

日本養液栽培現況

Current Research and Developments of Nutriculture in Japan

台大農工系農村建築研究室

農工系副教授

研究助理

王 鼎 盛

黃 裕 益

Tin-Sen Wang

Yuh-Yih Hwang

摘 要

日本於1961年開發第一個養液栽培系統。發展至今，已有10個以上的試驗單位陸續發表出不同的養液栽培系統，有些曾推廣至農家，目前仍被繼續使用中。同時，也有20多家的工業製造廠商參與，設計出自己的養液栽培型式並推出市場販賣。

雖然在日本養液栽培已發展至一相當高的水準，其中仍然有許多問題極待解決，而以設施費用的投資過鉅及病害的控制兩大問題的克服為最主要課題。最近，結合非循環給排水系統及岩綿栽培之養液栽培技術已成新的研究方向，更由於多家企業廠商的積極參與，植物工場的運用將急速的展開。

Abstract

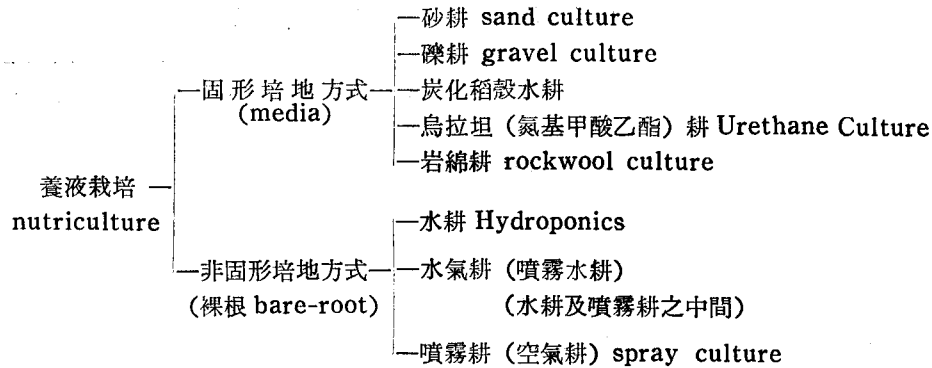
In 1961, the first hydroponics system developed by Japan was announced, and since 1964 more than ten experimental stations have conducted their own research on several kinds of hydroponic systems. Some of them were introduced in regional farms and are still being used. At the same time, more than 20 commercial companies have designed their own types and placed them on the market.

Although hydroponic culture in Japan is well established technically, there are several problems to be solved. High construction cost and disease control are two major factors to be overcome, and a non-circulating system associated with rockwool culture could be a new wave of hydroponics. And it can be expected that the technique of Factory-Style Production will improve steadily in recent year because many famous enterprises engage research now.

一、前 言

養液栽培（水耕）（註1）為一種不用土壤，而直接以培養液來供給作物養分的栽培方法。目前，和生物科技同被世界各國視為農業之先端科學。而自1864年德國 Krop 和 Snacks 首先嘗試以培養液

栽培作物後，到1961年日本才發表出第一個養液栽培系統，發展至今，日本已為目前世界上養液栽培面積最多的國家之一。日本國內目前所使用的養液栽培型式極多，以作物根部有支撐物者為固形培地耕及無支撐物者為非固形培地耕，按培地之種類，約可分類如下：



二、發展歷史概況

1946年，以蔬菜生產為目的之養液栽培首度被應用於日本。當時正值二次世界大戰後，美軍進駐日本不久，日本正處於極端糧食飢荒狀態。蔬菜之補給供應困難，且價格昂貴外，美軍也不慣於食用日本農民以水肥生產之蔬菜。在此背景下，美軍分別在東京都調布市及滋賀縣大津市建造大規模的水耕農場，來生產清淨蔬菜。前者約22ha（其中2ha為溫室內栽培），後者為10ha。栽培方式為礫耕，栽培床分為三種高度，養液之供給利用落差自然流動溶氣，再以貯液槽回收之循環方式。栽培的蔬菜種類，夏作有蕃茄（占約一半面積）、小黃瓜、萵苣、甘日蘿蔔、甜椒、春洋蔥等，冬作有菠菜、甘藍、蔥、水田芥、芥菜、蒼蓬菜等。農場生產之蔬菜，供應當時駐日美軍及其眷屬之需要，在1950年韓戰期間，也成了聯合國派遣軍之蔬菜供應基地。其後隨著美軍之撤退而封閉。

美軍農場，對爾後日本養液栽培的發展產生極大之影響。當時在農場工作之日本技術人員，曾著書對此農場的模樣詳細介紹。最初日本人經營之水耕農場，日本高地（JAPAN HEIGHTS）農園（1957年）及日本 Hydroponics 研究會研究農場（1959年）均依美軍農場之模式建造。

1961年，農林省園藝試驗場與津分場之山崎肯哉和堀裕發表日本第一個自己發展之水耕系統，栽培方式為礫耕，栽培床寬80公分，深12~15公分，床底鋪設塑膠布，上置礫石，養液於栽培床與貯液槽之間間歇循環使用。此礫耕系統，當時推廣至農家，3~4年間栽培面積達到22ha，同時發現有

下列之缺點產生：

(1)易受礫石性質左右，養分被礫石吸收，礫石取得不易。

(2)每作後，殘根的清洗及礫石的消毒相當耗費勞力。

(3)鹽類易積集。

致未能普及應用而結束。此系統引導日本養液栽培走入開創的階段，在1964年起約10年的時間，開發機構大致為園藝試驗單位，其栽培方式發表經過如表1所列。由於低廉栽培設備材料的不易獲得，這階段一直處於低迷之狀態。直至70年代初期，大量的專門製造商投入，以塑膠成形，開發了規格化的水耕裝置，材料，開啓了養液栽培的第二波，栽培面積急速增加。表二為1961年~1983年日本養液栽培設置面積之變化狀況。其中由於受到二次的石油危機影響，未能蓬勃發展，在1983年總面積為293ha，尚未達設施園藝之1%。直到最近NFT（Nutrient Film Technic.）及岩綿等新技術的導入，養液栽培重新受到注目，開始邁入第三波一植物工場（Factory style production）的時代。

三、養液栽培現況

依日本農水省野菜振興課之統計，至1983年，全國養液栽培面積如表2所列為293ha。其分佈各地域之情況如表3。從其配置狀況來看，約都位於太平洋側冬季日照較多的施設園藝地帶，且靠近京濱、中京、京阪神、北九州等大消費地。所栽培蔬菜之種類，果菜類占全體之60%，其中以蕃茄（約45%）為最多，其次為小黃瓜（約12%），葉菜類中以山芹菜約（25%）為最多，其次為蔥（約7%）。

註1. 養液栽培所用的液體為營養液且因無土不需耕耘，故日文將此法稱為水耕在詞意上不太恰當。依著者之意應該用「養液栽培」或「液栽」。

表一、日本養液栽培方式及發表年次 (板木利隆)

開發單位 (人)	方 式 、 名 稱	發 表 年 次
農林省園試與津分場	礫耕 (併列交換給液)	西元 1961
農林省園試久留米分場	循環式水耕	1964
神奈川園試三浦分場	噴霧耕・噴霧水耕	1964
鹿兒島農試	噴霧水耕	1965
神奈川園試	礫・水耕折衷方式	1966
高知大農學部(角田)	噴霧耕	1966
千葉農試	炭化稻殼鉢水耕	1967
佐賀農試	炭化稻殼網鉢水耕	1967
九州電力佐賀農電試	礫網鉢水耕	1968
久保田鐵工 (株)	久保田 plant	1968
協和 (株)	水氣耕 Hyponica **	1969
(株) M式水耕研究所	M式水耕	1969
愛媛大學農學部	津野式炭化稻殼耕	1970
(株) 四國製作所	炭化稻殼耕	1970
東耀工業(株), 中外貿易(株)	RANPLA V型炭化稻殼耕	1971
住友電氣工業 (株)	Sandponics (砂耕) **	1971
大阪農技中心	段流型水耕	1972
東京教育大學	教育大立體式水耕	1972
神奈川園試	神園式水耕 **	1973
竹原產業開發 (株)	小流式水耕	1973
積水化學 (株)	積水段流型水耕	1974
京都農研山城分場	京都改良型水耕 **	1976
(株) 山水	山水水耕 plant **	1978
新和塑膠 (株)	等量交換式水耕 **	1979
山崎肯哉	浮根水耕	1979
住友 cement (株)	SUMISE 式礫耕 **	1980
御門育種農場 (株)	御門 NFT 水耕 **	1982
(株) M式水耕研究所	MFT 「SAKA」 **	1982
筑波大學 (澁谷)	rockfiber 栽培 **	1983
CI 化成 (株)	SS 水耕 plant (NFT) **	1983
(株) 日本水耕研究所	MS 式水耕 plant **	1984
(株) 誠和	岩綿栽培系統 **	1985
新日鐵化學 (株) } 協和種苗 (株) }	S-plan 系統	1985
金子種苗 (株)	金子EK式 hydroponics **	1985
三井東壓肥料 (株)	三井 bioplant **	1986
太洋興業 (株)	AIR-RICH 灌液方式 **	1986
渡邊鋼管 (株)	PLOBAR 式養液栽培 plant **	1986

(註) **現有出售販賣者

目前所使用的養液栽培型式，尙未有詳細的統計數目，以園藝試驗單位所發展的型式，目前仍有被使用，較典型的例子爲1973年神奈川園試所之礫耕及1967年千葉農試所用於養液育苗之炭化稻殼耕。而廣泛爲農家使用者，大部分爲製造廠商所發展

之型式，而依一民間之經濟研究所調查，其中以協和式（約40%）、M式（約24%），新和式（約13%）三者掌握了大部分市場。表四爲目前在市場上販賣的主要型式之特徵。底下謹選擇較重要的型式及使用情况予以介紹。

表二、日本養液栽培設施設置面積之變遷

(單位：ha)

		1965	1967	1969	1971	1973	1975	1977	1979	1981	1983
玻璃溫室	蔬菜	...	...	...	8	19	30	54	51	68	75
	花卉	...	...	...	0	1	4	6	10	7	9
	果樹	...	...	...	—	—	0	—	—	—	—
	計	4	6	7	8	19	34	60	61	75	85
塑膠布溫室	蔬菜	...	...	...	23	39	69	85	198	200	196
	花卉	...	...	...	0	1	1	5	4	6	12
	果樹	...	...	...	0	0	—	0	—	—	—
	計	11	16	23	23	40	71	91	202	207	208
計	蔬菜	...	...	...	30	57	99	139	249	269	271
	花卉	...	...	...	0	2	5	12	13	13	22
	果樹	...	...	...	0	0	0	0	—	—	—
	計	15	22	30	31	59	104	151	262	282	293

(註) 1) 依日本野菜振興課資料

2) 因四捨五入，各項之和與計項有不相符之情形

3) 「...」爲未調查，「—」爲該項面積爲零，「0」爲未滿1 ha 單位

表三、1983年縣別養液栽在之設置面積 (1,000m²)

	玻璃溫室	塑膠布溫室	計		
北海道	4	22	26		
東北	6	25	31	1	大分 361
關東	246	481	727	2	靜岡 350
北陸	12	22	34	3	愛知 270
東海	162	209	371	4	佐賀 264
近畿	250	347	597	5	兵庫 262
中、四國	59	180	239	6	福岡 177
九州	108	797	905	7	千葉 133
合計	847	2,083	2,930	8	三重 85
蔬菜	753	1,959	2,712	9	神奈川 83
花卉	94	124	218	10	和歌山 68

表四、主要市販裝置之特徵

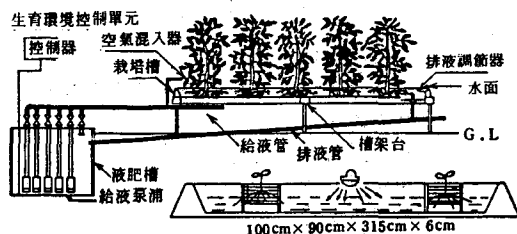
(安井秀夫)

型 式	給排水方式	氧氣之供給	貯液槽 (t/10a)	栽 培 床	作物之支持	設 備 費 (千円/坪)	設 置 面 積 (件數・面積)	特 徵
④Hyponica	栽培床貯液槽循環	送液中曝氣	30	塑膠成型框	塑膠鉢及烏拉坦	C型：33-39 D型：20 I型：25-26	900・130	曝氣裝置的改良
⑤M式「M」	栽培床內循環	同 上	無	保利龍成型框	烏拉坦及保利龍	20-3	800・80 (包括 SAKA)	由吸氣管吸入空氣之曝氣、無貯液槽
⑥神園式	同 上	同 上	25	混凝土框	塑膠鉢及保利龍板	17	—	裝置簡單、便宜
⑦等量交換方式	栽培床養液互相交換	與空氣面之接觸	無	保利龍成型框	同 上	15	300・40	間歇灌水 無貯液槽
⑧小流式	栽培床貯液槽循環	同 上	9	塑膠成型框	栽培筐及礫石	25-30	—・10	養液在栽培床內部流下
⑨山 水	薄膜循環(NFT)	同 上	3-5	保利龍成型框	烏拉坦及保利龍板	S型：10-20 M型：25	70・13	紫外線殺菌
⑩御門 NFT	同 上	同 上	5-7	波型鐵板成型框	同 上	果菜：8-9 芽菜：14-15	120・13	施工容易
⑪MFT「SAKA」	同 上	同 上	3	保利龍成型框	同 上	16	前 出	同 上
⑫SS 水耕	同 上	同 上	3-10	鐵管組合 塑膠布墊	保利龍及塑膠墊	16	15・0.3	施工容易・波型襯墊
⑬Sandponics	滴 灌	砂中的空氣	無	鐵網鉢之砂耕	paper-pot	17	30・3	養液混入裝置 構造簡單
⑭SUMISE 礫耕	間歇噴霧循環	礫石之空氣	10	混凝土 多孔質礫石	礫 石	26	20・2.5	多孔性礫石有良好的通氣及保水性

- (註) 1) 每一裝置皆由測定PH, EC而調節養液, NFT方式(⑥—⑩)有自動調節之裝備
 2) 設置面積出於矢野經濟研究所刊行「養液栽培的現狀及展望」, 裝置件數為廠商各自統計之數
 3) 設備費參照各地之實例, 設備條件有相當程度之差異表中之數字為大體上的標準

(一)協和 Hyponics 水氣耕

此型式為發展較早且較受歡迎的型式之一，其一般構造如圖一所示。其培養液在貯液槽與栽培床間循環使用，在輸送過程中加裝有空氣混入器的設備。排液利用虹吸管原理，使栽培床之養液保持一定深度。作物種子直接植於鉢中。如圖一所示之鉢使用於果菜類蔬菜，若為平板，可種植葉菜類蔬菜。



圖一、Hyponics

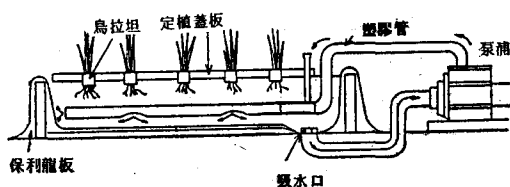
(二)M式水耕

M式水耕主要用於種植葉菜類蔬菜，如圖二。栽培床材料為保利龍板，為一種良好之熱絕緣體，頂蓋板由同一材料製造成，挖著許多洞，用來種植蔬菜。蔬菜種子植於烏拉坦（類似海綿狀之化學合成物）中，直接放置在這些洞。其養液之供給，利用泵浦使反覆於栽培床中流動，在循環過程中並使吸入空氣讓養液溶氧保持固定範圍。

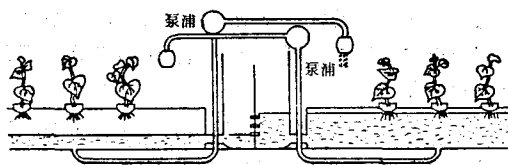
最近M式水耕也發展可種植果菜類蔬菜的產品，並利用微電腦控制其根部環境。

(三)新和等量交換方式

其構造如圖三，其栽培情況及製造材料與M式水耕同。給液方式利用兩個泵浦分別抽取兩栽培床



圖二、M式水耕

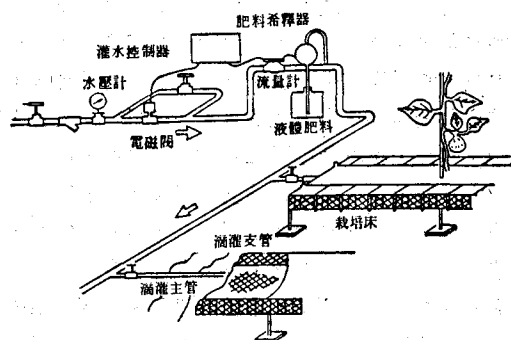


圖三、等量交換水耕

間之養液，使其互相交換流動，在交換過程中使養液由栽培床上方直接滴落，與空氣直接接觸，以提高溶氧量。

(四)砂 耕

由住友公司所開發（圖四），栽培床寬60公分，深7公分，由細目金屬網承載砂而成，可以重力達到自然排液與充分通氣。栽培床高度可應作物高度或作業需要隨時調整。此系統曾由鹿島石油公司應用於阿拉伯的炎熱沙漠地區，結果相當理想。



圖四、Sandponics 砂耕

(五)植物工場

日本現已實用化的植物工場之一為 High-Shuttle 植物工場，位於靜岡縣，可終年生產，每天生產 500 株萵苣。此工廠包括一 80m² 的育苗室及 280m² 之養成室，這兩室與外界環境完全隔絕，以冷暖氣控制內部溫度，在養成室中，終年白天保持於 22°C，夜間維持於 17°C。在養成室裝置有 34 個高壓鈉燈，育苗室有 16 個。液栽型式為水氣耕。一棵萵苣由種子成長至 150g 重僅需 35 天。

另一植物工廠為海洋牧場，目前擁有工場從北海道至九州，共有 17 所。最新設立之工場位於燒津，為一六連棟的溫室，總面積 7260m²，可生產 200,000 盒的蘿蔔，一盒蘿蔔重 60~100g。

種子先於水中浸泡三個小時，而後置於發芽機裏一天。播種時由機械自動操作，將種子置於有 30 個孔的塑膠盤中，每一個盤可生產蘿蔔 30 盒。這些盤由輸送帶運送至下一程序，放置一架上約三~四天的時間。在這一程序中，並不需日照，但每室都加以人為微氣候控制使植物在適當的環境中生長。下一步驟即將這些盤子移至傳統之溫室，讓它受自然日照成長兩天即可收穫。

四、現時發展動向

如前所述，NFT 耕及岩綿栽培的輸入，及多種 DFT 耕 (Deep Flow Technic.) 的開發，給日本養液栽培掀起了一陣新的熱潮，引導新的栽培動向，也由於這些精進養液栽培技術的研究及新材料的出現，讓農產品工業化為可能之植物工廠成另一股嶄新的研究方向。

(一) NFT 耕為英國溫室研究所 Cooper 所開發成功。以使用最簡單的構造型式，供給植物生育時根部水、肥料、氧氣及溫度等之最低需求。在給排液、養循環方式與水耕諸方式不同之處為栽培床的容積變得非常小，並使其有一傾斜度。於上端給予培養液，養液僅以厚 1~2 cm 之薄膜狀往下流，由於液量少，可使根系上部直接暴露於空氣中吸收氧氣，養液循環過程中可不必裝設曝氣裝置，栽培床也可由保利龍製造，成本少且裝置容易為其優點。反面以其液量少，易受外界環境影響，在根系周圍溫度變化急速，養液入口處作物生育良好出口處作物生育惡劣之現象及給液量的控制不易等缺點出現。

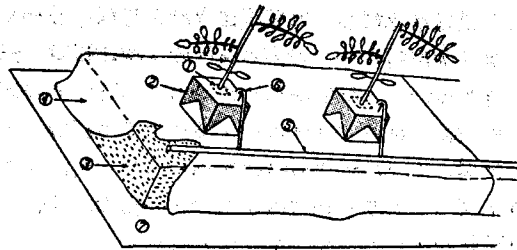
NFT 耕由於構造簡易，除可由農家自行製作外，目前也有數家廠商製造 NFT 栽培床及其他裝置。現時栽培作物有蕃茄、黃瓜、洋香瓜、草莓等果菜類蔬菜。

(二) DFT 耕

日本獨自開發且被普及應用之水耕方式，皆分類為 DFT 耕，不同於 NFT 耕僅給予少量的養液，而給予大量的養液循環使用，其優點為①由養液之循環流動。可供給作物根系較多之氧氣。②循環途中，可由曝氣增加養液溶氧量。③在循環過程中可矯正養液成分及 PH 值。④由於液量多，濃度變化幅度小，可減少調節養液之次數。⑤根域之溫度變化緩慢，加溫與冷卻的控制較容易。其缺點為①由於使用液量多，需大型之栽培槽及貯液槽②。由於液循環，可能助長病原菌及線蟲類等，根部傳染性病蟲害的蔓延。③液量多，泵浦所耗費電力較多。

(三) 岩綿耕

岩綿為丹麥 Grodan 公司於 1968 年開發之產品。其栽培如圖五。將種子置於 3~4 cm 的立方體岩綿墊上，待根生出後，移植至邊長 7.5~10 cm，上方開有一四方形小孔的立方體岩綿塊上，及根再伸出此岩綿塊後，即放置於岩綿板上。伸出岩綿



圖五、岩綿栽培

- ①播種岩綿墊
- ②立方岩綿塊 (側面覆蓋黑色塑膠布)
- ③岩綿板
- ④塑膠布 (白色之厚塑膠布)
- ⑤滴灌主管
- ⑥滴灌支管
- ⑦塑膠布 (白色之厚塑膠布)

塊的根會再伸入岩綿板內，吸收養分，水及氧氣。

岩綿耕數年前在歐洲開始，以荷蘭為中心，栽培面積急速的增加。日本於 2~3 年前才導入。給排液方式大致可分成循環式與非循環式兩類。循環式以噴灌給予多量的養液，再將排出的養液以貯液槽收集再使用。利用此方式有筑波大學開發的澁谷式。非循環方式利用滴灌給予作物蒸發散量相當量的養液，不需再回收利用。非循環的滴灌方式，為當今岩綿耕之主流，市場販賣有誠和、air-rich、御門、協和、東海 engineering 等。

岩綿耕與其他固定培地耕比較，有

- (1)移植、定植操作簡易。
- (2)排水、保水性良好，重量輕容易處理。
- (3)無病蟲害之憂慮，每作後，以蒸汽消毒，可連續 3~4 作。
- (4)價格便宜。

等多項優點，預料將廣為普及應用。

四) 植物工場。

植物工場起源自 1957 年丹麥 CRISTENSEN 農場設立一貫性自動化工廠利用陽光以生產芽菜類，自播種至收穫僅需六天，它將種播於箱子以水平輸送帶移至適合於各生長期的人為控制環境中栽培，而生產了生長期短暫，單位面積產量多且品質又好的蔬菜。

植物工場顧名思義即是農業之工業化，在工業生產中輸入 (Input) 為材料及零件，生產過程中 (process) 為以一定流程，按序以輸送系統 (

conveyer system) 傳送。而其產品 (output) 為大量規格化製品。農業生產之輸入為種子或移植，生長過程為栽培，產品為農作物，傳統農業，因受自然環境之支配故季節性產品顯著。近年來由於生物工程之發達，育種技術之精進故受季節變化之牽制愈小。由於世界經濟之發達可以享受較高價之農產品，加上溫室栽培技術之進步，農產受季候之支配愈低，最近由於工業及環境調節工程之進步，使得植物可在人為控制之條件（如人工光，CO₂濃度等）下，像工業生產一樣，生產農產品。而以養液栽培技術之精進，使其可行性更高。一般來說植物工廠具有下列之特性：

(1)短期間大量生產(2)不受栽培地區限制：即不管它在高山或平地，壤土或沙土，炎熱或嚴寒等皆可生產(3)計劃性生產：即每日生產量皆按計劃進行(4)產品有再現性：即農產品有一定之規格(5)播種及收穫有一貫性(6)生產程序自動化等。

日本現有之植物工場除前述較大規模之 High-Shuttle 植物工廠及海洋牧場，另有較小規模之三浦農場及 DAIEI 食品公司。雖然這些植物工場都已實用化，營運之中亦有困難存在，較明顯者有

(1)產品限於芽菜、萵苣、蕃茄、草莓及極少數之花卉。

(2)維護費用高，自然光利用率低，耗用電力費用過鉅（占總成本之60%~75%）。

五、將來展望

日本養液栽培自1964年發展至今，已有20多家製造廠商各自發展出不同的養液栽培方式，有些並已推廣至農家使用。最近更因 NFT 簡易養液栽培技術及岩綿栽培的導入，養液栽培又再度受到大眾的關心。另一方面，各企業界開始以人為完全控制植物生長環境之設施—植物工廠的型態—有計劃的生產蔬菜，更使養液栽培邁入企業化經營的境界。

今後，研究的方向除從目前存在之主要問題(1)設施成本及經營費用過高(2)病害的防治(3)作物種類的限制，加以解決外，與另一先端農業科學—生物科技—的結合，以細胞融合或遺傳因子組合交換等新技術，應用於

(1)人工種子的實用化—一種苗生產，馴化（註2）及移植。

(2)新品種的開發—適合設施內高溫環境，低照度高產量，多連作可能等新品種之開發。

即可期待一種新型態植物產業的到臨。

六、結 論

臺灣以耕地漸少，農村從業人員逐漸老化，污染、人口問題日趨嚴重。如何能安定的提供消費者足量及清潔之蔬果，除養液栽培一途別無他徑，作物生產走向植物工場型態也是必然之趨勢。以臺灣目前養液栽培尚止於試驗之階段，為迎接植物工場時代的到來，除應用國外發展之現有成果外，需分別再從生物與工程兩方面同時着手。而以台灣之條件，要能邁步前進，工程方面之研究尤為重要，其發展之方向為：

- (1)適合本省低造價溫室之建造。
- (2)溫室內複合環境之控制及設施之自動化。
- (3)養液栽培設備及系統之研究。
- (4)養液物理及化學性質之控制。
- (5)養液廢棄物之處理。
- (6)生產溫室景觀之設計。

七、參考文獻

1. 農業および園藝別冊，1986，養液栽培の新技術—その現状と展望—，養賢堂發行pp. 1-34
2. 農耕および園藝別冊，1986，養液栽培の新技術 誠文堂新光社，pp. 2-12
3. 王鼎盛，1986，養液と農業工學，筑波大學農林工學系講演要旨
4. 武川滿夫，1986，水耕栽培百科，富民協會發行，pp. 13-18
5. 都留信也，1986，バイオテクノロジーから見た生物生産システムの海外現況と將來展望，第1回農業ハイテクノロジーシンポジウム講演要旨，pp. 9-14
6. 高辻正基，1981，植物工場の基礎知識と實際，技術情報センター，pp. 14-17, pp. 149-177
7. ICSS, 1985, Hydroponics Worldwide ; state of the art in soilless crop production, pp. 137-143

註2. 植物在某一人工控制之環境下生長一段期間後移至另一環境時需經過馴化過程以適應之。