

臺灣海岸砂丘地之開發與灌溉利用研究

Studies on Development and Irrigation Utilization of Coastal Sandy Soil Areas in Taiwan

農復會水利工程組副工程師

蔡 明 華

Ming-Hua Tsai

Abstract

There are about 20,000 hectares of sandy soil areas scattered along the coast of Taiwan. They are generally characterized as areas with low soil fertility, high seepage loss, low moisture-holding capacity, adverse weather conditions and serious wind and water erosions which are the major drawbacks that have hindered efficient agricultural development.

Three years ago, the writer prepared a report on "The Research Direction of Development and Utilization in Coastal Sandy Soil Area". This paper lists some research directions and fields experimental items on the agricultural development and utilization of coastal sandy soil areas in Taiwan.

The writer have superintended a project supported by JCRR in the title of "Studies on Irrigation and Utilization of Coastal Sandy Soil Areas in Chiting of Miaoli Hsien" for four years. The project work has been executed by PWCB with reference to above-mentioned statement of research directions.

Before the irrigation work was provided, the Chiting sandy soil area was just a devastated sand-dune area. Through a few years' efforts the sandy land has turned green with various crops, such as watermelon, prince melon, muskmelon, peanut, tobacco, grapes, vegetables, etc. The results of irrigation were found favorable. The cropping index has been increased from 1.15 in 1968 to 2.50 in 1974. The production of spring watermelons, for instance, has been increased fourfold. For other crops, such as peanuts and vegetable crops, 100 percent of production increase has been observed. It is estimated that an irrigation benefit of NT\$53,000 per hectare has been achieved. It is encouraging that high value and special crops can be grown with irrigation on coastal sandy lands.

In view of the efforts and results of this project areas, both the farmers and researchers have been convinced of the fact that

* 曾任水利局崎頂海岸砂丘地灌溉實驗站主任

continuous efforts for research and extension on irrigation, wind erosion control and farming techniques would bring a bright future for agricultural development of the coastal sandy soil areas.

For the purpose of reference and application, the writer will provide information data of practical irrigation techniques based on his personal knowledge and experiments. In the meantime, to pledge the importance of application of agricultural engineering for the development of agricultural lands, the example of irrigation practice in the *Chiting* sandy soil area will also be described in details. This example may be applicable to other sandy soil areas.

To accelerate the island-wide agricultural development and utilization of sandy soil areas, the writer will give his opinions on the procedures and methods for the development of Taiwan's sandy soil areas.

壹、前 言

農業是國家的基本建設，我們不能因為過度重視工業成長，而忽略了農業的發展，經建政策所列的以「農業培養工業」，以「工業發展農業」，即是政府重視農業發展之賢明措施。

加速農村經濟建設計劃執行中，農業工程是項不可缺少的技術，且農業工程應屬復興農村之先鋒，惟有從農業工程的觀點來改善農業經營環境與結構，才有可能急速促成農業現代化經營。水土資源是農業生產之主要條件，農業工程之技術能達成水土資源之最大利益規劃設計，農業機械化更是解決農村勞力缺乏之主要途徑。以往農業工程之技術未被充分重視運用，致未能促成工農相助相長之優點，今欲求農業高度成長以達農工平衡發展之目標，我們應致力的方向固然很多，但農業工程的研究應用實是重要的一環，而且應該居於先導的地位，因為以臺灣有限的土地資源，如再以固有陳舊的技術和方法求發展，實不容易達到目的，所以國科會頒佈的「科學發展計劃」中訂定「農業發展研究計劃」將農業工程與農作物、畜牧、漁業及林業同列為五大研究部門之一，其目標也是想在科學研究發展中能夠以新的技術達成農業的高度成長，以配合國家經濟建設的需要。

本省海岸砂丘地面積約有 20,000 公頃，因地形複雜，土壤多為粗砂及細砂，保水力低，年雨量雖高，但分佈不均，砂土所能保持供應作物吸收利用之量甚低，故易發生嚴重旱害。加上肥力差，滲透性大，肥

分易被過量雨水所淋洗。未開發之砂丘地大部分呈屬不毛之地，植物甚少，土壤中所含有機質亦少，保肥力差。土壤因保水量低，比熱小，地溫隨氣候冷熱變化影響甚大，尤其在表土乾燥屬所顯現之變化幅度為最大。夏炙表土溫度甚高，冬寒則極低，晝夜間地溫變異幅度大。夏天晝間土面蒸發損失大，夜間又因凝結作用增加水分。砂土土粒大都為單粒，比表面積小，膠結力小，易為風所吹動及逕流所沖刷。惟通氣性良好，土壤孔隙大多為大孔隙，毛細管孔隙少。

海岸砂丘地又因臨海岸，受海風及季節風之影響大，強風常直接損害作物，捲動泥砂，搬移砂丘，覆沒農作物，此風與砂之特徵條件，造成海岸砂丘地迄今未被積極利用之主要原因。以往被農業經營者列為不毛之荒漠地帶。農民在此地區所採用之農耕技術甚為粗放，對生產毫無保障，亦無信心，耕種興趣極淡，不但產量低，甚至連成本亦無法收回。

其實砂質土壤因通氣性良好，晝夜間地溫差異大，均可為其優點。其主要限制障礙即經常易發生旱害，設能解決此困難，其他問題亦可因而解決。故只要將灌溉措施列為開發第一要務，再配合利用施肥及防風定砂等管理技術，此砂丘地將可闢成爲一極有前途之農地。又就現代農業科學管理之立場言，砂丘地較一般細質地土壤易於調節其水分及肥分條件，使適於各作物生長之最佳環境，其可能發展之潛力，當更無限量。例如砂丘地所種植之西瓜及香瓜，產量高，品質好，甜分高，此即為砂丘地土壤物理特性使然。其他種植根菜類、地下莖菜類、塊根類亦均有良好之

品質及滿意的產量。種植於草更能獲得低尼古丁含量之高級菸葉。這些條件均可促使砂丘地成爲高價作物之專業產地。

然而，於砂丘地從事灌溉設施，施肥及防風定砂等技術管理，非但需要有特殊之技術及精密之管理，尚需要高成本之投資。因此，對栽培之作物，則須以具有高價值或高產量等條件，方能符合農業之經濟經營。爲求砂丘地農業經濟經營，須配合作物之適當選定，水土保持之措施，防風帶之設置，地力之增進，灌溉技術之研究等同時並進，方可達砂丘地開發利用之目的。

臺灣雖有砂丘地二萬多公頃，但對砂丘地經營利用之技術與方法，至今尚無正確之方針。過去這些地區所栽培之農作物經常受旱害及風害之影響，發育不良，阻碍生長，向來產量很低，成爲旱作低產的代表區。

十多年來臺灣耕地面積始終維持在九十萬公頃左右，爲了經濟的迅速發展，土地資源的利用與開發，最近經常強調「上山下海」去開發邊際土地的山坡地及海埔新生地，而這些邊際土地之開發是一項非常艱鉅的工作，需要將技術、資金、法規、觀念、權屬及社會經濟等問題通盤衡量，確定方針，週密計劃，配以充分資金和人力，由各方面密切配合，才能收效。對於沿著海岸分佈的砂丘地或因其零星分佈較不引起注意，直至最近幾年才開始重視，計劃開發利用改良其農業經營。此項砂丘地農業經營改善，一方面可以安定砂丘，減少砂丘移動覆沒良田村莊之砂害；另一方面可以解決沿海農村貧窮經濟之瓶頸問題，安定砂丘地農業經營制度，提高砂丘地農業生產，爲國家增產食糧，實爲當前農業土地利用極須改進之急務。設能積極加強試驗研究及投資改善經營，將很快地促成砂丘地農業發展。

農復會國科會資助，水利局執行之崎頂海岸砂丘地之開發與灌溉利用示範研究計劃，旨在領導貧瘠地區之農業進入一個新境界。筆者四年來一直參與該計劃之試驗研究與推行，同時幸運地其灌溉利用成果甚爲顯著，顯示農業工程技術應用之成效甚大，甚具經濟價值。目前該計劃已建立若干可資應用之參考資料。故本文主要除介紹一些有關本省海岸砂丘地開發利用之有關問題及研究心得外，同時詳細舉例說明崎頂砂丘地灌溉利用成果，以佐證農業工程在農業土地開發利用所佔之地位，盼因而激起決策者對農業工程技

術之重用，而急速促成農業之高度成長。

同時，更盼本文所提供之資料與方法，能助於本省海岸砂丘地之開發利用，促成砂丘地之農業經營發展，改善濱海地區農村原來之貧困經濟。

貳、臺灣海岸砂丘地之形成與分佈

大海之水甚少靜止，常因氣流之吹拂而引起波動，尤以狂風怒號，水之波浪翻動更爲激烈，因此大量之水，由海底或海面帶動沉砂，向海岸移動，迨與海岸接觸後，即沉積岸旁，海濱沙灘即由是而成。海水由海岸向海內流動時，亦携有砂土，但爲量無多。出水之砂，因風吹日晒，乾燥甚速，至乾燥後又爲風吹而向大陸移動，至相當距離處，因風力漸減，再沉積成砂土，高度與日俱增，直至高度不能繼續由沉積以加高時，即漸次向前移動。

適於砂丘堆積之處，多爲緩和之彎曲海岸線。蓋砂丘之形成多屬因風而成，故海岸地質較軟弱處，風吹浪淘形成曲岸，是以由地形判斷可知其海岸是否可成爲砂丘之堆集地。飛砂地帶後方之陸地，雖爲急傾斜，但飛砂常在此處堆積甚多，因其有阻擋氣流之功效。

風爲砂丘形成之主要力量，亦爲破壞砂丘原形之動力。業經穩定之砂丘，如表層爲風吹去，亦可重複其移動成爲活動之砂丘。其他氣候因素如溫度、雨量、霧、雪均能影響海岸砂丘地之形成。植物亦有防風定砂之效，也爲影響海岸砂丘地形成之因素。

臺灣四面環海，陸地面積雖小，而砂丘面積分佈甚大，據調查統計約有二萬多公頃。砂丘是多風地帶特有之地形，因臺灣濱海之季節風強烈，風積砂丘之分佈甚廣，除了海岸區外，在沿海各地幾乎都有風積之砂土。風積砂丘高低不一，在西北部沿海地帶，自淡水河至臺南之間尤多，均呈不連續之狹長帶狀分佈。其重要者如下列各地：

- 1.宜蘭地區：在利澤簡堡、頂清水庄、下清水庄、猴猴庄及功勞庄共有 393 公頃。在頭城堡之三抱竹庄，大福庄，及民社圍堡之三塊厝庄、過領庄、公館庄及廊後庄等海岸區域 235 公頃餘。兩者合計共有 628 公頃，均係宜蘭濁水溪携出之砂粒，被海水推上海岸因風吹沉積而成。

- 2.臺北方面：合共 500 公頃，大多散佈於各處。最多爲八里盆，坑仔口庄及富貴附近等處。

- 3.桃園西北海岸及竹北等地：砂丘面積 2,000 公

頃，以許厝港為中心，遍及圳板頭庄、草螺庄、樹林仔庄等七、八村庄。

4. 新竹中港方面：砂丘面積約為 730 公頃，與後龍之砂丘地隔中港溪遙相對峙，實際乃同是由中港溪攜帶下來，入海後，復被海潮推送於海岸上而拋棄之砂粒，經沿海風堆積而成。例如香山鄉與苗栗縣境界接近海岸一小地域，原為丘陵地，因面受攜帶砂粒之強風所影響，細砂遠走高飛，粗粒降落在此障壁之丘陵地堆積而成砂丘。

5. 苗栗後龍方面：砂丘面積約為 1,325 公頃。

6. 臺中塗厝方面：砂丘面積約為 255 公頃。

7. 彰化二林一帶：砂丘面積約為 800 公頃。

8. 雲林麥寮方面：砂丘面積約為 4,555 公頃。如麥寮、四湖、布袋、蕭壠一帶及臺南臺地所見，風砂侵襲，現仍進行。在本地區有臺南系及沙崙系之二土系。臺南系之土壤原始物質為海岸之砂受季節風吹襲，向岸移動堆積而成，此種飛砂沿海西岸一帶均有，多為鹽土，因先發現於臺南，乃名為臺南系，土層頗厚，土層型態變化較少，表層軟鬆，下層微實，土質粗鬆，水分與養分保持力均弱，地下水水位低，灌溉困難。沙崙系分佈於臺南東南沙崙臺地，五甲尾、窩子底、落陷寮一帶，地勢為高臺地，排水良好，地下水水位甚低，水分及養分保持力頗低。

以上所舉各地係屬由砂害面積之調查，故尚有許多零星的分佈面積，民國六十三年農復會成立一調查計劃，委託水利局調查本省砂丘地區可用之水資源及其開發利用可行性研究，將有更詳細之資料，可提供開發利用之參考。

叁、臺灣海岸砂丘地土壤分類及其特性

根據農業試驗所調查，臺灣砂丘區按土壤分類可分為海岸砂濱雜色粗砂粒、厚層灰色細砂土、厚層黃棕色細砂土、灰棕色表土及黃棕色底土細砂。其特性及農業上之利用情形分述如下：

1. 海岸砂濱雜色粗砂粒：陸地最邊緣受海浪沖擊堆積而成的矮堤，呈極窄的帶狀。因其高出海水高潮面以上，長期乾燥，其中輕細土粒，都被風吹走或被雨水洗失，僅餘黑、灰、白等雜色粗砂粒與貝殼碎片，沒有層次區分，僅極表面或因微量有機物存在而稍帶灰色，農業上亦無利用之價值。

2. 厚層灰色細砂土：近中性反應，廣布於西部海岸平原的外緣，為淺灰色細砂或中砂堆積，無顯明層次，表層或因含有機物而略灰，多屬中性反應。近海者下部常見暗色或中粗砂雜貝殼碎片，係因陸地上升，海岸後退後，風砂堆積於上一單位而成者。這類砂丘在西海岸各大河流河口之南側，堆積最廣，成為孤立饅頭狀，或連成低岡狀，坡度都很陡，不能耕作，但可造木麻黃保安林。砂丘之內側及砂丘低岡之間，往往有比較緩平之地，土相相同，如挖淺井灌溉，則為理想之瓜類產地。在灌溉水源充足處如宜蘭、彰化等地，此等砂丘平地，均闢為水田種稻。這類砂丘的肥力無疑很低，但若有適當灌溉，施肥得當，多用堆肥，則產量尚不惡。砂丘內側，常形成小片的低濕沮洳地，生成暗色粘質的沼澤土，多作飼養鴨羣之用。

3. 厚層黃棕色細砂土：酸性反應，分佈於濱海低丘邊緣，苗栗大山脚、臺東加路蘭及臺北之澳底（福隆）等地。為厚層黃棕色之細砂或中砂堆積，鬆散單粒，中酸性反應，但深底層有時壓實成半風化之砂岩狀。本土域面積狹小，地勢傾斜，多風易旱，除小片旱田外，多屬生灌木雜草，農業利用上無足重視。

4. 灰棕色表土及黃棕色底土：細砂質，時夾薄層灰色砂質粘土層，近中性反應，分佈於臺南市附近及其以東，自新化、關廟以至高雄之燕巢附近。具薄層灰棕或灰黃棕色表土，黃棕色表土，均為壤質細砂土或細砂壤土質地，鬆散單粒狀，底部或較密實，反應多近中性，亦有微酸甚至中酸性者，東側緩坡低丘地則往往於底土中見青灰色砂質粘土薄層，其中或含貝殼碎片。這一土域在臺南、高雄兩縣分佈相當廣，都已墾種，侵蝕至為厲害，岸壁崩塌尤為嚴重，又易遭旱災，故蓄水階段的構築，實為必需措施。當然，有機質含量低，土壤保肥能力弱，都是很大的缺點，利用時應予注意。

肆、砂丘地土壤物理性及化學性

一、土壤物理性

一般灌溉土壤之若干與灌溉有關之土壤物理性，其平均數值及一般範圍比較，列表 1。由表中資料顯示砂土之特性異於一般土壤，它屬粗質地之極端土壤。

表 1. 一般土壤之代表性物理特性

| 土壤質地 | 下滲及① 滲透性 公分/小時 I_r | 總孔隙 率 % N | 假比重 As | 田間 保水量 % F. C. | 永久 凋萎點 % P. W. P | 總可用含水量② | | |
|------|-------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| | | | | | | 乾重 % $P_w = FC - PWP$ | 體積 % $P_v = P_w \cdot A_s$ | 公分/公尺 $d = \frac{P_w A_s D}{100}$ |
| 砂土 | 5 (2.5-2.5) | 38 (32-42) | 1.65 (1.55-1.80) | 9 (6-12) | 4 (2-6) | 5 (4-6) | 8 (6-10) | 8 (6-10) |
| 砂質壤土 | 2.5 (1.3-7.6) | 43 (40-47) | 1.50 (1.40-1.60) | 14 (12-18) | 6 (4-8) | 8 (6-8) | 12 (9-15) | 12 (9-15) |
| 壤土 | 1.3 (0.8-2.0) | 47 (43-49) | 1.40 (1.35-1.50) | 22 (18-26) | 10 (8-12) | 12 (10-14) | 17 (14-20) | 17 (14-20) |
| 粘質壤土 | 0.8 (0.25-1.5) | 49 (47-51) | 1.35 (1.30-1.40) | 27 (23-31) | 13 (11-15) | 14 (12-16) | 19 (16-22) | 19 (16-22) |
| 坩質粘土 | 0.25 (0.03-0.5) | 51 (49-53) | 1.35 (1.30-1.40) | 31 (27-35) | 15 (13-17) | 16 (14-18) | 21 (18-23) | 21 (18-23) |
| 粘土 | 0.5 (0.13-1.02) | 53 (51-55) | 1.25 (1.20-1.30) | 35 (31-39) | 17 (15-19) | 18 (16-20) | 23 (20-25) | 23 (20-25) |

註：一般範圍表示於括號內

①滲透率因土壤結構及結構安定性有巨大差別，而且常超過上列一般範圍之外。

②確實可用含水量大約為總可用含水量之 75%。

海岸砂丘地土壤多為粗砂及細砂，粘粒及坩粒之含量甚少。大部分砂丘地的土壤 70-80% 為粒徑 0.25 mm 以上之粗砂，粘粒含量在已耕旱作土層為 3-6%，在未耕地及已耕旱地下層土約為 2% 以下。含腐殖率在已耕地土壤約為 1% 左右，未耕地及耕地下層

則為 0.1% 左右。

以崎頂海岸砂丘地灌溉實驗站試驗田表土層 20 cm 之土壤，加以粒徑篩析，其結果資料列如表 2。粒徑主要分佈在 0.42-0.25 mm，占 79.60% 幾為全部之五分之四，分佈在 0.25-0.105 mm 者次之，占

表 2. 崎頂海岸砂丘地灌溉實驗田表土層土壤之篩析

| 孔眼 (mm) | 存留量 (g) | 存留成分 (%) | 存留總成分 (%) | 通過總成分 (%) |
|----------|---------|----------|-----------|-----------|
| 9.25 | 45 | 0.94 | 0.94 | 99.06 |
| 4.76 | 47 | 0.95 | 1.90 | 98.10 |
| 1.68 | 40 | 0.82 | 2.72 | 97.28 |
| 0.84 | 37 | 0.75 | 3.47 | 96.53 |
| 0.42 | 67 | 1.63 | 4.83 | 95.17 |
| 0.25 | 3,910 | 79.60 | 84.43 | 15.57 |
| 0.105 | 728 | 14.80 | 99.23 | 0.77 |
| 0.074 | 16 | 0.33 | 99.56 | 0.44 |
| 小於 0.074 | 24 | 0.44 | 100.00 | 0 |
| 合計 | 4,916 | 100.00 | — | — |

14.8%，兩者所占百分比即達94.4%，亦即表示大部分之土粒徑集中在 0.42-0.105 mm 之範圍。至於通過 0.074mm 之土量僅占 0.44%，尚不及 1%。由於表層砂土在秋冬季節，時受季節風吹蝕之影響，引起飛砂，每次飛砂後，常見有較大顆粒之礫石遺留在

表面分佈，若將 2.00 mm 以上之礫石篩除後，其土壤機械組成測定，砂粒所占之範圍仍為96%以上，坩粒及粘粒合計僅占 4%以下。因土壤多為粗粒徑，土壤保水力低，故再舉崎頂海岸砂丘地灌溉實驗站試驗田代表區土壤物理特性測定資料如表 3。以供參考。

表 3. 崎頂海岸砂丘地灌溉實驗站試驗田土壤物理性測定資料

| 土層深度 (cm) | 土壤機械組成 | | | 土壤質地 | 假比重 | 孔隙度 (%) | 飽和水量 (%) | 田間含水量 (%) | 水分當量 (%) | 1/3 氣壓 (%) | 凋萎點 15atm (%) | 真比重 | 有效水分 | |
|-----------|--------|--------|--------|------|------|---------|----------|-----------|----------|------------|---------------|------|---------|---------|
| | 砂粒 (%) | 坩粒 (%) | 粘粒 (%) | | | | | | | | | | 重量比 (%) | 容積比 (%) |
| 0-10 | 96.5 | 0.7 | 2.8 | 砂土 | 1.63 | 35.6 | 30.10 | 5.41 | 2.56 | 2.85 | 1.99 | 2.53 | 3.42 | 5.58 |
| 10-30 | 96.0 | 1.0 | 3.0 | 砂土 | 1.65 | 36.5 | 30.45 | 7.22 | 2.85 | 3.24 | 1.92 | 2.60 | 5.30 | 8.75 |
| 30-50 | 96.0 | 0.8 | 3.2 | 砂土 | 1.66 | 36.7 | 30.61 | 9.06 | 2.66 | 3.15 | 2.03 | 2.62 | 6.37 | 11.57 |

表 3 資料中，田間含水量係採由田間實測，其測值較在實驗室以離心機所測之水分當量值及 1/3 氣壓之壓力膜測值均高，且高達 2-3 倍。水分當量測值與 1/3 氣壓測值相近，惟後者約較前者高約 0.3%。在灌溉管理觀點上，由於田間含水量測值與實驗室所測之水分當量及 1/3 氣壓所含之水分常數有甚大之差異，故灌溉之上限應採用由田間之實測含水量為基準，水分當量值及 1/3 氣壓之水分常數僅供物理性研究之參考。此項資料在灌溉管理應用上應特別注意。根據筆者對該區土壤取 50 樣品，針對一般物理特性所作之測定研究，列舉下述幾點結論：

(1) 將 2 mm 以上礫石篩除後，砂粒所佔之範圍仍為 94-97%，坩粒及粘粒僅為 0.2-1.5% 及 2.8-5.0%，土壤質地均屬砂土，在表土至 40cm 深之土層，土壤質地無甚變化，可知在作物利用之土層均屬堆積之砂丘土壤，具有相同的土壤性質。

(2) 飽和水量在 25-33%，平均約在 29%。

(3) 田間含水量之測值，田間實測最高為 5.41-11.96%，水分當量範圍為 2.56-4.34%，1/3 氣壓測值在 2.87-4.70%。前者約為後兩者之 2-3 倍。

(4) 永久凋萎點以 15 氣壓壓力膜測定，其值為 1.92-2.77%。

(5) 田間含水量在 5.41-11.96%，永久凋萎點在 1.92-2.71%，設以其中值計算有效水分，則田間含水量為 8.69%，永久凋萎點為 2.35%，有效水分為 6.34%。由是可知砂丘土壤之保水能力甚低，故在灌溉管理方面須採用頻繁而量少之施灌原則。

(6) 土壤假比重之測值為 1.57-1.68，其中值為

1.63，以此值計算有效水分之容積百分比，則為 10.33%。也即每 10cm 之土層有效水分容積僅約 10mm。如實可用水分取總可用水分之 75%，則每 10cm 土層實可用有效水分僅 7.5mm 而已。如採一般認為適當之灌溉起點——以 1/3 有效水分為起點，則每 10cm 可供利用之有效含水量更減為僅 5mm 而已。另一觀點，亦可判知，砂丘地容易發生旱害，灌溉之重要性甚為急切。

(7) 土壤的真比重測值為 2.50-2.76，其中值為 2.63。設以假比重與真比重之中值以估算土壤之總孔隙率，則約為 38%。

(8) 砂丘地土壤因土粒本身為粗粒徑，土壤孔隙大都為粗孔隙，又砂土層深厚，排水良好，故土壤入滲率甚大。以圓桶法測定入滲率，得累積入滲水深公式為 $D = 35 t^{0.735}$ ，平均入滲率公式 $I = 25.7 t^{-0.265}$ 。式中 D 為累積入滲水深，單位為 mm。I 為平均入滲率，單位為 mm/min。t 為時間，單位為 min。基本入滲率 $I_b = 648 \text{ mm/hr}$ 。由累積入滲水深公式，平均入滲率公式及基本入滲率值，可知砂丘地土壤在排水良好之情況下，入滲速度甚高。因此傳統的地表灌溉方法在砂丘地中實施，甚難得均勻之效果。因此須採用其他特殊方法如噴洒灌溉或滴水灌溉。

自然土壤之比熱與其組成之土、水及空氣等所占之百分比有直接之關係。土壤比熱之估算可以下式表之：

$$C_s = 0.20X_1 + 1.00X_2 + 0.24X_3$$

式中 C_s ：自然土壤之比熱

X_1 ：乾燥土壤所占之容積率 (%)

X_2 : 水分所占之容積率 (%)

X_3 : 空氣所占之容積率 (%)

020, 1.00, 0.24 係表示乾燥土、水、空氣之比熱。 X_1 X_2 X_3 三項之總和為 100%。由式中可知右邊以第二項水分所占容積率所乘之係數為 1.00, 為三係數中之最大。亦即土壤比熱與土壤之含水量影響關係最大。因砂丘地土壤保水力低, 土壤經常保有之水分容積率甚低。如降雨後或灌溉後一天, 土壤最大含水量理論上為 8.69%, (F. C.), 其他粘質土壤可為砂土之 4 倍以上。事實上, 砂丘地表層土壤之含水量, 在灌溉後或降雨後一天以內, 很快即因土面蒸發損失, 而降低至 2-3%, 在二天以後即成風乾狀態, 土壤含水量約為 1%。因此表層之比熱經常是甚低, 表土溫度易隨氣候冷熱變化。即中午時刻表土溫度甚高, 夏天晝間表土溫度常達 70°C 以上, 而午夜至清晨, 表土溫度又大幅度地降低。晝夜溫差可達 30°C 以上。此溫度變化現象在砂丘地農業栽培管理上, 為一重要之課題。造成土壤比熱降低之原因, 並不是砂土本身直接發生, 而是因砂土所含土壤水分低間接引起。據前所述, 砂丘地土壤之孔隙率為 38%, 亦即水分與空氣所占合計空間之容積率為 38%。相對地, 乾燥土壤所占之容積率為 62%。如是則可將自然砂丘地土壤比熱公式簡化成僅與土壤含水量之關係式:

$$\begin{aligned} C_s &= 0.20 \times C_{62} + 1.00X_2 + 0.24(0.38 - X_2) \\ &= 0.124 + 1.00X_2 + 0.0912 - 0.24X_2 \\ &= 0.2152 + 0.76X_2 \end{aligned}$$

亦即砂丘地土壤比熱與土壤含水量成直線關係變化, 其變化斜率為 0.76。關係式如圖 1。

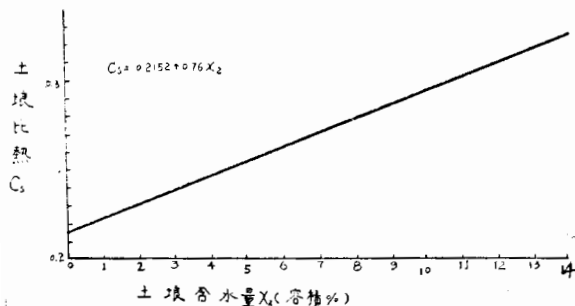


圖 1 砂丘地土壤比熱與土壤含水量率關係

由於砂丘地土壤幾均為風所堆積而成, 同時砂丘地之土壤亦經常受風之作用繼續變動。故風之沖蝕在砂丘地區亦為重要現象之一。風之沖蝕主要包括有風, 表面性質及土壤三種重要因素。風之沖蝕土壤通

常係由下述三個步驟: (1) 移動開始 (2) 移動於空氣中或沿表面移動 (3) 移動至新位置而沉積。土壤粒子係由風之直接壓力及沿地面移動之其他粒子之撞擊而移動於農田。土壤粒子開始移動時所需要之若干最低之風速, 稱為“限界速度 (Threshold Velocity)”。Bagnold 氏提示一名詞“最初流體限界值 (Initial Fluid Threshold)”以示粒子 (體積等於砂丘中大部分砂粒直徑) 開始運動時需要之風速。Chepil 氏亦以“最低流體限界值 (Minimal Fluid Threshold)”表示移動沖蝕性最大粒子時所需之最小速度。至於移動最大粒子所需之速度, 則稱為“最大流體限界值 (Maximal Fluid Threshold)”。在農田間, 最低限界值係為較小之風速, 因此在該狀態下, 粒子之在移動中者, 可向未開始移動者撞擊。Chepil 氏稱此臨界流速為“最低撞擊限界值 (Minimal Velocity Impact Threshold)”。該值之較明晰定義為, 土壤開始移動時所需之最低風速, 係為土粒被風所吹而跳動者。限界速度係依田間狀態而變。根據移動開始風速之測定, 不但與粒徑有關, 與其土壤含水量亦有甚大之影響關係 (如圖 2)。Chepil 氏發現土壤體積為影響限界速度最大之唯一因素, 粒子粒徑之為 0.1-0.5 mm 者, 限界速度最小, 亦即最易受風所吹蝕移動。由砂丘土壤篩析粒徑之調查, 知大部分粒徑分佈在 0.105-0.42 mm, 此粒徑範圍即屬最易為風所移動之粒徑範圍。因此, 砂丘之被風吹蝕情形, 最為嚴重。砂丘土壤又屬單位構造, 土壤含水量低。據田間實際觀察, 裸露砂丘之最低限界風速為 2.0-3.0 m/s (地表 1.5m 高之風速), 此時表土含水量在 1% 以下。由圖 2 各粒徑之含水率與移動開始風速之關係知, 乾燥狀態之移動開始風速甚低, 利用灌溉提高土壤含水率, 可增加移動開始風速之限界值, 亦即可利用灌溉來達到定砂之效果。此在秋冬季節裏, 強烈季節風吹襲時, 灌溉為防止風蝕方法之一, 值得研究採用。

綜上述砂土之物理性質, 雖有保水力低, 易發生旱害, 保肥力低及肥力差, 影響作物生長等缺點, 惟砂土中因土壤孔隙大, 空氣流通, 滲透迅速, 排水情形良好, 作物根羣伸長容易, 耕作方便, 氧化作用發達, 有機質分解快, 施肥效果明顯, 此些優點却頗適合一般作物的生長。設能利用發展較高價的特殊作物, 如香瓜、菸草等, 對其品質控制管理甚為有利。又其表土比熱小, 初春地溫上升較快, 有提早發芽開花之效, 對促成栽培甚有利用價值。同時砂地栽培有

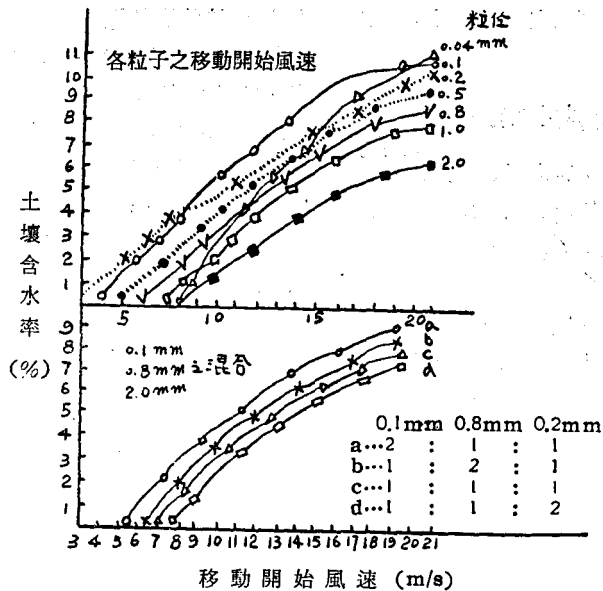


圖 2 各土壤粒子移動開始風速與土壤含水量關係

促成早熟之效果，生育期縮短，早期生產易獲得較高之市場價格。這些可利用條件，將是砂丘地發展農業所應把握之原則。

二、土壤化學性

砂丘地因含粘土及腐植量少，其置換容量（保肥力）及全氮量等比其他一般土壤為低，尤其在未耕地的下層更低，實為農作物低產之主要原因之一。有的地區因形成較晚，或受沿海含鹽海風影響，土壤中仍有高濃度的鹽分，影響作物生長。這些海岸鹽分砂丘地之農業生產須特別注意鹽害之影響。由於砂土保水力小，土壤中含水量低，故所施用肥料等，在土壤溶液中所增加之濃度而引起之滲透壓能，對於作物吸收水分之平衡，常有甚大之影響。多施肥料之砂丘田區，在灌溉後枝葉茂盛，但灌溉數天後，作物之凋萎

情形，較少施肥之田區早，且日趨凋萎之情形厲害，此即因土壤水分減少，而使土壤溶液中濃度急遽提高，產生甚大之滲透壓能所致。在砂土中之土壤水物理性與化學性常有不可分離之關係存在。故在土壤管理上，物理性與化學性不可偏廢。應同時加以考慮其管理措施，較易畢竟全功。

土壤化學性 pH 值及比導電度以崎頂海岸砂丘地灌溉實驗站試驗田之測定結果（如表 4）為例，其 pH 值有一趨勢，其變化範圍為 7.00—4.15。由表土隨深度之土壤酸性有增加之勢。比導電度之變化範圍較小，最高為 632 micromhos/cm，最低為 109 micromhos/cm，由此資料顯示該砂丘地之土壤並無鹽害或鹼害現象，而是頗適合作物栽培之土壤。但此化學性質常因各砂丘地之分佈地點及其生成背景不

表 4. 崎頂海岸砂丘地灌溉實驗站試驗田土壤 pH 值及比導電度 (Soil:Water 為 1:1)

| 項目 試驗田區別 深度 cm | pH 值 | | | | | 比導電度 (micromhos/cm) | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|------|---------------------|-----|-----|-----|-----|
| | A | B | C | D | E | A | B | C | D | E |
| 0-10 | 7.00 | 6.05 | 5.10 | 6.95 | 5.56 | 385 | 274 | 164 | 316 | 210 |
| 10-20 | 6.85 | 5.25 | 5.05 | 5.75 | 5.00 | 189 | 253 | 122 | 316 | 501 |
| 20-30 | 6.45 | 4.75 | 4.85 | 4.85 | 4.45 | 132 | 253 | 153 | 231 | 231 |
| 30-40 | 5.45 | 4.65 | 5.05 | 4.45 | 4.15 | 109 | 185 | 126 | 316 | 253 |
| 40-50 | 5.05 | 4.45 | 5.05 | 4.20 | 4.20 | 113 | 253 | 158 | 632 | 274 |
| 50-60 | 4.80 | 4.50 | 5.20 | 4.15 | 4.20 | 185 | 231 | 170 | 379 | 149 |

同而異，在開發利用時，宜分別測定，再判斷其利用方法。

伍、海岸砂丘地開發利用之重要性

海岸砂丘地除了本身易受風害之影響，作物生產沒有保障外，且產量低，農家經濟貧困。以往對於海岸砂丘地因未能積極開發利用，大多採取粗放的經營方式，根本沒有採取防風定砂措施，每到季節風期，更大多是棄耕，任風吹揚，砂丘地在沒有作物保護之下，砂隨風移，到處飛揚，更助風之破壞作用，風携砂行，擴大砂丘之分佈面積，以至海岸砂丘經常移動，移向內陸，為害人畜、田園，覆沒房屋，灌溉設備，阻碍交通，造成嚴重的經濟損失。以往對於海岸砂丘地之調查（如本文第二節所舉），均屬砂害面積之調查，可見海岸砂丘之未能開發利用，不但本身之土地資源不能被利用，甚至因它的未加防風定砂控制，造成其他的經濟損失。因此；海岸砂丘地開發利用有下列政策性及經濟性之兩方面意義：

1. 改善農業經營，提高砂丘地農業生產，安定砂地農業經營制度，為國家增產食糧，改善沿海農村貧窮經濟，以躋富足之生活。

2. 促進海岸砂丘地的土地積極利用，使地盡其利，並因對砂丘地之利用而重視防風定砂措施，減少砂害之影響，變不能為可能，使無用而成有用，以至成大用。

陸、砂丘地開發利用之途徑

一、開發利用原則：

砂丘地開發利用在技術方法上可分兩不同方向：其一為因地制宜，不擬改變土壤性質，而就原來之砂丘地環境條件，以各種適當的水土保育措施，選植適宜砂丘地栽培之作物，利用灌溉設施實施特殊之灌溉方法，配合適當之農藝技術栽培管理，從事農業經營。另一不同方向，即從事土地改良，利用現有的科學技術及方法，在短期內改變砂丘地土壤之缺點及性質，或用農藝方法行緩效性之漸次改良措施。而上述二不同方向之取捨，則應比較其實施之難易，投資之大小及成效如何，即以經濟觀點作為決策評定之標準。

二、灌溉為開發砂丘地第一要務：

改善砂丘地缺點，利用其優點，為砂丘地開發利用之基本途徑與措施。而灌溉措施則為開發砂丘地之第一要務。因適當之灌溉實施，可補充作物根系土壤

水分，避免旱害發生，同時亦可調節砂丘地地溫，夏灸灌溉可降低地溫減少燙害，冬寒增高地溫減少凍害。又可用以固定砂粒，使不易被風吹動，同時因作物得灌溉之滋潤而生長，根系之固着及植被之保護，更可保護表土，避免形成飛砂，加上作物根系殘體等腐爛增加有機質，提高保水能力及肥力，微生物活動亦趨活躍，漸次改變砂土性質，此直接與間接之作用，對砂丘地開發利用最為有效，亦最為根本。而此均由灌溉措施以促成，故列為第一要務。

三、經營方式及作物輪作制度之選擇：

對於砂丘地經營方式並不一定局限於作物栽培經營，也可採農牧綜合經營方式，因砂丘地需大量的堆肥以改善砂丘地的肥力及保水力。因此，可以鼓勵農民，配合養豬計劃，種植飼料，而以豬糞、尿等水肥作為基肥，補充土壤有機質，可以主業、副業兼顧，增加收入，達成多角經營。對於作物栽培之選定及作物輪作制度之選擇，應考慮下列之原則：

(1) 季節性天候之適應。何種作物適生於何種氣候條件，雨量之有效利用率、冷害、風害、燙害等之抵抗均為先決條件。例如省內葉蔥之消費量日益增加，砂地適於栽培，蔥又不易受颱風損害，颱風後常身價百倍，為一理想蔬菜。

(2) 作物種類之選定，以高質及高產量為優先。但早作物之經濟價值，因時而易，殊難肯定規定，將來之發展更須視市場之需要始可決定。

(3) 為便於旱作灌溉田間運營之方便，同種作物宜集中經營。在春夏雨季適於計劃生產蔬菜，共同經營，共同運銷，以彌補砂地交通及人力不足，並確保栽培收益。

(4) 生產物在時間上能互相調濟，經濟利益最大。如前期之高莖作物可為後期作防風之用，禾本科之枝幹莖葉可為覆蓋材料及有機物補充材料，則副產物亦將是農場主要收入之一。可增加收入效益。

(5) 輪作制度應具有水土保持之實效。在防風林尚未達到有效防風高度之前，於季節風期避免栽植高莖作物。

(6) 秋冬季可選栽培安定性之作物或綠肥作物。

四、加強防風定砂，採取區域規劃及管理

海岸砂丘地由於地理位置的關係，容易遭受颶風與季節風為害，為保持地力，增強地力，防風工作至為重要，欲增加砂丘地之單位面積產量，確需配合防風耕作，尤其在砂地實施重翻後，必須迅速辦理防風定砂工作，俾農作物免遭強風及飛砂破壞。欲有效

地防風，區域性整體之共同水土保持防禦政策，乃為最經濟最有效之措施。就全區域整體性從事防風林設計，防蝕防沖飛砂控制工程措施，較每一農戶單獨的措施行動具有實效與力量，工程投資亦較容易籌劃與分攤。由於生產投資成本均甚高，故種植作物應以高價為主。但所謂高價，此與供需之平衡及產銷等條件有甚大之關係。若全區域從事大量的某作物生產，而沒有預先開拓運銷市場，即使原是高價作物亦被商人貶為低價作物。故就計劃生產及計劃運銷，全區域應組織成爲一單位，成爲整體性之農場單位，方能維持保護特殊之農產品利益。就灌溉管理立場而言，農民組織健全與否，對管理之成效有莫大之影響關係。如以噴洒灌溉，由於農民之耕地面積不大，但灌溉時，須搬移管路，則每次灌溉時，均須二人以上之人工，耗資甚鉅，殊屬浪費。且有時少數農戶霸佔噴管，故農戶間常起糾紛，造成灌溉管理之問題。若有集體經營之觀念，利益與共，有健全之農民組織，則有雇用專人負責掌水及搬移管路，所費較輕且管理亦較易，更無爭水之糾紛。故爲促成砂丘地之開發利用，區域性整體之規劃與管理，誠屬必要。

五、政府有計劃之投資開發與輔導

由於海岸砂丘地的開發利用，必須有許多的公共設施，如防風設施、灌溉施肥設施、耕作設施等，同時爲了提高砂丘地所生產的特產商品價格，故尚需要配合產銷計劃經營管理，設施的投資成本甚高，且關係到區域性及技術性上之困難，而其成果將影響到社會之經濟，因此，對於海岸砂丘地之開發利用宜由政府投資或補助，由政府指定有關農業單位輔導農民從事計劃產銷經營管理。另一方面加強試驗研究，探討更適合砂丘地及更經濟的農業經營技術，俾資發展砂丘地農業經營之參考。又這些海岸砂丘地目前甚多均屬於政府管轄之保安林地，但均爲農民濫墾佔耕，政府既無能力從事保安林之管理，佔耕之農民又不敢大量投資防風定砂以從事農耕，大多以打游擊姿態粗放地種植紫甘藷、花生等作物，對土地管理及利用立場均不當。故政府對這些砂丘地之處置在政策上應重新檢討。宜種植保安林者，應嚴密收回管理，可供農耕者，宜設法由農民承租或放領處理。

海岸砂丘地利用屬邊際土地之開發，對國土政策上有甚大意義，與山坡地、海埔地之開發同具重要性。惟以灌溉工程立場而言，較易開發之工程均已開發，目前邊際土地之開發所須耗費均較鉅，遠非農民目前所能直接負擔，但其開發之利益並非僅目前農作

物收益，而尚具有重要之目的，其最後效益，政府均可直接間接取得，故工程投資應由政府全額或大額比例開發投資爲宜。

柒、臺灣海岸砂丘地之灌溉利用

開發現況與試驗研究

本省海岸砂丘地有灌溉設施利用者甚少，大部分均屬看天的旱作經營。僅有極少數較低窪處之砂丘地因有豐富水源，可直接引灌者闢爲水田，但其用水甚爲浪費，若按水量以計算水費成本，其增加之收益將無法應付用水費用，在此較平坦穩定的砂丘，也有些較爲勤奮的農民，自鑿淺井，利用手動或腳踏方式抽水，經營旱作，如西瓜、蔬菜、花生、甘藷等，但由於利用手動或腳踏方式等人力抽水，抽水量有限，且所費勞力甚鉅。其利用方式，大多是將水抽至地面蓄水池，蓄水池之容量約僅 1-10M³ 而已，而利用水桶、噴桶等挑水澆灌作物，故其所能灌溉之水量有限，當然所能經營之面積也甚有限。雖有生產，但總生產量甚少。而整天勞力的投資，幾乎均花費於灌溉上，誠非經濟經營方式。故未能促成砂丘地之有效經營。

水利局於民國 56 年在苗栗縣大埔水庫灌區崎頂火車站附近，曾選定 16 公頃，設施地表管灌溉，噴洒灌溉及明渠灌溉三種系統，作爲灌溉系統比較之示範區。工程完成後並由水利局旱作灌溉推行計劃撥款辦理灌溉效率之比較試驗及作物栽培示範工作。民國 57 年由農復會補助，在竹南鎮崎頂里再選定 35 公頃之砂丘地區，完成全灌區管路系統之佈置與施工，並購置噴灌器材，成爲砂丘地噴灌工程示範區。58 年夏天完工後即開始實施噴灌應用。59 年農復會更經費補助，由水利局設立實驗室，實驗田、氣象觀測站，購置各種灌溉試驗設施及儀器，成立「崎頂海岸砂丘地灌溉實驗站」，專責辦理與砂丘地灌溉利用有關之試驗研究業務。筆者即於此時開始參與負責此項工作，近四年來試驗研究的結果，已有相當滿意的成果及資料可供參考應用。農民在示範及推廣的輔導下農耕經營，也有甚大的收益以改善其生活。（成果於后以實例介紹）。最近一年來，由於在示範噴灌區，農業經營有甚爲顯著的灌溉效益。因此，在示範區外，也促發了約 20 公頃的砂丘地農民，自行仿設動力抽水噴灌工程，他們也馬上享受到噴灌工程之灌溉效益，增加許多收益。這些砂丘地之農民，在有灌溉設施保障下，已有充分信心地投資經營各種砂地作物。

明德水庫完工後，利用其水源，也開發了位於苗栗縣造橋鄉及後龍鎮間的大山脚砂丘地。同樣設施噴洒灌溉系統工程，面積總計為 266.5 公頃。60 年起也開始展開作物灌溉栽培示範工作，二年來也有滿意的灌溉成果可供參考。61 年起，在南部的林厝寮砂丘地，亦設置噴洒示範區，預計擬由示範區而推廣噴洒工程的大面積應用，漸使砂丘地因灌溉設施之介入，而加速砂丘地之農業發展。由於最近三年來之砂丘地噴洒工程示範試驗，已顯示灌溉對砂丘地開發有顯著地催生作用，同時有顯著之灌溉效果。此一事實，使我們有信心地繼續開發利用本省之砂丘地。

砂丘地開發利用之有關研究，日本已有多年之研究，且有許多成功開發實例，惟其氣候及環境條件與本省不盡相同，故資料上難完全引用，但其若干基本問題之研究資料及原則，開發利用之過程與方法均值得參考借鏡。在臺灣之實地研究，最近幾年才開始，在南部於民國 56 年由臺南區農業改良場在雲林縣林厝寮開始從事砂地農業生產之研究。其研究內容包括防漏水田之經營，砂地稻作改良，園藝作物品種與栽培試驗、灌溉試驗、砂地防風定砂等研究。在北部，新竹區改良場也曾進行類似之試驗研究。目前專責辦理砂丘地有關試驗研究者，則以崎頂海岸砂丘地灌溉實驗站較具規模。目前該站將是任重道遠，負有促成砂丘地農業發展資料技術提供之責任，防政府能繼續給予資助輔導。

捌、海岸砂丘地灌溉利用技術研究

筆者在大學及研究所期間主要攻研灌溉，畢業以後有幸，旋即直接參與水利局崎頂海岸砂丘地灌溉利用研究計劃，由設立實驗室開始，實地負責砂丘地灌溉利用等有關之試驗研究工作。民國 60 年 6 月筆者曾於中國農業工程學報發表拙文「海岸砂丘地開發利用之研究途徑」，於文中提示若干研究方向及內容。由於當時係開始參與研究，故所撰述大都屬研究項目之綱要，包括對海岸砂丘地之氣象、土壤、作物、水分運動性等基本問題之認識，及對灌溉利用、防風定砂、高價作物生產、土地改良等諸應用問題。四年來筆者一直從事海岸砂丘地灌溉利用試驗研究工作，從所收集之參考資料研究中及實地試驗心得，對上述所列各項問題已略有較深入的認識與心得，尤其在灌溉技術問題方面所獲較多。茲將砂丘地灌溉利用有關技術心得敘述如下，以供參考指教。

一、砂丘地灌溉之特性及原則

1. 季節風強，開渠方式輸水系統易遭風砂埋沒，且渠底渠側砂土易受風蝕及水蝕引起構造物之崩毀，必須採用閉塞式管路系統。

2. 砂丘地形起伏不平，如用地表灌溉，必須整地，頗費勞力，極不經濟，且滲透性大，效率低。

3. 噴洒灌溉為最佳之灌溉方式，但因土壤保水力小，故必須採用少量多灌之方式，操作甚為費工。

4. 季節風強，噴洒水滴易受風吹移，影響噴洒水之分佈。

5. 噴洒設備成本高昂，必需種植高價作物，方能確保工程效益。

6. 春作灌溉，以補充田間作物耗水量為主。夏作灌溉時，為降低地溫應酌予增加灌溉頻度，而秋冬灌溉則應增加定砂灌溉次數。

二、適合砂丘地之灌溉方法及設備研討

1. 迴轉式噴頭噴洒灌溉方式

以採用中間壓噴頭為宜，噴洒設備可採用固定式或可搬動式，因目前臺灣噴頭器材價格尚高，故目前暫以採半移動式較為經濟，中間壓的噴灌可適應全部砂丘地栽培作物，僅需在某些作物播種後之幼苗期略為注意，避免噴洒水沖毀幼株。對於噴灌之設計，噴洒效率因易受風之影響，以採 70% 較為適當，噴頭間距可採 12m，噴洒支管間距可採 18m。對於系統容量之設計，由於砂丘地之灌溉需水尖峯甚大，應考慮實施尖峯期尖峯灌溉（可延長日灌溉時間到 24 小時），對於灌溉系統之負擔及運用較為經濟。在灌溉管理上採用支管為單位，實施輪流灌溉方式。在工程上之設計，灌溉水源可採用地表水或地下水，用抽水機抽水直送或者再用空氣壓縮機加壓，再輸送，若有特殊地勢可資利用，也可採用重力輸水噴灌。灌溉輸水管路雖可順應地形，不需整地，但因砂丘地之地形大都起伏不平，坵塊零亂，也缺少交通道路，對於旱作噴灌之集體經營上及灌溉管理，應配合實施農地重劃及道路整建。至於對起伏過大之地形，管路的佈置不需完全順應其地形，宜考慮因有灌溉以後，農民對過度起伏起形，因不利耕作而會將之整平。以崎頂海岸砂丘地為例，原來是起伏的砂丘，經二、三年的耕作，有 80% 以上的田區都成為平順的坵塊，以致原來順應起伏地形埋設之管路，現在變成裸露在外。一般而言，較大面積之砂丘地灌溉仍以轉式噴頭噴洒灌溉為佳。

2. 穿孔管噴洒灌溉方式

目前所用的穿孔管有硬式管及軟式管兩種。其灌

灌溉範圍較小，惟其出水量較大，移動方便，頗適合蔬菜等園藝作物之灌溉。外國製的穿孔管由於價格甚高，應用較少，至於自製之穿孔管，鑽孔不一，且材料較差，以至出水不均勻，尚需對鑽孔技術及使用管材方面多加研究。致於所需之水源及輸水管路加壓系統與前者相同。

3. 噴槍噴洒灌溉方式

可以適合任何一種作物及地形，其移動方便且噴洒範圍可調整，故對不規則地形更容易適應，是一非常理想之噴洒灌溉器材。在砂丘地區也以採中間壓式為宜，目前臺灣對此種器材尚未製造過，舶來品價格高，在臺灣宜發展此類灌溉器材。

4 滴水灌溉方式

滴水灌溉為一種新興的灌溉方法，在國外的乾旱沙漠地已有其發展的歷史，本省崎頂曾自以色列引進，觀察其適應性，認為在利用地下水灌溉的砂丘地有其利用價值，其灌溉操作簡便，節省勞力，灌水時間及灌水量可任意調整。對於灌水時間及灌水量可任意調整，在灌溉管理上可視作物的生理需要精確地控制調節，而達到較好的品質及較高的產量。同時又可配合施肥，減少施肥的工資，在滴灌實施中噴農藥或收穫之工作仍可進行，而不受妨礙。滴水灌溉最大之特性係將灌溉水滴於作物根系容易吸收之範圍，故較其他灌溉方法如噴洒灌溉及畦溝灌溉，田埂間漫灌等，可以節省可觀之水量，其包括地面蒸發，逕流以及滲漏損失等均較小。在以色列之灌溉試驗結果，滴水灌溉較其他灌溉方法可以節省 25-50% 之灌溉水。於是滴水灌溉特別適合於灌溉水缺乏之乾旱地區。滴水灌溉較其他灌溉方法，在作物根系範圍內經常能保持最適土壤水分及供給充分之氧氣以供作物生長之需要。為達到此種作物生育最佳條件，其他灌溉方法幾乎無法以少量之水及短暫灌溉期距實施灌溉。唯有滴水灌溉僅開關制水閥，即可由滴嘴滴出水滴，依毛細作用擴散至作物根系範圍，並且經常保持作物最佳生育條件之土壤水分。滴灌除滴嘴附近之土壤潮濕外，大部分之土地仍可維持乾旱狀態，故雜草稀少。雖雜草局部生長於滴嘴附近，但容易施藥除草。又因滴水依毛細作用逐漸擴散土壤水分，土壤不易形成表面硬殼或地下硬盤，故無需耕耘以增加土壤內之氧氣流通或排水性能。據以色列試驗，認為滴水灌溉特別是在蒸發量大而缺水之貧瘠鹽分地，以鹽分水灌溉時尤能表現其特性，如顯著增加作物產量，通常比噴洒灌溉增加一倍。因鹽害問題以一般灌溉方法不能生長之作

物，亦能生長。可縮短作物生長期而提早收穫。

所謂滴水灌溉，雖因使用不同滴嘴 (Trickle nozzle) 裝置而有數種不同形式，但其系統構造及原理，概為先使灌溉水受壓由導水管輸送至適當距離所排列之配水管上配置的滴嘴以相當慢之速率滴出，其速率範圍通常在 2-10 升/小時。同時水流出滴嘴之壓力亦幾近於零。為達此目的，滴嘴通常係具有特殊構造。目前滴水灌溉系統所使用之管路及滴嘴，均為 PE 塑膠製品。滴水灌溉系統之主要構造，可分為首部 (Head)、導水管 (Conducting pipe)、配水管 (Distribution tube) 及滴嘴 (Trickle nozzle) 等四部分。由於灌溉水是在有壓力情況下輸導至各配水管，而在滴嘴經由螺紋狀細縫減壓滴出，總用水量可以配合液肥控制施用。通常首部設備包括過濾器 (Filter)、閘門 (Valves)、接頭 (Coupling)、水錶 (Water meter)、壓力計 (Pressure gage) 及液肥裝置 (Fertilizer apparatus) 等。因滴嘴之螺紋細縫孔道甚細，為避免經常之堵塞，在系統之首部須設有過濾器以濾除灌溉水中所含之雜質，為防液肥之肥料堵塞滴嘴，通常在液肥裝置後面亦設有小型濾肥器。過濾器通常係由密織之過濾網組成，過濾網係為金屬或尼龍製品，使用一段時間後，應注意取出清洗，或另設計控制閘門，利用具有壓力之灌溉水在首部反向沖洗清除過濾之雜物。過濾效果之良否，對滴嘴堵塞之發生常有直接之關係，須常注意。首部設備之主要作用，包括控制水量，量水以及施用液體肥料。所謂液體肥料裝置，係由一鐵筒構成，用以盛儲液體肥料，以二條塑膠管分別與首部之管道相連接，連接前端者為灌溉水進入之通道，連接後端者為稀釋之液肥輸送至導水管與灌溉水混合之通道。在兩者之間，設有制水閥以控制並調節灌溉水與液肥之稀釋比例。通常約有 $\frac{1}{3}$ ~ $\frac{1}{4}$ 之水量通過該處以稀釋液肥。導水管為將已過濾之灌溉水或稀釋之肥料水輸送至配水管之管路，係塑膠製品，導水管管徑之大小由輸送灌溉水之流量與間距而定。配水管係由導水管連接出來之分支，其管徑通常為 $\frac{3}{8}$ ~ $\frac{1}{2}$ 吋。互相平行排列而與導水管垂直。配水管上附有多數之滴嘴，其所排列之處，即為灌溉水滴出之範圍。配水管係塑膠製成，稍具軟性，能順著地形自然排列，故能適應各種地形，排列在地表上，亦可埋入 5~10cm 之土內。配水管之長度應視水壓與滴嘴數目及流量之多少而定。在許多試驗下認為， $\frac{1}{2}$ 吋配水管之最適長度為 30~45 公尺。配水管之間距通常視作物栽培習慣，耕作條件 (如耕耘、日

照、收穫等)及經濟條件(配水管及滴嘴成本之比較)等而定。通常之距離一般為 1.2~1.8 公尺。

滴水灌溉系統在操作上最易發生之問題，為滴嘴之堵塞。由於滴嘴之通水孔道甚小，遇有雜質即行堵塞。為防止堵塞，雖在系統之首部及液肥筒之後各裝有過濾器，但所用之灌溉水係地表水，有機物含量甚多，不易完全被過濾，當流至滴嘴時，因壓力突然降低至幾為零之程度，有機物即在滴嘴孔道縫上積聚，幾天後即形堵塞。堵塞後之清除工作甚為麻煩，須將被堵塞之滴嘴取下，換上好的滴嘴，將堵塞之滴嘴取回室內清洗。清洗時由於滴嘴被堵塞，欲取開滴嘴時需稍用力，因滴嘴係塑膠製品，質稍軟，甚易造成滴嘴之變形，而使滴嘴之流量造成不均勻，此是最大缺點。尤其是利用池塘水時，應另設特製之砂礫設備，以先排除青苔類之有機雜物。因滴嘴之數量甚多，當作物莖葉茂盛時，滴嘴常被遮蓋，便在巡視清理被堵塞情形時，有許多不便。滴水灌溉管路係全部佈置於田間，故不能採用移動式，在設備成本上甚高。又其配水管數目甚多，每次種植前須先行按裝佈置，採收後又須收起，以便整地，此項工作在短期作物而言，頗為費工。

有關滴水灌溉之介紹，筆者曾在農工學報介紹二篇譯文「滴水灌溉」及「滴水灌溉之水力性及均勻性」。滴水灌溉之設計及應用以往均根據經驗來判斷。農復會溫理仁先生曾發表「滴水 PE 灌溉系統及其應用」，建議根據水力理論決定支管之最大容許長度、管徑、進口之所需水壓及流量，以及灌溉效率。筆者最近在臺灣水利第二十一卷第三期，發表「滴水灌溉之一般特性及其應用」，在文中除對其特性有較詳細之介紹外，將若干實際應用之操作及管理問題，也提出討論，堪為參考。至於有關滴水灌溉之適應性及土壤水分運動性情形，目前正積極試驗中。

臺灣塑膠工業發展甚速，因此可自己發展製造滴水灌溉設備如滴嘴、滴水管、制水閥、過濾器、接頭、水錶、洩氣閥、施肥裝置等。則滴水灌溉可更進一步地發展。目前 PE 公司對這方面的發展亦頗感興趣，相信在最近幾年內在應用與製造兩者技術的配合研究下，將促成滴水灌溉法的發展。

5. 短溝地表灌溉方式

在地勢較平坦的區域，為減少設施費，可試行此種灌溉方式，惟應注意其灌溉流量與流長之關係，畦溝不宜太長，以減少溝首之滲漏損失，增加灌溉效率，溝首可考慮使用地表管施水灌溉。此在灌溉水路

已經完成之地區可以考慮應用。

6. 溝底鋪防漏塑膠布溝灌方式

此法為筆者所創，於民國 59 年曾從事初步之試驗觀測，其方法乃是針對砂地實施溝灌時滲漏太大，影響水流之前進，因此在灌溉畦溝之溝底鋪防漏之塑膠布，塑膠布阻止溝底之垂直下滲，增加溝側之入滲機會，入滲位置均在溝側，且入滲時間延長，入滲水頭增高，促使灌溉水有較多之機會進行水平側滲，及向上擴散，增加毛管上升水分，畦較易有更多的水分，增大有效灌溉之幅度，又塑膠布之阻止垂直入滲，則水流前進較速，可免除溝首段造成過量的滲漏損失，節省灌溉水。在灌溉水入滲剖面情形如圖 3。

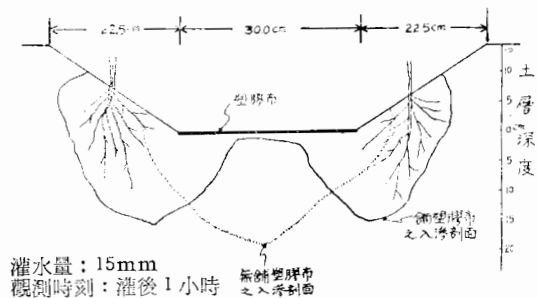


圖 3 溝底鋪塑膠布有無之潤鋒斷面

在坡度為 1/200 之砂地進行此項試驗之結果，發現灌溉水流前進曲線及退水曲線之分佈甚為理想，幾為平行線，溝首及溝尾浸水時間相差不大，流量 $Q=1.11$ l/sec 時，流長 40 公尺，僅需 4.9 分鐘即可到達。 $Q=2.00$ l/sec 時，則僅需 4.4 分鐘。如水流至溝尾即行斷水灌溉，灌水量在 $Q=1.11$ l/sec 一次僅為 8mm，在 $Q=2$ l/sec 者，灌水量為 13 mm，即在溝底鋪塑膠布溝灌情況下，能行小水量之灌溉，對於砂丘地保水力低之條件頗適合。且水分之分佈均勻有效。若擬增加一次灌水深度，可降低縱坡，或延長斷水時間予以調整。溝底所鋪之塑膠布可減少土面蒸發，凝聚水分於溝底，增加表土水分，減少地溫之遽變，對於可行溝灌栽培之蔬菜及其他行栽作物頗為理想。又因其灌溉方式屬地表灌溉，水之輸送係依賴重力，僅需微水頭，故可利用抽水機或灌溉溝渠水源直接引灌而無需加壓，節省動力費。在地表灌溉系統完善之區域，可局部使用，減少灌溉設備成本。此種溝灌最大缺點，即溝形易被強風破壞，故在受強風影響之地區及季節，為其使用上之限制條件。

三、灌溉水源

海岸丘砂地因滲透性強，保水力低，故對降雨之有效利用量小，通常降雨後最多一個星期即需要灌

溉。談灌溉必須要有灌溉水源，才能解決灌溉問題。通常砂丘地區之下面有豐富的地下水，可為開發海岸砂丘地灌溉水源。惟在砂地打井抽水時，必須注意流砂問題。但若有地表水如有水庫，池塘可供調整儲水利用，或灌溉渠道流經該區域可資應用時，當以直接引用地表水較為經濟。如崎頂海岸砂丘地灌區即利用大埔水庫之大埔圳支線流經該區之便，引入調整地，再抽水加壓噴灌。大潭砂丘地區之水源則取自明德水庫經流 15 公里之幹支渠長程輸送，然後注入蓄水量達 36 萬立方公尺之大潭水池，再以動力轉送至距離 800 公尺，標高 50 公尺之配水池，復經加壓支管與重力壓支管分支輸送至各噴灌區域。最近，在崎頂砂丘地噴灌示範區之西北側，農民自行鑿淺井噴灌，每口井供應一組噴洒支管，灌溉 3 公頃面積。這種自己農場式之噴洒灌溉系統佈置，雖成本稍高些，但是應用時間甚為機動自由。此井之利用，對於零星土地之開發，有其適應性。兩年來，崎頂砂丘地在計劃灌區外農民已陸續開鑿有 8 口。

在歐洲有利用海水灌溉砂丘地之試驗，認為在砂丘地利用海水灌溉可以從事農耕，以甜菜試驗結果，不但沒有鹹味，反而更甜，不過此種利用海水灌溉之技術，在臺灣尚未嚐試，若欲引用時，不能按普通旱作灌溉計劃標準實施，需考慮如滴水灌溉之保持高水分灌溉方式，方不至引起鹽害等問題，同時必須注意排水問題。以臺灣而言，由於砂丘地區分佈所在，地下水源大多均豐富，或地表水源也已引至附近，故在水源利用方面，應無多大問題。

四、砂丘地灌溉施水基準

根據筆者之研究，認為砂丘地灌溉需水量包括作物需水量，地溫調節需水量及定砂灌溉需水量等。此三種需水量在各季節間有甚大之差異，而後二者有其必須之時節，故灌溉需水量之訂定標準較為複雜。灌溉期距在各季節中有甚大之變化，作物種類不同也有甚大之差異，即使同一作物在不同生長階段，灌溉期距也有顯著之不同。

海岸砂丘地因土壤本身含水量甚低，對於灌溉期距之確定，在用水經濟方面有甚大的影響，如計劃灌溉期距過短，增加灌溉成本甚鉅，相反，如灌溉期距計劃過長，則作物恐因缺水而遭旱害，有失灌溉之時效與設施灌溉之意義。砂丘地區之灌溉期距較一般土壤為短，此是灌溉之最大特徵。頻繁的灌溉施水對灌溉管理及操作，是一項煩擾而重大負擔之事，因此，如何就此觀點衡量灌溉方法之適用性，也為一重要之

角度。由於灌溉需水量之要素包括作物需水量，調節地溫需水量及定砂需水量等，當然灌溉期距除了以上土壤根系全層保水力及作物耗水量計算外，表層土壤水分狀態之保持，亦為決定灌溉期距之重要因子，尤其是地溫調節灌溉及定砂灌溉全視表土乾燥程度而定。

根據四年來筆者實地觀察研究，砂地高溫期係在 6-9 月間，在此夏夏季節，表土之蒸發損失甚快，在灌溉後 2-3 天即因蒸發損失而形成乾燥表土層，但其乾燥表土層尚淺，僅在 5cm 以內，但此薄層地溫即常現有特殊高溫。故站在調節夏季高地溫灌溉觀點，其灌溉期距在三天以內為適，而純為調節地溫之灌溉水量，5-10 mm 即足夠。亦即在灌溉期距長於三天之灌溉，可於其間插入地溫調節灌溉次數，而其插入之灌溉用水量以不超過為 10 mm 原則。

至於定砂之灌溉，由觀察資料，顯示地表 1.5 公尺測高之風速達 3.0m/s 以上時，即能使表土乾燥，砂土飛揚，造成風蝕。由於灌溉能提高表土含水狀態，增高表土引起飛砂之限界風速，減少飛砂情形。以崎頂地區之秋冬季節風力，表土在灌溉後 1-2 天，即可能形成乾燥表土而導致飛砂。故本站擬定定砂灌溉之基準為：風速在 4.0m/s (測高 1.5m) 以上時應考慮定砂。一次定砂灌溉用水量 5-8mm，至於定砂有效時間約為 1-2 天。

作物需水量之影響因子亦甚為廣泛，故想明確地肯定其值甚為困難。但在此，筆者強調若干不同特性之作物，有其特殊之需水期，在應用機動灌溉上不可忽略。崎頂砂丘地區及大潭砂丘地區之許多農民，均有這些經驗。即有了水可供灌溉，則在初期拚命的用水，一直使植株莖葉繁茂，但到最後採收時，收穫物却少得可憐，這並非水之不良影響，而是用水不當之不良影響。此經驗均曾發現於西瓜、香瓜、花生、蘿蔔等作物。由於初期過度用水使作物營養大量耗費於莖葉之生長，到後期果實肥大成熟時，造成營養不足，甚至連開花受粉均無力完成，對產量影響甚鉅。曾有一農民種植蘿蔔，他對管理上甚為細心週到，在初期對水分之供應更是無微不至，使蘿蔔莖葉從未發生過凋萎，連暫時性之凋萎亦未發生過，從田面上觀察，生育過程中莖葉肥大高挺，心裏頭一直沾沾自喜，估算將來產量一定可突破記錄。可是到採收時，却發現塊根既小又短，產量甚低。分析其原因，即充分之灌溉，使根系無需向下伸展，而且大部分之養分均耗費於莖葉之生長。這些經驗，在作物栽培管理

上，甚少提及。故特此提出供參考。

根據砂丘地作物機動噴灌管理實地經驗，對於砂地作物噴灌管理之原則，已獲至初步之觀念。茲按生長階段分別敘述於下：

1. 播種萌芽期或定植成活期（全生長期之 0-15% 階段）

由於此階段，作物之根系甚淺，作物需水量幾全為表土之蒸發損失。灌溉管理完全視表土水分之保持狀態影響，在夏作此階段之灌溉最為繁重，即要供應發芽及成活之充分水分，同時需考慮作物受地表高溫之可能影響而加以調節灌溉。其灌溉特性，即表層砂土之水分保持灌溉，一次灌水深較小 5-10 mm 即足夠，惟灌溉期距甚短，幾乎每天要灌溉一次。因此，在夏天此階段之栽培，最好能考慮覆蓋措施，以抑表土蒸發損失，減少灌溉頻度管理。至於冬作，表土乾燥易引起飛砂，故配合定砂灌溉仍為不可避免。其灌水深亦以 5-10 mm，灌溉期距為 1-2 天，視風力而定。在此階段灌溉土層深度以 10cm 計劃足夠。

2. 生長幼期（全生長期 15-30% 階段）

在此階段，作物管理應健全植株之生長勢，使植株健壯，故其灌溉管理原則，仍採高土壤水分狀態，避免使植株造成凋萎損傷。夏作仍須防止表土乾燥層之形成，抑減表土溫度急遽上升造成燙傷。冬作防止表土飛蝕，定砂灌溉仍不能忽視。故表土水分管理以不造成為害為度。在此階段之灌溉管理原則：灌溉土層深度可以 20cm 計劃，春作灌溉期距為 3-6 天，一次灌水深 10-15 mm；夏作灌溉期距為 2-3 天，一次灌水深 10-15 mm；秋冬作灌溉期距 2-5 天，一次灌水深 10-15mm 期距之長短完全視風力是否能引起飛砂而定。

3. 根系伸長期或生長初期（全生長期 30-50% 階段）

作物植株在幼期育成健壯植株，進入此階段時，可令其稍受環境之考驗磨練，由於砂丘地下層土壤質鬆，根羣向下伸長並無阻礙，表層灌溉管理在砂地是項繁重之事，故促進根羣急速向下伸長，使大部分根羣早日脫離乾燥表土層之威脅。此項原則即灌溉管理之特色，故其灌溉土層之深度均大於實際根深，使下層土壤含有充分之水分，誘導根羣向下伸長。另外略延長灌溉期距，使表土較為乾燥，此時表土乾燥對作物之為害影響較小，由此可抑制根羣向上分佈。同時乾燥表土層之形成，有阻止下層土壤水分繼續藉毛細管作用上升蒸發損失之功效。此階段之灌溉起點以

40% 有效水分左右即可，灌溉土層深度 30-40 cm，視作物實際深度而定。一次灌水深 15-25mm。春作之灌溉期距 5-7 天，夏作 5-6 天，秋冬作 5-10 天。在此階段令作物造成暫時性凋萎並無大碍。此一新觀念，甚少人提及，初次推行也較難使人接受。

4. 生長盛期（全生長期之 50-80% 階段）

此階段作物之生長情形直接間接地均會影響產量，一般作物而言，此階段大多是正值所謂需水臨界期。在開花期噴灌需注意，避免造成因噴灌水而影響受粉情形。幾乎所有採收果實之作物，在開花受粉完成後，即急劇需水，其需水量高，土壤所應保持水分狀態亦需較高，使有充分之水分供應，促成果實發育，增加產量。此時作物植株全體均達到生長之尖峯，對水分及肥料之吸收，有充分及必要之條件，故在灌溉管理上也應適應此需要。此時根系伸長深度亦達到最大，土壤水分之吸收亦大部分屬標準吸水型態，故其灌溉原則可謂全層之濕潤灌溉，灌溉土層深度為 30-50 cm 一次灌水深為 20-30 mm，灌溉期距春作約 5-7 天，夏作為 5-7 天，秋冬作為 5-8 天。雜糧作物灌溉期距較長，蔬菜園藝作物灌溉期距較短。此階段之灌溉起點土壤水分，雜糧作物以 50% 有效水分以上，蔬菜園藝作物以 60% 有效水分以上為佳。

5. 成熟期（全生長期之 80-100% 階段）

在此生長階段之灌溉管理，隨作物種類不同而有甚大之差異，一般以莖葉為收穫對象之作物灌溉如葉菜等，仍以充分灌溉供應為原則，即保持高土壤土水狀態。使莖葉因水分之充裕而飽滿嫩綠，增加產量及品質。但以果實為收穫對象如西瓜、香瓜類等，其果實在肥大期仍應保持高土壤水分狀態，但當果實進入成熟階段時，則須減少水分供應，控制品質，增加其糖度。一般作物在果實進入成熟階段時，其根系及莖葉等器官對水分之吸收能力也降低，故作物耗水量亦較生長盛期為小，故灌溉期距均較生長盛期為長些，而其一次灌水深則如同生長盛期。至於以果莢為收穫對象如花生，則在果莢豐實前大量水分，待子實充滿後，則行節水灌溉，促使大部分養分集中於子實發育。以塊根採收之蘿蔔，其對水分之需要仍高，至收穫為止。至於同以採收塊根之甘藷類，其對水分之要求則較低。由上舉各例，發現此階段之灌溉管理甚為重要，收穫物之品質控制均由此階段之管理所影響，故應視作物之特性分別考慮，方能達到理想。

以崎頂噴灌區各主要作物之灌溉情形，舉出其各

表 5 主要栽培作物灌溉期距及一次灌水量

| 作物別 | 期作別 | 初 期 | | 盛 期 | | 後 期 | |
|-------|-----|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| | | 期 距(天) | 灌水量(mm) | 期 距(天) | 灌水量(mm) | 期 距(天) | 灌水量(mm) |
| 西 瓜 | 春 作 | 5-7 | 20-25 | 5-6 | 25-30 | 6-8 | 25-30 |
| 西 瓜 | 夏 作 | 5-7 | 20-25 | 6-7 | 25-30 | 7-9 | 25-30 |
| 花 生 | 春 作 | 5-7 | 20-25 | 6-8 | 25-30 | 7-10 | 25-30 |
| 花 生 | 秋 作 | 5-7 | 20-25 | 7-8 | 25-30 | 8-10 | 25-30 |
| 香 瓜 | 春 作 | 5-6 | 15-20 | 4-6 | 20-30 | 6-8 | 20-30 |
| 蘿 蔔 | 夏 作 | 1-2 | 8-15 | 2-3 | 15-20 | 3-5 | 20-25 |
| 蘿 蔔 | 冬 作 | 1-2 | 8-15 | 3-5 | 15-20 | 4-8 | 20-25 |
| 甘 藍 | 春 作 | 1-2 | 8-15 | 2-3 | 15-20 | 3-5 | 20-25 |
| 甘 藍 | 秋 作 | 1-2 | 8-15 | 2-3 | 15-20 | 3-5 | 20-25 |
| 胡 蘿 蔔 | 秋 作 | 1-3 | 8-15 | 3-7 | 15-20 | 4-8 | 20-25 |
| 甘 藷 | 秋 作 | 5-7 | 15-20 | 7-10 | 20-25 | 7-10 | 25-30 |

主要生長階段之一次灌水量及灌溉期距範圍如表 5，以供參考。

玖、崎頂海岸砂丘地噴灌示範區

灌溉利用成果實例介紹

一、耕地概況

崎頂海岸砂丘地噴灌示範區位於苗栗縣大埔水庫大埔圳下游支線灌溉區域內，標高 32 至 65 公尺，地形起伏不平，屬中港系土壤，為風積土，全區由東北向西南傾斜，面積計 35.35 公頃。原屬保安林地，近年來由於附近農民開墾佔耕，防風林很少，大部份地區裸露成起伏之砂丘，由於秋冬季節受東北季節風侵蝕，地面又缺少保護，風蝕砂坑到處可見。土壤均屬無粘性粗砂，保水力低，透水性甚大。

在噴灌設施前，種植作物僅有西瓜、花生、甘藷三種，且大多集中於春作，其他季節甚少。因無灌溉，經常發生旱害，故農作物生產全無保障。平均複作指數為 1.15，農民所採之耕作方式亦頗為粗放，收入甚低。

在傳統以依靠自然環境的農業經營觀念，砂丘地被視為貧瘠的不毛地，一遇乾旱，植物甚難生長，故以往砂地農業一向未被重視。由於現在科學之進步，人類之需求也增多，在現代農業經營之觀念，完全依賴自然力之農業經營方法已難以滿足人類之要求。利用人為力量及科學技術以改善自然環境使更適合作物生產之農業經營觀念已漸被採用，在此現代農業經營管理觀念下，砂丘地反成為良好之土壤，可適合於農

作物栽培。因砂地排水良好，通氣性佳，耕耘力低，土壤化學成分簡單，容易調節，甚容易利用灌溉及施肥措施，建立作物最適生長的理想土壤環境。有益於作物之增產及品質控制。故在現代農業中，砂地農業頗有發展潛力，日後在農業生產方面，將是主要生產區域，尤其是發展較高價值的園藝作物。

二、開發利用之經過

為探討海岸砂丘地旱作灌溉設施及灌溉方式，進而研究砂丘地灌溉效益等問題。水利局在農復會經費資助下，於民國 57 年起開始計劃本區 35.35 公頃之管路配水灌溉系統工程。其進行工作項目包括地籍測量，地形測量，土壤物理性調查，土壤生產力調查，地表灌溉方法試驗，農經調查，然後規劃設計施工，全部工程於民國 58 年 5 月完成。為本省首創之區域性砂丘地噴灌工程。同時，為配合灌溉管理及農場交通維持通暢，58 年間由竹南農田水利會辦理灌區之農地重劃及農路工程。58 年夏天起，由竹南農田水利會接管，成立噴灌示範區，開始運用噴洒灌溉系統。另外每年春季種植培育耕地木麻荳防風林，農民亦在自己田界每隔 10~20m 種植防風牧草或茅草。在噴灌設施營用之第一期作，灌溉效果甚為理想，有灌溉的砂丘地，在夏季秋季均能有收穫，且其收量出乎意料的竟比其他非砂丘地之平均產量要高，品質也甚佳，而同季之無灌溉砂丘地區，則遭受旱害影響，幾無產量。因此，於 59 年起，由農復會及國科會經費繼續補助，成立「海岸砂丘地灌溉利用研究計劃」，由水利局，竹南農田水利會，新竹區農業改良場合作執行，設立灌溉實驗室及實驗田，作物

栽培示範範圍，繼續從事砂丘地灌溉試驗，作物栽培示範指導，灌區農民組織輔導訓練與噴灌管理業務等。最初三年農民免負擔灌溉經費，全由計劃補助營運。於 61 年 7 月起，開始課賦水費。本砂丘地區之開發，由於深受農復會及國科會之重視，在經費上給予

相當大的補助。同時各有關執行機關在試驗研究，示範指導及組織管理等方面之努力，農民在三年多來的親自經營與管理體驗，目前已有相當高的收益，並且對於今後的灌溉經營深具信心與熱望。

茲將本區開發利用過程簡示如圖 4，以供參考。

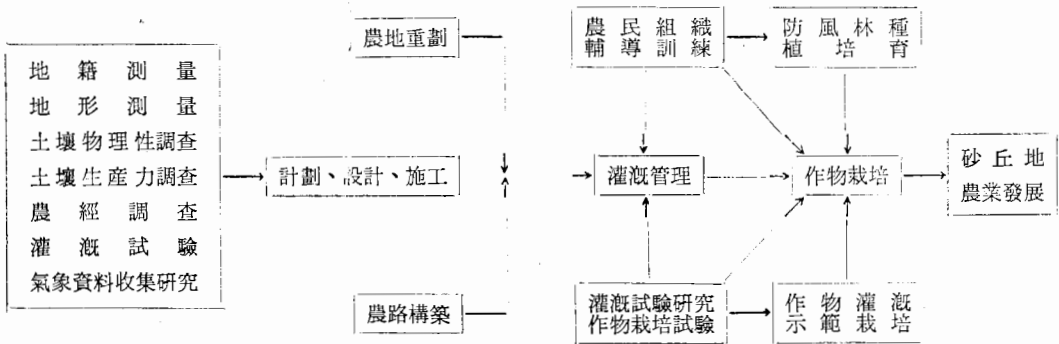


圖 4 崎頂砂丘地開發利用過程

三、噴洒灌溉工程內容摘要

1. 灌溉水源：由大埔水庫大埔圳大埔支線引水。

2. 灌溉面積：35.35 公頃。

3. 配水系統：如圖 5。

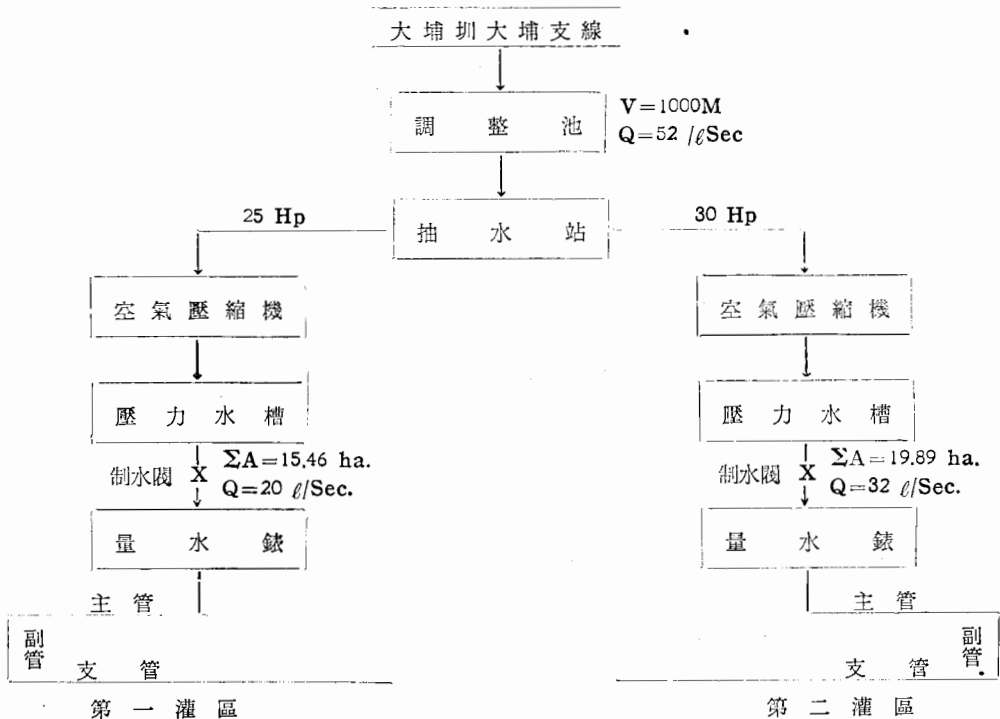


圖 5 崎頂砂丘噴灌配水系統

4.噴灌配置圖：如圖 6。

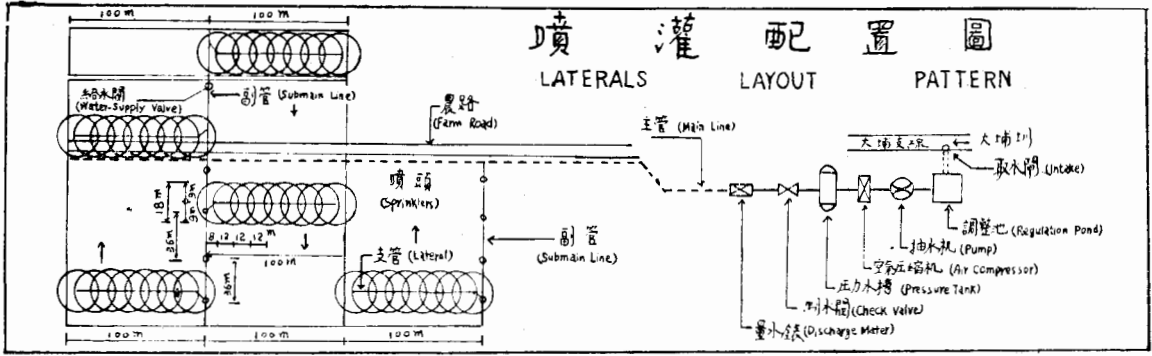


圖 6 崎頂砂丘地噴灌系統配置圖

5.主要設施

- (1)給水門：60cm×45cm 定水頭水門一座。
- (2)調整地：容量 1,000 m³，混凝土內面工邊坡 1:1.5，上長寬 31m×22m，底長寬 23.2m×14.5m 深 2.5m。
- (3)抽水房：建地 33 m²，水泥磚造，鋼筋混凝土頂蓋。
 - a. 抽水機及馬達：25 及 30 馬力之 Turbine Pump 各一部。附自動控制設施，分主一及主二兩灌溉系統。
 - b. 空氣壓縮機：½馬力二台。
 - c. 壓力水槽：容量 3 m³，直徑 1.25 m，長 2.55 m，二座。
主一之最高水壓為5.533kg/cm²，最低4.733 kg/cm²。
主二之最高水壓為4.537kg/cm²，最低3.737 kg/cm²。

(4)控制設施

- a. 量水錶：徑 6" 二組。
- b. 排氣閥：徑 6" 三座。
- c. 排氣閥：徑 2" 三座。
- d. 排水閥：徑 3" 三座。

(5)管路系統

- a. 主管：使用高壓混凝土管，徑 15cm，總長 1,123m。
- b. 副管：使用 P. V. C 管，徑 3"~5"，總長 2,508 m。
- c. 給水閥：徑 2"，71 座。
- d. 支管：移動式噴洒支管，徑 2"，每組 100 m，共 14 組。

6.灌溉器材：採用迴轉式噴頭噴洒灌溉。

- (1)灌溉器材數量：中農 30A—6 組。東洋 R 30—5 組。東洋 R40—3 組。
- (2)各類噴灌器材每組材料分析表

| 噴頭種類 | 噴頭數量 | 銅角凡而 | 製而 | 合織管 | 大小頭 2"×1½" | 鋁快接頭總成 | 塑膠管 φ2" | 提升管架 | 尾塞 φ2" |
|--------|------|------|-----|-----|------------|--------|-----------------|------|--------|
| 中農 30A | 8 只 | 1 只 | 1 只 | 12m | 1 只 | 15 組 | 6m×14支 | 8 組 | 1 只 |
| 東洋 R30 | 8 只 | 1 只 | 1 只 | 12m | 1 只 | 15 組 | 6m×14支 | 8 組 | 1 只 |
| 東洋 R40 | 6 只 | 1 只 | 1 只 | 12m | 1 只 | 16 組 | 6m×10支 4m×5支 | 6 組 | 1 只 |

(3)各類噴灌器材配置及噴洒強度。

| 噴頭種類 | 噴頭間距 (m) | 移動距離 (m) | 噴洒強度 (mm/hr.) | 每次施灌面積 (m ²) | 噴嘴尺寸 |
|--------|----------|----------|---------------|--------------------------|-------------|
| 中農 30A | 12 | 18 | 8.41 | 1800 | 3/8"×1/8" |
| 東洋 R30 | 12 | 18 | 8.20 | 1800 | 2.4mm×4.8mm |
| 東洋 R40 | 16 | 18 | 14.83 | 1800 | 4.8mm×6.4mm |

四、農地重劃與農路構築

農地重劃之前曾舉開多次協調會議，宣導重劃原則，並選出委員，共同策動該工程之進行，其所根據之主要原則如下：

1. 農路用地及試驗區用地由灌區農民共同負擔，根據實際核算結果，每一農民均依其耕作面積提依12%作為公共用地。

2. 重劃時依已完成之工程設施及器材排列等原則決定坵塊長度為100m。

3. 為考慮噴灌水量之均勻分佈，田坵之長度方向應與主要風向（東北風）垂直。

4. 重劃後之耕地以在原地附近為原則，惟耕作面積小於0.05公頃時，因田坵寬度太小，應合併於其他農地分配。

5. 為便於卡車之通行，農路寬度定為3公尺，同時兩邊各留15公尺寬作為防風林用地。

依據上述原則，該灌區之耕地均順利重劃完畢，並完成土石料農路6條，計總長3.5公里。此外，為便利車輛之行駛，自灌區入口至抽水站之農幹路長630公尺，曾於59年間加以拓寬，使成為5公尺寬之農幹道。

五、防風林之種植與培育

為保障作物之正常生長，自工程完工後，由竹南農田水利會向苗栗縣政府申請樹苗，分發農民種植，三年間共種樹苗36,000株，全部種植於農路兩側及田埂，排列成防風林帶，惜因苗木太小及收穫時遭受運輸車輛損害，成活率僅為50%，目前成活者已高達1公尺以上。今後應繼續補植加強管理，方能發揮全灌區之防風效果。另外，農民於田間界線均普遍種植防風茅草及牧草帶，高度在1.5公尺左右，也頗有防風定砂之效。

六、農民組織與輔導

示範灌區原為保安林地，由於工程之完成，原有少數防風林因農地重劃及設施管路被廢除，以致作物栽培常遭風害及砂害之影響，而無法獲至滿意之結果。全區域整體性之防風設計，防蝕及防砂工程較每一農戶單獨之措施為經濟且有效，同時灌溉管理制度之建立與推行，排水系統及農路系統之建立與維護等許多共同性問題均有賴農民組織之運用以竟其功。為積極促進本地區之開發利用及加強灌溉管理，乃由竹南農田水利會協辦灌區之農民組織與灌溉管理工作，期能經由訓練、示範與輔導，逐步達成全灌區之共同經營。為配合灌區之灌溉管理，依噴灌系統之配

置狀況，每3~5公頃組成一班，並選出班長協助管理人員宣導與執行有關事項，全灌區35.35公頃計有會員138名，共組成10班，共同辦理下列各項工作：

1. 舉開班長會議及班員會議

配合作物種植時期，每季作物種植前一個月由班長召集班員會議，檢討上期作灌溉管理與作物栽培等共同問題，並協調下期作預定種植作物種類、面積及種植日期。由水利會召集班長會議，作進一步之討論，以便編製輪灌配水計劃交付執行。

2. 舉開農民大會及講習會

每年於農閒季節召開農民大會或講習會，宣導灌溉管理有關規定，講解灌溉器材之管理維護，訓練農民熟悉灌溉器材之操作，加強適當用水之經濟觀念。

3. 舉開作物灌溉及栽培示範觀摩會

配合試驗與示範工作之進行，於適當時機展示作物噴灌栽培示範成果，供農民觀摩仿效，誘使農民積極努力改善自己的經營方式。

七、噴洒灌溉管理

1. 噴洒灌溉管理暫行辦法

(1) 配水申請

各期作物種植前10天由班長召開班會議，將班內協調妥之各田區預定種植作物種類、面積及灌溉期距等資料，向站申請配水。

(2) 輪灌表編製

依據班長申請，由站核示，視各作物需水情形等分別編製各坵塊輪灌之時間表。

(3) 灌溉實施

a. 根據輪灌時間表，農民自行移交灌溉，由班長督導，管理員指導下施行。輪灌時間表如有異議，得由班長向站提出申請，由站視實際情形作適當調整。

b. 不灌溉時，事先應向站申報。

c. 因故需與他人調換灌溉時間時，事先須向站申請，准許後執行。

d. 因故停灌（如停電或機械故障等因），在恢復灌溉時，其灌溉順序，仍照輪灌表實施灌溉。停灌者得向站申請安排補充灌溉，但不影響下一輪序為限。

e. 因故或尖峯期用水需延長日灌溉時間時，由班長向站申請，由站視供水情形核可。

f. 因特殊情形須灌溉（非輪序者）時，由班長向站申請，准許後方可實施。

g. 因特殊情形須用非規定噴灌器材或方法時，須由站准許後實施。

h. 雖照輪灌順序而不用規定器材灌溉，使用私管或其他方法灌溉（未得站或管理人員准許）時，立即停止灌溉，所影響損失，並由其負責。

2. 制定水利小組公約

水利小組公約經召開農民大會研討後簽訂，此公約乃是本灌區作為灌溉管理之輔助力量。茲將本公約列之於后：

(1) 耕地耕作權，耕作者如有變更時，自動向水利會申請變更。

(2) 如期完納會，決不拖延。

(3) 愛惜公物，負責養護器材。

(4) 遵守配水灌溉順序，接受有關人員指導。

(5) 節約用水，決不盜水，不任意使用規定外器材灌溉。

(6) 灌溉器材交接須自行點接，如有損失，應於三天內購補。

(7) 響應義務勞動，提供勞力、工具等。

(8) 維護自己田區，邊緣農路及防風林。

以上公約各項規定，必須切實履行，如有違反時，願接受水利會有關法令處罰外並願接受停止供水處分，如導致損失願負賠償責任。

3. 灌溉管理操作

灌溉之操作，每日早晚由管理員操作抽水機之啟動與關閉，平時用水期，每日操作時間為 10 小時，平均每日移動支管 3~4 次，支管之移動操作由農民自行負責，採輪流灌溉方式。尖峯用水期，則延長日操作時間至 16 小時。由於抽水系統及管路系統之容量受最大容量之限制，故如需補充灌溉時，均以延長抽水操作時間而彌補。如噴灌用水量少於抽水量時，則由抽水系統之自動控制設備自行調節灌溉。

四年來農民對於噴灌器材之操作使用已相當熟練，但對器材之維護管理則頗為費力。支管之移動是噴灌實施費工之舉，為輪灌上最大之缺點，一組噴灌支管之移動，通常二人搬移，須費時 15-20 分鐘，而砂地之灌溉頻度大，搬移次數多，目前之灌溉是由農民按灌溉次序表搬移，大部份農民住所遠離耕地，為了搬移一次支管，則須花費甚多時間於來往，甚為不便。更因農民無守時習慣，交接時易造成糾紛，此為灌溉管理上一大限制條件，對此已訂之輪流灌溉系統設計，設能實施共同掌水工制度，專司灌溉管理及操作，既可節省搬管工資，又易執行輪灌管理，對於

噴灌器材之壽命更能延長。站在灌溉管理及經濟觀念立場，此種制度在輪灌系統設計中誠屬必要。

8. 噴灌後各季主要栽培作物

在噴灌設施前，僅有西瓜、花生、甘藷等三種作物，惟有了灌溉保障後，已能種植各種作物，目前已有良好生產之主要作物如表 6。

表 6 崎頂砂丘地噴灌實施後各季主要作物

| 春 | 夏 | 秋 | 冬 |
|---|-----------------|----------------------------------|---------------------------|
| 西瓜、花生、香瓜、南瓜、越瓜、冬瓜、甘藍、蕃茄、敏豆、菜豆、菸草、玉米、甘藷。 | 西瓜、香瓜、蘿蔔、小白菜、葱。 | 花生、甘藷、甘藍、蕃茄、胡蘿蔔、蘿蔔、牛蒡、蠶豆、玉米、馬鈴薯。 | 甘藷、蘿蔔、甘藍、花椰菜、青花菜、胡蘿蔔、葱、蒜。 |

9. 投資經費

全部 35.35 公頃灌溉砂丘地區計劃之噴灌灌溉工程投資為 140 萬元。由於本計劃係屬示範試驗性質，故全部噴灌工程經費均由農復會全額補助設施。另外為了便利運輸，也花費三十萬元用於構築農路，此項費用農復會補助二分之一，其餘二分之一由農民貸款負擔。為考慮農民之經濟能力，在開始的前三年，沒有收取水利費用，使用三年以後，全部的水利費用依水利會規定徵收，由農民負擔。

以崎頂 35.35 公頃噴灌區使用四年之情形，分析統計每年每公頃之噴灌成本如表 7，與一般灌溉區之灌溉經費比較，尚屬高成本者。

表 7 崎頂砂丘地噴灌區灌溉成本分析 (元/公頃年)

| 項 | 目 | 成 本 | |
|---------|----------|--------|-------|
| | | 小 計 | 總 計 |
| 固 定 成 本 | 大埔圳工程受益費 | 1,166 | 6,358 |
| | 普通會費 | 972 | |
| | 噴灌系統年工程費 | 4,079 | |
| | 災害工程修護費 | 141 | |
| 操作維護費 | 操作電力費 | 1,013 | 2,343 |
| | 系統設備維護費 | 481 | |
| | 抽水站管理費 | 849 | |
| 支管移動工資 | | 1,624 | 1,624 |
| 總 計 | | 10,325 | |

使用第四年起，水利會開始向農民賦課水利會費。六十二年度（61年7月~62年6月）之賦課率為每年每公頃3,188元，其中包括普通會費889元，抽水機維持管理費1,932元，圳路用地補償費200元，大埔圳災害修護費167元；由於大埔圳工程受益費決算未確定，未開始賦課，六十三年度（62年7月~63年6月）之賦課率為每年每公頃4,184元，其中包括普通會費972元，抽水機維護管理費1,932元，災害工程修護費114元，大埔圳工程受益費1,166元。大埔圳工程受益費為水稻灌區之三分之一，同水稻區須連續徵收十二年。

從灌溉成本分析與灌區水利會費負擔情形比較，即農民對於水費之負擔似嫌過重，即僅噴灌系統工程費由農復會補助未負擔外，其餘各項經費均由農民自行負擔。

由於此類邊際土地之開發利用，非僅利用土地之利益，尚具有各種政策性及社會經濟性作用。故受益者非僅直接之農民，尚有相鄰地位之抑止災害作用。又邊際土地之開發利用，其成本必然較高，故政府不

論是就政策性或經濟性立場而言，應增加補助開發經費，使農民不致負擔過重。

10.開發後之灌溉效益

由於砂丘地之保水力低，對灌溉之需要有不可或缺性，故開發後之灌溉效用有顯著的利益。雖然灌溉成本甚高，但發現因灌溉而增加之收益更高。以灌溉設施前後農業經營情形作一對照比較，就可明顯地看出砂丘地之灌溉功效。

根據計劃設施前之農業經營概況調查，土地利用方面複作指數僅為1.15。作物種類僅花生、西瓜、甘藷等三種耐旱性作物。當時作物因缺乏灌溉保障，作物栽培困難，產量及品質均差。農家勞力尚未充分利用，農場工作天僅189天，農場收支如家工工資不列入收益，每年扣除生產支出虧損約7,000元。如家工工資列入收益，則每年僅可得481元盈餘。生產作物之單位面積甚低，花生為1,161 kg/ha，西瓜為5,181 kg/ha，甘藷為6,991 kg/ha，僅西瓜有淨效益。

根據計劃設施後之農業經營概況調查，土地利用

表 8 崎頂砂丘地噴灌區 (35.35 公頃) 灌溉效益比較

| 項 目 | | 噴 灌 實 施 前 | 噴 灌 實 施 後 |
|-------------------------|--------|-----------|------------------------|
| 複 作 指 數 | | 1.15 | 2.50 |
| 栽 培 作 物 | | 西瓜、花生、甘藷 | 除西瓜、花生、甘藷外尚種香瓜、蘿蔔及各式蔬菜 |
| 主要作物單位面積產量 (kg/ha) | 西 瓜 | 5,181 | 20,020 |
| | 花 生 | 1,161 | 3,500 |
| | 甘 藷 | 6,991 | 33,000 |
| | 香 瓜 | | 12,200 |
| | 蘿 蔔(夏) | | 28,000 |
| | 蘿 蔔(冬) | | 140,000 |
| | 甘 藍 | | 15,550 |
| 每 公 頃 農 場 年 產 值 (元) | | 10,107 | 87,728 |
| 每 公 頃 農 場 年 栽 培 成 本 (元) | | 8,722 | 33,310 |
| 每 公 頃 年 灌 溉 效 益 (元) | | | 53,033 |
| 每 公 頃 年 灌 溉 成 本 (元) | | | 10,325 |
| 益 本 比 | | | 5.14 |
| 全 灌 區 噴 灌 設 施 費 (元) | | | 1,400,000 |
| 全 灌 區 年 灌 溉 成 本 (元) | | | 364,989 |
| 全 灌 溉 年 灌 溉 效 益 (元) | | | 1,874,717 |

之複作指數，59 年為 1.88，60 年為 2.00，61 年為 2.40，62 年為 2.50，增加約一倍。作物種類除原有作物外，已促發各季蔬菜，高價香瓜等園藝作物之生產。同時作物因得灌溉之保障，農民有信心增加投資管理，不但可獲穩定之高產量且品質亦較佳。作物產量之增產情形約在 3 倍以上。如有灌溉後之花生產量為 3 500kg/ha，西瓜為 20.020kg/ha，甘藷為 33 000 kg/ha。其他作物產量亦均不低於其他壤質旱作區。目前整個計劃灌區經常保持綠色，此灌溉計劃已促使原為荒瘠的砂丘變成生產力極佳之綠洲。

全區之灌溉效益比較列如表 8。全年每公頃之平均灌溉效益為 53,030 元，益本比達 5.14，堪稱為一成功之灌溉開發工程。由此例可顯示出，砂丘地之灌溉開發值得發展。此在開發利用邊際土地之呼聲中，確已提供一顯明之成功例證，值得政府及農民合作，繼續努力開發利用。

拾、結論與建議

一、結 論

1. 臺灣海岸砂丘地面積約有 20 000 多公頃，係屬風積砂性土，由東北海岸，北海岸，西北海岸，西海岸，西南海岸等沿海岸邊緣陸地成不連續性之分佈。由於土壤屬砂性土，位臨海岸區域，受風害及砂害之直接間接影響嚴重。加上砂土本身保水能力甚低，植物生長易受旱害，此限制條件即阻碍以往砂丘地之農業發展。以往所種植之作物僅有西瓜，花生、甘藷等作物，產量低且無保障。栽培方式甚為粗放，屬落後農業區，農民生活甚為貧苦，農村經濟凋零。設法改善沿海砂地農村經濟繁榮，目前列為地方施政要項之一。

2. 目前在人口急速增加壓力下，糧食等作物之增產努力為目前農業發展之主要目標。在此目標下之努力途徑有二：其一為增加單位面積收量，其二為擴大生產面積。本省在此二方面之發展已到相當程度，尤以後者，對擴大生產面積之努力則需朝向邊際土地之開發利用。在此情況下，臺灣海岸砂丘地之開發利用雖不能全盤解決現今之農業問題，但其所具有之生產力量，將有相當的貢獻，實有積極開發利用之意義。

3. 海岸砂丘地之開發利用首先需解決其所受之生產限制環境條件。在開發技術上，灌溉措施可列為第一要務，防風定砂措施也需緊接跟進。為達到增產及增加收益目標，對作物之適當選擇及栽培管理技術，尤須加強努力。上述三要項，缺一則難竟全功。

4. 在現代農業經營觀念中，砂地不再是不毛之地，而該列為良好土壤之一。因砂土有若干物理性，頗適合於大多數生物之生長，如排水良好，通氣性佳等，加上土壤本身易於進行灌溉及施肥調節，俾建立作物最佳生長環境條件，故發展潛力甚高。根據最近四年來，在崎頂砂丘地之試驗研究與灌溉利用開發實例，證實如有灌溉設施保障，配合防風定砂措施，砂丘地可種植各種旱地作物，尤其對若干較為高價之特殊作物，如西瓜，香瓜、菸草、蘿蔔等作物，在品質及產量方面均有出乎意料之成果。在灌溉利用開發實例中，發現所需投資之灌溉、防風、農路等公共設施成本雖高，每公頃達五萬元，但所獲得的增產效益却更高。以灌溉經濟效益分析，其益本比高達 5.14。

5. 由於砂丘地農村經濟一向非常貧困，對開發之始所需公共投資，在資金上幾無能力負擔，故難以迅速發展。但開發後的可能成效，對整個農村經濟繁榮及國家社會所需的糧食增產均有無比的貢獻。故如何加速促成砂丘地之積極開發，則有賴政府投資資助。

6. 對砂丘地之開發利用計劃，以全區域整體性為單位，綜合規劃投資，較個別農地自行實施更經濟有效。尤其在灌溉設施，防風林種植，農路系統等公共投資，均需以全區整體計劃為宜。故在農民組織方面應加強輔導運用。

7. 目前灌溉技術的發展，在砂丘地以採用管路輸水為最理想。致於灌溉輸水方式則以噴灑灌溉較為適宜，其他可能發展之更經濟，更適用的灌溉方法，則尚待努力研究。

8. 噴灑灌溉設施成本及操作維持經費均甚高，加上砂地滲透性大，故對水之營運則需加強考慮經濟用水觀念。故針對適當灌溉管理所需之資料與技術，今後宜加強試驗研究，以期達到經濟有效用水之依據。

二、建 議

以最近三年來在崎頂砂丘地及大潭砂丘地灌溉利用開發實例所獲得的經驗，對於促成海岸砂丘地之積極開發利用，提出下列建議謹供參考研究：

1. 協助建立完整之開發利用計劃

(1) 政府應就全省性各砂丘地目前利用現況及開發可行性條件加以調查研究，編訂開發優先次序。如不適於農業經濟開發之地，可編列為工業用地。

(2) 政府宜制訂開發利用輔助辦法，提示政府對開發投資之輔助原則，有關公共投資之經費，建議由政府全額補助，至少也需 50% 以上之補助。

(3) 地區開發計劃首先宜由地方農民主動參酌上

述補助辦法，透過地方行政機關提出申請。並准由私人籌組公司投資開發，以農場方式經營。承領或承租面積宜放大。

(4)政府受理申請開發計劃案後，宜就全區之灌溉設施，防風林、農路、耕地權、農地重劃等有關問題做全盤性的規劃設計，召請有關機關協調進行，並徵詢農藝、園藝、農業工程、土壤肥料、畜牧、植病等專家意見。

2. 加強示範指導

(1)有灌溉保障之砂丘地，其灌溉效益高出灌溉成本數倍，此項事實非農民親自看見，僅由宣傳，難被接受。建議於全省各主要砂丘地區設立小面積（10公頃以內）之噴灌示範。經費由政府負擔。以實例促發農民之興趣與信心。

(2)在示範栽培中，指導農民有關應用灌溉及栽培管理有關技術。由於砂地之噴灌技術及砂地作物栽培技術等對當地農民均極為新鮮陌生，故須加強指導使培養經驗。

3. 解決有關問題

(1)解決耕地所有權問題。目前之砂丘地大多為尚未開放之保安林地，農民濫墾佔耕，政府既無能力管制，則應設法促成有效地管理控制，放領放租均是解決途徑，使農民無顧忌地投資改善。或由政府收回，集體規劃設計後再處理，宜早日解決。

(2)對於開發後之農業經營輔導。由於砂地農民對新農業設施與技術尚未熟悉，則難以發揮功效。農業機關宜加強積極之技術指導，對於防風林，交通系統之培育維護亦應有系統之輔導。對於因增產所面臨的產銷問題，尤應設法協助，以保障農民之效益。

4. 加強噴灑灌溉管理技術訓練

(1)加強砂丘地灌溉有關資料建立，使灌溉工程規劃設計，更臻理想。

(2)加強水利會管理人員對噴灑灌溉系統維護運用技術訓練，使能充分發揮灌溉設施功效，排除克服機械故障等問題。

(3)加強砂丘地噴灑灌溉需水量等資料之建立，使灌溉管理能針經濟用水觀念而有所依據。

(4)管理人員對原工程計劃目標及原則須充分認識，使能按原訂計劃實施，而使計劃與實際趨一貫性。

5. 加強砂地作物試驗

(1)由農業機關加強砂地適應作物試驗，俾能提供更多可種植於砂地之作物種類。

(2)加強砂地作物栽培管理技術試驗研究，尤其是肥料用量與用法，病蟲害防治等問題，使有更正確適用的技術資料，提供作為推廣之依據。

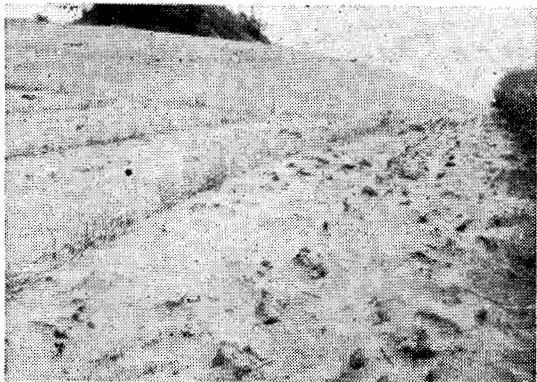
拾壹、謝 誌

筆者四年來專心研究本問題，承蒙農復會鄧組長先仁、溫工程師理仁，水利局前局長楊學涑、魏組長亞藩及農工系張教授建勛、施教授嘉昌、徐教授玉標、易教授任、曹教授以松等之指導鼓勵甚多。本文有關之灌溉試驗，係由崎頂砂丘地灌溉實驗站全體同仁共同努力完成。文中之建議，臺灣大學農工系系主任嘉昌亦提供許多寶貴意見。筆者謹此向各位致衷心的感謝。

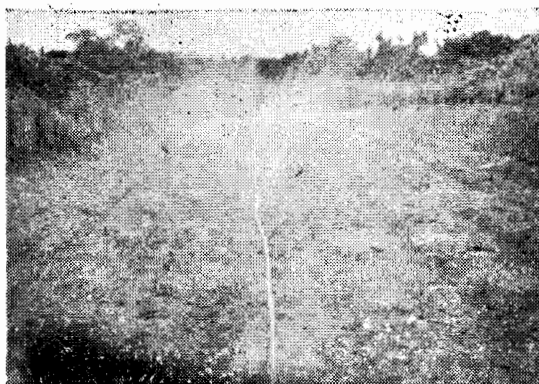
拾貳、參 考 文 獻

1. 海岸砂丘地開發利用之研究途徑 蔡明華 中國農業工程學報第 17 卷 2 期 60 年 6 月
2. 水土保持學 周恆
3. 農業要覽第二輯土壤肥料 臺灣省政府農林廳 54 年 8 月
4. 臺灣省之土壤 梁鉅榮等 臺灣省農業試驗所
5. 土壤物理 陳振鐸譯
6. 灌溉原理與實施 唐山譯 60 年 8 月
7. 崎頂海岸砂丘地土壤物理性及化學性測定研究 蔡明華 61 年 4 月
8. 崎頂海岸砂丘地示範區管路配水灌溉系統工程報告 臺灣省水利局第十工程處 60 年 3 月
9. 海岸砂丘地灌溉利用研究計劃工作成果報告 臺灣省水利局 59 年~61 年
10. 砂丘研究 日本砂丘研究會 1955~1972 年
11. 噴灑灌溉講義 猿渡良一 農復會 55 年 6 月
12. 砂地農作物經營改善之研究 陳培昌 省政研究發展叢書農林類第二種 60 年 8 月
13. PE 滴水灌溉系統及其應用 溫理仁·PE 塑膠農業應用研討專輯 1972 年 12 月
14. 滴水灌溉法 蔡明華 鄧東茂譯 農業工程學報第 18 卷 1 期 1972 年 3 月
15. 滴水灌溉之一般特性及其應用 蔡明華 臺灣水利 第 21 卷第 3 期 1973 年 9 月

拾叁、附錄——照片集錦



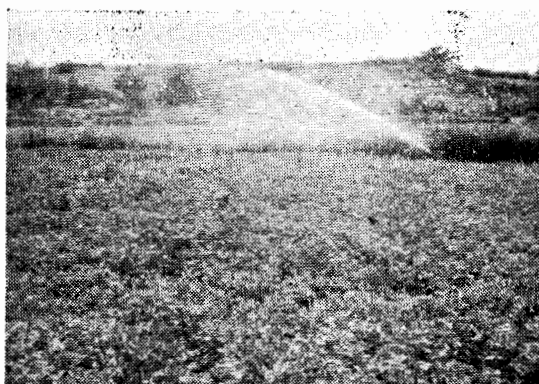
照片 1：未開發利用之砂丘地，大部屬不毛之地。



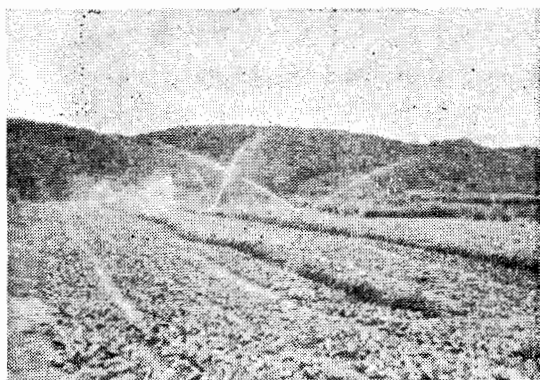
照片 4：穿孔管噴灌，亦為適合砂地之灌溉方式。



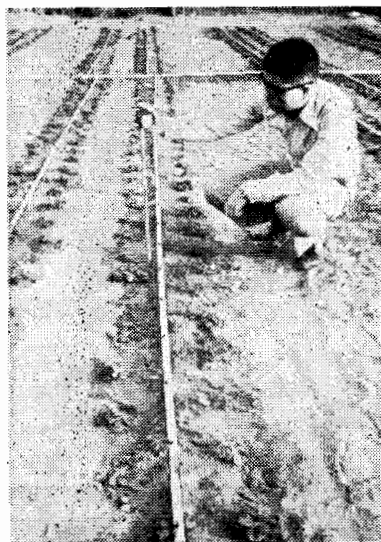
照片 2：局部被利用之砂丘地，農民採用人工挑水澆灌。



照片 5：噴槍之噴灌，可適應任何作物及地形。



照片 3：噴洒灌溉，為砂丘地主要灌溉方法之一。



照片 6：滴水灌溉為最近發展的新方法。

——文轉第 5 頁——