘銳減至 200 公厘以下。山岳與平原之間標高介於 150~600 公尺地帶亦屬該區，其氣候與山岳地帶稍有不同。

3. 東部裂谷區——該區北端年雨量約 400 公厘，中段拜仙附近約 300 公厘，吉里克 (Jericho) 附近約 100 公厘，南端死海附近則僅 50 公厘左右。該區自北向南又可分作胡拉湖、中約旦谷、拜仙谷、及死海

等四段，各段氣溫均有顯著差異。

4. 南部沙漠區——該區面積佔全國之半，自西向東可分作耐蓋 (Negav) 平原、耐蓋山地、及哈拉瓦平原等三段，乾旱氣候自西向東及自北向南均逐漸加重。西段沿海 Ashqelon 附近年雨量 400 公厘，中段 Beersheba 附近為 200 公厘，中段 Makhtesh Ramon 山地僅 100 公厘，南端埃拉 (Ilat) 港附近更減至 80 公厘左右。

以色列每年雨季、旱季分明，屬典型之地中海氣候，五月至十月天氣炎熱但滴雨不降，是為旱季，十一月至翌年四月氣候涼爽且時有降雨，是為雨季。每年旱季自氣溫、日照等因素觀之，最適宜作物發育，唯獨缺乏水份，故以色列政府對於水源開發甚表重視，以支持灌溉農業之加速發展。

以色列因受水資源之限制，南部沙漠地帶大部只宜於放牧，故該國灌溉農業土地調查僅限於比西巴 (Beersheba) 以北地區。該國進行之調查工作包括地面坡度、土層深度、土壤質地、水蝕程度、風蝕程度、土壤含礫程度等項目，調查總面積達 951,400 公頃，結果分類大致如下：

類 別	面 積 (公頃)
可供作土地利用分級之面積	876,300
現有養魚池塘之面積	3,400
建築物所佔之面積	44,800
河流、荒溪、池塘、水庫等之面積	22,700
廢墟、古塚、古代遺存文物等之面積	2,700
未經測量之面積	1,500
計	951,400

可供作土地利用分級之面積 876,300 公頃又可分級如下：

級 別	面 積 (公頃)
(1)可灌溉之面積	554,500
I-III級，適於各種作物	394,000
IV級，適於大農場經營及常年作物	133,900
IV-D級，適於開墾後再栽培作物	26,500
(2)不可灌溉之面積	321,800
(1) + (2) 計	876,300

可灌溉之面積 554,500 公頃，再根據其抽水高程、輸水距離、耕地坵塊分散程度影響水費用諸因素，

及土地整理程度與砂丘安定狀態等影響開墾費用諸因素，決定其開發之優先次序如下：

優 先 次 序	面 積 (公頃)
第 一 優 先	188,570
第 二 優 先	155,666
第 三 優 先	123,822
第 四 優 先	86,442
計	554,500

以色列全國可灌溉面積 554,500 公頃，每年需要灌溉水量，據估計最少要二十五億立方公尺，該國水源可供水量每年最多僅十八億立方公尺，且均集中於北部地區地下水源及約旦河與亞康河流域一帶，但該國可灌溉面積大部份均在中南部地區，故農業用水不但水源不足並且輸水價昂，尤有進者，該國水源四分之三均位於海平面標高附近，灌溉區域則大部均位於標高 50-300 公尺丘陵地之上，灌溉水源平均揚程高達 80 公尺左右，益增輸水之費用。

以色列獨立 (1948) 以前，灌溉事業僅限於北部約旦及亞康兩河谷地區，主要均賴汲取地下水。獨立當時灌溉面積僅約 24,000 公頃，年總用水量達為 3.0-3.5 億立方公尺。1955 年灌溉面積增至 100,000 公頃左右，年總用水量亦增至 8.5 億立方公尺，當時業已開發之地面及地下水源已不敷用，急待開發約旦河主流水源，並串聯全國各處之地面及地下水源，期統籌運用發揮最大效果。1952 年該國成立 “TAHAL”，主持全國之水資源開發規劃工作，進行約旦河主流水源開發工程之設計，1956 年約旦水源工程計劃經顧問團審議通過，隨即開始施工。該計劃每月供水能量 26,000,000 立方公尺，年供水能量可達 3.12 億立方公尺，除增加總供水量外並可藉幹線水管送水至南部沙漠邊緣地區，成為以色列灌溉開發事業之大動脈，於 1961/62 年開始部分供水，計劃 1963 年底全部完成。1961/1962 年，該國灌溉面積再增至 125,000 公頃，輸水系統之年送水能量亦提高至 12 億立方公尺。1965/66 年該國灌溉面積更增至 158,000 公頃，年總用水量已超過 11 億立方公尺。其來源分配大致為：汲取地下水量年約 5.0 億立方公尺；自伽列略海抽取約旦河水年約 2.0 億立方公尺；北部河流引水及蓄水年約 4.0 億立方公尺。年總用水量各標的之分配大致為：農業用水 70% 折合 7.7 億立方公尺；工業用水 20% 折合 2.2 億立方公尺；家庭用水 10% 折合 1.1 億立方公尺

。目前該國水源統一調配管理之機構為“Mekorot”，該機構經管之輸水系統年供水量，1964/65 年度為 6.2 億立方公尺，1965/66 年度已提高至 7.0 億立方公尺，佔全國總用水量之 64%，已能發揮統籌分配之功能。

目前以色列全國耕地面積已達 422,000 公頃，其中灌溉面積 158,000 公頃，年農業用水供應量為 7.7 億立方公尺，暫呈小康局面，因為農場以內灌溉用水調度自由而適當，跨季節降雨之有效利用，旱地及灌地均能獲得適當水份而促進農業生產也。刻下農業生產之外銷問題，却成為該國農業開發之瓶頸，但將來農產品外銷問題一旦解決，農業用水之供應，仍會再成農業開發之瓶頸。為應付來日農業用水之激增，以色列政府農業部已與 TAHAL 及 Mekorot 兩機構會同研究一項新計劃，擬於五年期間投資美金 170,000,000 元，增加水源 1.05 億立方公尺，但此項計劃完成以後，水費將由目前 (1964/65) 之每立方公尺 US\$0.04 提高至 US\$0.06，對於農業生產之費用，不無影響。

四、以色列農業開發之近況

以色列之農業，最近已逐漸由食糧作物改為加工作物及外銷作物，對於農產品質與量之改進更加重視，目前該國農業技術之研究及推廣，均以加工與外銷為重心，是為以色列農業開發之特色。

以色列全國耕地百分之九十均屬公有 (Jewish National Fund 所有)，全國農民大部均係新由國外歸來定居，農民之安置及農場之開墾均由統一單位負責 (Jewish Agency for Palestine 所有)，大致均有妥善的計劃，並採用最新開發方式及設備，是為該國農業開發高度機動性之重要背景。該國農業復興僅始自九十年前，當時在 Petah Tikvah (1878) 及 Rishon-le-Zion (1881) 定居之農民，均係來自歐陸，並經營柑橘生產及釀酒事業，以增現金收入。1900 年以來，小農戶聚集之農莊 (Moshav) 逐漸增多。1908 年 Zionist Organization 設置辦事處，鼓勵移民定居。1909 年起，該辦事處在伽俐略海南側分配土地給十二位青年男女移民定居，成立了第一個共同生活之合作農場 (Kibbutz)。這種獨立生活之聚集農莊 (Moshav) 及共同生活之合作農場 (Kibbutz) 特別適合以色列之國情及民情，目前全國 700 處農莊中，竟有 360 處為 Moshavim 280 處為 Kibbutzim。自從以色列立國以來，Moshav 及 Kibbutz 所兼有防禦敵人襲擊之功能已不需要，其所有之能力，全

部用於加速農業技術之推廣，水土資源之有效利用，機動配合政府之農業政策，實有其不可泯滅之功績，故仍然存在，而為該國農業經濟發展重要之一環。

以色列目前盛行栽培之加工作物為棉花、甜菜、大麻；大力推廣之外銷作物為柑橘、香蕉、瓜類、葡萄、花生、及花類；一般之田間作物 (field crop) 有玉蜀黍、馬鈴薯、高粱、小麥、紫苜蓿、牧草等。各種作物之生長季節及灌溉水量均不相同，根據該國各地蒸發量及灌溉日數之相似程度，全國大致可分作 A.B.C 三區，估計各種作物之灌溉需水量如表一所示。A.B.C 三區之灌溉面積又可按照地區別之調查資料分析歸納如表二所示。如將表二歸納資料列於表一末端，則可看出 C 區年灌溉需水量最少，灌溉面積最廣，A 區年灌溉需水量最多，灌溉面積最小，可見水源影響灌溉面積之程度。將來待開發之南部沙漠灌區概屬 A 區，故以色列今後農業開發之關鍵，在於灌溉水源之供應與灌溉水質之控制，均有待於灌溉技術進一步之研究與發展。

表一 以色列各區作物灌溉需水量

作物	年灌溉需水量—mm/year				
	A 區	B 區	C 區		
果 園 類 (Orchards):					
香蕉	2,300~2,500	—	900~1,200		
蘋果	—	800~900	700~ 800		
柑 橘	1,000~1,200	800~900	700~ 800		
葡 萄	900~1,000	600~800	350~ 450		
食料飼料類 (Field Crops):					
紫苜蓿及灌溉牧草	1,600~1,700	1,100~1,300	900~1,000		
玉 蜀 黍	700~ 800	500~ 600	400~ 500		
春 植 蔬 菜	500~ 600	400~ 500	350~ 450		
工業作物類 (Industrial Crops):					
花 生	—	600~ 700	450~ 550		
棉 花	900~1,200	600~ 700	400~ 550		
甜 菜	700~ 800	500~ 600	350~ 450		
灌 溉 面 積	1961/62	公頃 (ha.)	11,400	13,100	99,500
		%	9.2%	10.6%	85.2%
	1965/66	公頃 (ha.)	15,000	18,000	125,000
		%	9.1%	11.4%	79.5%

表二 以色列灌溉面積分佈表

地 區	1961/62 估計 灌溉面積		1965/66 估計 灌溉面積	
	公 頃 (ha.)	%	公 頃 (ha.)	%
A 區	約旦河谷 (5)	4,000		
	拜仙河谷 (6a)	3,700		
	南耐蓋區 (14a)	3,700		
	A 區 小 計	11,400	9.2%	15,000 9.1%
B 區	呼拉河谷 (1a)	2,000		
	吉爾伯河 (6b)	3,800		
	北耐蓋區 (14b)	7,300		
	B 區 小 計	13,100	10.6%	18,000 11.4%
C 區	伽列略地區 (16,2,3,4)	9,500		
	吉祥河谷 (7)	6,500		
	海岸平原 (8,9,10)	40,000		
	施福拉地區 (11)	21,000		
	拉赫施地區 (12)	20,000		
	耶路撒冷走廊 (13)	2,500		
	C 區 小 計	99,500	80.2%	125,000 79.5%
全 國 共 計		124,000	100.0%	158,000 100.0%

五、以色列輸水系統介紹

以色列全國年總用水量11億立方公尺，其中4億立方公尺由獨立水源供應，7億立方公尺由統一水源供應。獨立水源所屬系統，散佈各地不能一一描述，統一水源在“Mekorot”機構管理之下，大致有兩大區域輸水系統，以及貫通兩大區域而自伽列略海新水源取水之國家輸水幹線(National Water Carrier)，茲扼要介紹如下：

1. “Yarkon-Negev” 區域輸水系統——該系統位於以色列中南部特拉維 (Tel Aviv) 及比西巴 (Beersheba) 兩都市之間，東西兩側各有一條幹線，西幹線管徑70吋，東幹線管徑66吋，其水源除由縱貫全國之國家庫水幹管供應外，尚由一系列之抽水站及蓄水輸引蓄 Yarkon 河水，並與南部海岸平原之深井系統相聯通，以汲取地下水源。東西兩幹線在 Zohar 水庫附近合流後，再以徑66吋及徑48吋兩條幹管，沿埃及 Gaza 帶狀地東側直抵 Rafiah 附近。該輸水系統之設計能量為年供水 2.5 億立方公尺。

2. “Western Galilee-Kishon” 區域輸水系統——該系統位於以色列北部海法附近地區。其主要水

源為西伽列略區地下水及 Kishon 河之洪水蓄存。起自伽列略海之國家輸水幹管亦穿越其間，發揮調節作用。該系統最高年供水能量可達 1.7 億立方公尺。

3. “National Water Carrier” 國家輸水幹管——該幹管起自伽列略海北端 Eshed Kinrot 抽水站，止於“Yarkon-Negev” 系統起點，全長約 130 公里。其興建目的為縱聯北部及南部水源，橫聯各區域輸水系統及獨立水源，供應全國農場、工廠及都市用水。其設計輸水能量為年供水 3.12 億立方公尺。

“Mekorot” 機構為引取各地水源，服務大小用戶，其經營之引水及輸水設備甚為繁雜，茲扼要介紹其情形如下：

深井 (Boreholes) 共計 465 口
管線 (Pipelines) 總長 3,000 公里

調節水庫 (Operational Reservoirs) :

總容量 6,600,000 立方公尺

蓄存水庫 (Storage Reservoirs) : 總容量
22,000,000 立方公尺

抽水站 (Pumping Stations) : 共計 230 處

總設備容量 : 315,000 馬力 (HP)

1964/65 年耗電量 : 576,000,000 Kwh

1965/66 年耗電量 : 665,000,000 Kwh

年總供水量 (Water Supply) :

1964/65 為 520,000,000 立方公尺

1965/66 為 700,000,000 立方公尺

用水戶數及單位 : 總計 2,600 戶

六、以色列農場佈置及栽培制度

以色列農場大致分做兩類，一為合作農場 (Kibbutz) 一為聚集農莊 (Moshav)，兩類農場之灌溉及家庭用水，均由區域輸水管線 (Regional water works) 或當地深井 (Local wells) 供給，農場以內之配水管線、包括幹管 (mains)、支管 (submains)、及噴頭管線 (sprinkler laterals)。兩類農場之管理實務各有特徵，Kibbutz 採取共同農場經營制度，Moshav 採取獨立農場經營制度，故其配水管線之佈置及配水業務之運營亦有顯著不同。

Kibbutz 農場面積大致均在 200-400 公頃左右，農場以內劃分成 10-40 公頃之小區，每一小區形成一獨立灌溉單位。小區寬度介於 350-700 公尺之間而以 400 公尺為準，俾使噴頭管線長度不超過 200 公尺。普通均沿小區中心線設置一條支管，支管上每隔 12-36 公尺設一支豎管 (riser) 及水閥 (valve)。灌

溉時期噴頭管線按照順序接於各豎管之上，開動水閥即可供水。噴頭概屬緩轉型，管線概屬鋁製品，噴頭管線長度為 175-200 公尺者概屬內徑 3 吋，如因地形或農耕關係，小區寬度需 700 公尺，噴頭管線長度介於 300-400 公尺之間，則鋁管內徑將加大至 4 吋，以保持足夠之噴水壓力。

Moshav 農莊面積大致亦在 200-400 公頃左右，農場以內之劃分，因以農戶為單位，小區面積概為 2.5-4.0 公頃。如果土質分佈均勻，地形起伏不大，每戶之農場面積均應集中一處。如需分為兩處以上，則鄰近住宅之面積應有 0.5-1.5 左右，其他面積亦應選在住宅附近 1 公里以內地區。為期縮短農戶住宅間距至 30-50 公尺左右，小區上端寬度應為 30-50 公尺，下端寬度應為 70-150 公尺，小區遂形成扇形佈置之狹長田區。每兩家農戶田區之交界線上，設置一共用支管，支管上每隔 12-36 公尺設一豎管及水閥，因支管係兩戶共用，故灌溉採用隔日配水方式，住宅附近寬 35 公尺左右之田區，常用 1 吋鍍鋅鐵管或 2 吋鋁管，噴頭間隔 12 公尺，噴灌水量為每小時 2 立方公尺。

Moshav 農莊管線配水系統費用較 Kibbutz 農場者為高。1963 年 Kibbutz 管線系統單價為每公頃美金 700 元，Moshav 管線系統之單價則為每公頃美金 830 元。

普通田間作物 (Field crops) 噴灌概用中型噴頭，噴壓概為 1.5-3.5 Atm，噴頭噴水量概為每小時 0.5-4.0 立方公尺，噴頭間隔介於 12-18 公尺之間，噴頭管線間隔亦介於 12-18 公尺之間。但在風速太大時，管線間隔不宜超過 6 公尺。最近亦有採用大型噴頭 ("giant" sprinkler) 者，其噴頭噴水量為每小時 15-25 立方公尺，噴壓為 4.5-5.0 Atm，噴頭間隔為 36 公尺×36 公尺或 36 公尺×48 公尺。落地果樹常用樹下低角噴頭 (low-trajectory under-tree sprinklers)，噴頭噴嘴與水平線成 4°-7° 角度，噴壓為 2.0-3.0 Atm，噴頭噴水量為每小時 0.25-1.25 立方公尺，噴頭間隔為 6 公尺×8 公尺或 6 公尺×12 公尺。柑橘類果樹如在土壤透水性較大之地區栽培，可採用樹下穿孔管 (under-tree perforated pipes) 灌溉，噴壓為 0.5-0.7 Atm，如在中質地土壤區栽培，可用樹下或樹上迴旋噴頭灌溉，此種灌溉雖省勞力但需較高之初期投資，另外噴頭灌溉要注意水質，含鹽量要低，以免影響葉果。

以色列之作物栽培制度與水源供應程度及農場形成背景均有密切關係。北部沿海地區水源比較豐富，

果園作物比較發達，中南部平原一帶水源比較缺乏，年生田間作物 (Annual field crops) 栽培比較盛行，且僅七成面積施以灌溉。又因農業經營以農場為單獨個體，不受政府干涉，農場形成背景概為耕地共有，獲益共享，且農場結構及設備均屬新穎，作物栽培制度均以最高土地利用與最合理水源分配為原則。茲以北部沿海地區面積 300 公頃之合作農場及中部平原地區面積 550 公頃之合作農場為例，說明栽培制度之情形。

以色列北部沿海地區栽培制度

類 別	面 積 (公 頃)	複作指數	面 積 百分率
一、住宅工廠庭院等 (Campus)	20	1.0	6.7%
二、果 園 (Orchards)	100	1.0	33.3%
1. 橘	30		
2. 香蕉	40		
3. 亞熱帶果樹	10		
4. 葡萄	10		
5. 其他	10		
三、常年作物 (Perrenial Crops)	15	1.0	5.0%
1. 牧草	10		
2. 紫苜蓿	5		
四、年生物作 (Annual Crops)	165	1.28	55.0%
Total	300		100.0%

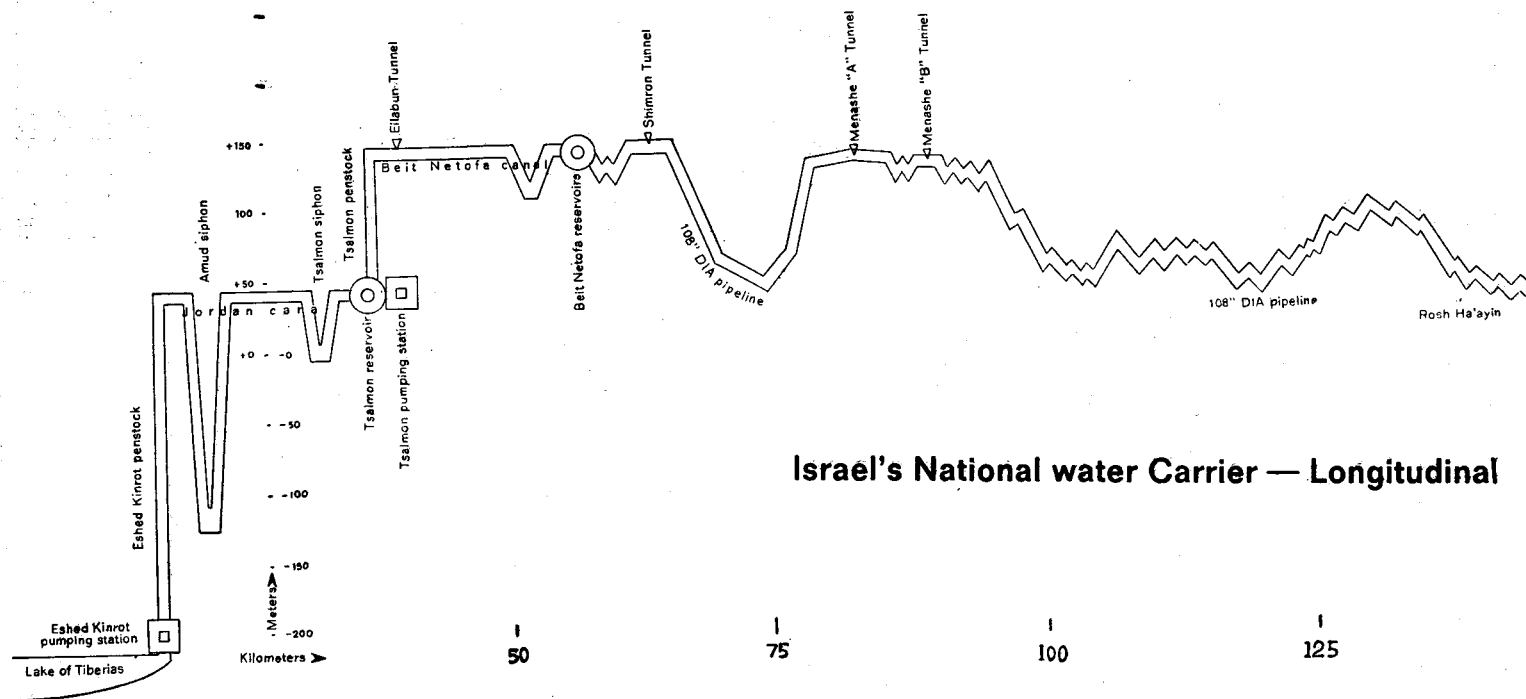
以色列中部地區栽培制度

類 別	面 積 (公頃)	複作指數	面 積 百分率
一、住宅工廠、庭院等 (Campus)	39.4	1.0	5.4%
二、果園 (Orchards)	59.6	1.0	18.4%
三、菜園 (Vegetables)	46.0	1.0	8.4%
四、旱作農區 (Dry Farming)	149.0	1.0	27.3%
五、灌溉農區 (Irrigated Land)	256.0	1.0	46.5%
Total	550.0		100.0%

七、結論及建議

1. 美國政府農業部已充分認識濕潤地區與乾燥地區在灌溉農業之發展上，其出發點既有不同之處，農業部之農業研究中心進行中之基本研究，農業部與各州立大學農學院合作之區域研究中心之工作，農業部水土保持局在各州及各區域中進行之調查及推廣工作

Length of National Carrier — 130 km. Total earhtwork — 7,000,000 cu. m.
 Rock blasted away — 1,700,000 cu. m. Concrete poured — 500,000 cu. m.
 Steel in pipes and structures — 75,000 tons. Concrete and steel pipes
 laid — 15,000. Man-days used — 2,500,000. Average number of workers
 during 4 years — 2,500. Maximum daify number of workers employed during
 peak periods — 4,000.



Israel's National water Carrier — Longitudinal

圖一：以色列國家輸水幹管一縱斷面圖

Fig. 1. Israel's National Water Carrier-Longitudinal

，均在大力推進，鑑於其實力充沛、計劃週詳，預期美國在灌溉農業方面將有革命性之發展。

2. 美國灌溉農業之推廣工作，自水源到農場之輸水工程，由內政部墾務局負責，自農場水門到田間之配水工程，由農業部水土保持局負責，在美國西部乾燥地區墾務局與水土保持局之灌溉設計標準，已發現難以相互呼應，將來東部濕潤地區之呼應配合問題，將遭遇更多困難！關於此點，本省已着手各項試驗、研究計劃，近期亦會有革命性之發展。

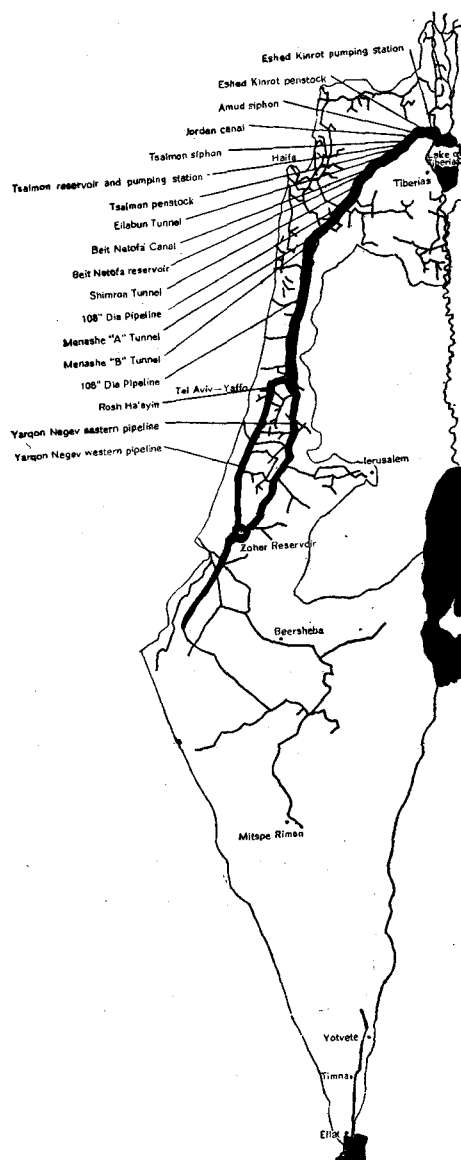
3. 以色列國的水、土資源均極珍貴，該國對於水、土資源之調查及開發均極慎重，以貧瘠之土地及高價之水源發展出來之農業有其特色，目前已自食糧作物逐漸改為加工作物及外銷作物，使該國農業一枝獨秀，為各先進國家所讚揚。據該國農業生產計劃主持人員稱，一九六六年該國農業發展之瓶頸在於外銷，外銷問題解決以後，瓶頸將在於高價質劣之灌溉水源。

4. 以色列國在貧瘠土地、高價水源、及劣等水質之不利條件下，何以能够發展一枝獨秀之外銷農業，其功勞在於高度控制下之管線灌溉系統、機動推廣之新穎農耕及灌溉技術、堅強而靈活之農業產銷組織與制度、政府農業政策與民間產銷組織之通力合作。以色列國今後更圖進一步發展該國南部沙漠地區之特殊農業，為適應沙漠地區之特殊條件——鹽性土壤、鹽性水質、高度蒸發及蒸散——該國已試驗成功一種新穎灌溉方法——滴水灌溉 (Drip Irrigation)。

5. 本省灌溉事業一向僅重視水稻作物，本省農業試驗中作物需水量乙項係最弱之乙環，今後本省農業增產將普遍重視一切作物，各種作物灌溉技術方面之研究急需加強，美國農業部正在進行之各項研究，其執行步驟及研究方法均值得參考。本省灌溉農業因為天然降雨及地下水之干擾，灌溉配水技術較之以色列，更為複雜，本省作物產量因受陽光熱能之限制，灌溉增產之幅度較之以色列，將大見遜色，如非參照以色列靈活之產銷制度，增加農民之受益，灌溉事業之發展將大受影響。

6. 本省水利局、地政局、及農林廳各單位，正在分頭進行與農業發展息息相關的三項重要措施：(一)輪流灌溉，(二)農地重劃，(三)綜合栽培及集約經營。期以最經濟最簡捷的手段，提高農家收益，降低農耕成本

，使本省農業經濟及農村繁榮達到永恒不敗之境地。美國農部之農技研究與以色列農部之農技推廣均為我國當前極應參考者，建議政府參照該兩國之新技術，在已完成農地重劃及輪灌改善的新地區，加速促成大面積綜合栽培及共同作業，並建立農產品科學化運銷制度，以健全本省之農業經濟。



圖二 以色列國家輸水幹管一平面圖

Fig. 2. Israel's National Water Carrier-Plan