最早開發的工廠化蔬菜生產技術
－動態浮根式水耕法

高德錚

＊ 前言

從民國72年6月24日起，我離開了國立臺灣大學農藝系而進入臺灣省臺中區農業改良場服務，由於在臺灣大學農藝系之研究生涯都環繞著大豆固氮生理在打轉，因此報到之後就被指派到雜糧研究室協辦蕎麥及薏苡的栽培技術改善及雜交育種和探討高粱臺中五號發芽不良的原因。民國73年5月間前農林廳蘇匡基副廳長(本場前場長)及本場謝順景場長先後到日本考察，當時蓬勃發展蔬果養液栽培產業，回國後即指示本場應加緊探討在國內開發蔬果養液栽培技術的可行性；當時本場鮮少具有植物生理背景的同仁，因之筆者即被指派籌組“設施蔬菜研究室”開始了各項蔬菜設施栽培技術之研發。

＊ 研發史

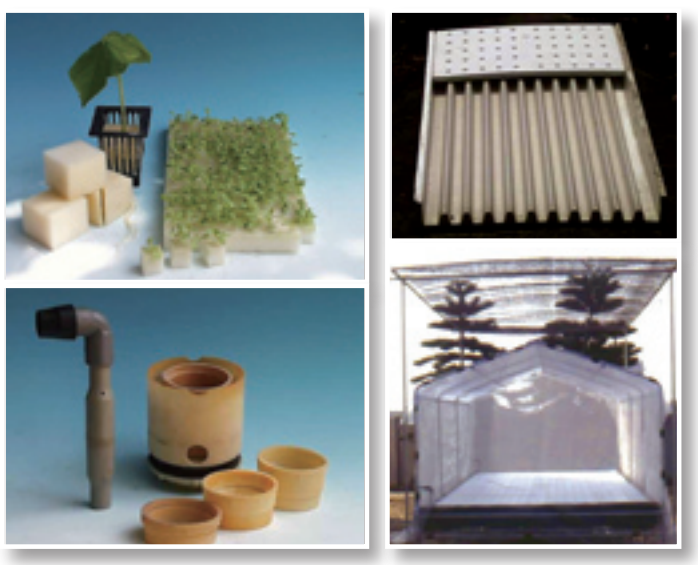
國內水耕栽培之研究起步較晚，1969年龍潭農校呂理福校長首先著手研究礫耕栽培，在該校屋頂構築一礫耕栽培示範中心。1976年在該校清德農場整建1,350m^{2}之水泥永久礫耕設施，用為生產金針菜。在同一年代學校及試驗場所方面，計有臺灣大學園藝系李哖教授及農業試驗所李伯年教授亦從事水耕栽培之養液配方及植物營養吸收之研究。在1970年代本場及中興大學土壤系先後利用PVC管進行以蛭石為栽培介質進行各種蔬菜及花卉的立體無土栽培之研究，在臺中區農業改良場則進一步構築一盪鞦韆式之立體循環架進行多層式之立體無土栽培研究，1980年代以後由於日本方面水耕栽培事業之發達，帶動了國內水耕栽培之研究風氣，先有省農業試驗所鳳山分所沈再發先生沿用日本山崎肯哉氏的浮根式水耕栽培設施進行洋香瓜、西瓜及葉菜類之研究，而高雄區農業改良場陳旭雲先生及臺鳳公司老埤農場亦相繼構築水耕設備，前者進行砂耕番茄及花卉之試驗研究，後者則進行小規模水耕洋香瓜及葉菜類之生產試驗。然而至民國75年底臺灣省內並無大規模之商業性水耕農場。

本場從1984年9月即著手研究開發一套適合本省氣候條件之水耕栽培技術，開發史如表1及圖1所示，最早在1984年底即已完成小型水耕箱之設計；並從1985年元月至5月間完成各種基本條件之測試後，乃於同年6月～8月間構築一長15.0公尺、寬90公分之大型水耕床，進行養液流速、酸鹼度、電導度及溶氧量等之測試，至同年年底率先完成第一型靜態非循環式水耕系統。為解決第一型中溶氧量太低之困擾，因之乃以養液循環為改善之第一要旨，並於1986年1

至5月間完成第二型之栽培系統，此系統之特點為栽培床改用保利龍製，而且養液採用幫浦強制循環。俟同年8月間本場開發完成空氣混入器而進一步完成第三型藉由資材之安裝於栽培床前為使養液中溶氧量達30%。俟同年11月間本場開發完成養液昇降排液器，及保利龍製成型栽培床後，本場之第四型動態浮根式水耕系統乃告成功(如圖2)。本型之優點為植物根部在每次養液灌排過程中會隨養液之上下左右波動，如此不但使根部浮動於液面上，亦誘引水面上方根系成氣根系而可直接利用空氣中之氧氣進行呼吸作用，此觀點即為熱帶地區可否進行水耕栽培之關鍵。

1987年間以省能源及適合熱帶地區栽作為前提，乃進一步開發一套養液自動控制系統及著手設計模擬植物工廠，藉由電腦24小時之監控，進一步評估第四型動態浮根式水耕系統之周年栽培性；待同年7月本場乃進一步改善第四型栽培系統中養液灌排系統之流程，在改良過程中，首先將養液昇降排液器中內環部份改成套環式，以確保栽培床內之水位高低；再者，將養液系統中養液槽數量單槽改成雙槽，其中一槽設置於栽培床前上方，另一槽設置於栽培床後下方，如此前槽內之養液可無動力不斷地將養液流入栽培床中，經測試結果此系統之容氧量比第四型多50～100%，節省用電量每公頃每天至少5度，而單位面積反增加20%。

1988年間為解決簡易網溫室設施抗風性太差，設施費用亦高昂之困擾，乃著手設計抗颱風型之水耕專用溫室（第六型），經2～3月間之初步設計及規劃，第一座矮架式水耕專用溫室乃告完工，其造價為慣行高隧道溫室之十分之一。同年10月間，在開發完成四種套管組件後，乃進一步開發成功一種組合式矮架水耕專用溫室，並於同年申請中華民國貳項十年專利(專利證書如圖3)。再之，配合1989年2月間氣根式保利龍成型之水耕栽培床的開發完成，一套適合本省氣候條件之經濟實用化之水耕栽培技術正式宣告誕生（第七型）。至1990年6月間再將矮架水耕專用溫室之各項套管組件規格化，以利於經營者自己DIY來降低構築成本（第八型）。2000年以後，因應全球暖化氣候變遷的影響乃著手立體水耕系統之研發，於2000年4月完成補照光式立體水耕系統（九型）及2010年6月完成全照光式立體水耕系統（十型）。



◆ 圖1 動態浮根式水耕栽培系統之組件特徵

育苗用海綿及承籃(左上)、空氣混入器及水位調節器(左下)；氣根式栽培床(右上)、矮架組合式溫室(右下)。

表1 臺中區農業改良場水耕栽培發展經過

開發項目	日期	
	年代	(月)
完成小型水耕床之設計	1984	(9 ~ 12)
完成小型水耕床測試	1985	(1 ~ 5)
完成大型水耕床測試	1985	(6 ~ 8)
開發葉菜一型栽培技術	1985	(9)
開發果菜一型栽培技術	1985	(11 ~ 12)
開發養液自動控制系統	1986	(1 ~ 3)
開發果菜二型栽培技術	1986	(5)
開發葉菜二型栽培技術	1986	(4 ~ 5)
開發葉菜三型立體栽培技術	1986	(6)
開發保利龍栽培床	1986	(6 ~ 7)
開發養液空氣混入器	1986	(8)
開發葉菜三型栽培技術	1986	(10)
開發家庭式水耕箱	1986	(10)
開發養液昇降排液器	1986	(11)
完成動態浮根式水耕系統（四型）	1986	(12)
完成省能源水耕系統（五型）	1987	(8)
完成家庭式氣根式栽培箱	1987	(10)
完成抗風型矮架水耕系統（六型）	1988	(2)
完成落差連續式養液控制系統	1988	(6)
完成組合式矮架水耕溫室設計	1988	(10)
完成氣根式保利龍栽培床設計（七型）	1989	(2)
完成商品化矮架水耕溫室及動態浮根式水耕系統（八型）	1990	(6)
完成補照光式立體水耕系統（九型）	2000	(4)
完成全照光式立體水耕系統（十型）	2010	(6)

◆ 圖2 臺中區農業改良場各型水耕系統之特徵



原型 (12月,1984)



第一代 (9月,1985)



第二代 (5月, 1986)



第三代 (10月, 1986)



第四代(12月, 1986)



第五代(8月, 1987)



第六代(2月, 1988)



第七代 (2月, 1989)



第八代 (6月, 1990)



第九代 (4月, 2000)植物工場



第十代 (6月, 2010)植物工場

◆ 圖3 動態浮根式水耕栽培系統之專利證書



動態浮根式水耕栽培系統之專利

播桿式播種器專利

＊動態浮耕式水耕系統的栽培成效

一、優點

1.溫室與栽培設施一體成型，構築費用較低。

2.構築方法簡單，使用者可自行搭建。

3.使用者可依經費，農場土地及市場銷售多寡而決定搭建規模。

4.較適合本省氣候條件，可行周年生產。

5.連作生產力強，年產值較高。

二、缺點

1.水耕栽培技術屬高科技，使用者需先經過40小時的實作研習。

2.需有專責單位負責水耕養液之定期分析與栽培輔導。

三、栽培效益

1.本水耕系統特別適合生食性葉菜類蔬菜之周年生產。

2.本水耕系統之每1000平方公尺構築成本為新臺幣120萬元。

3.本水耕系統之每1000平方公尺每作葉菜可食部位之產量在2,000公斤。

4.本水耕系統之每1000平方公尺每作粗收益在新臺幣6～10萬元。

5.本水耕系統之每1000平方公尺每作淨益在新臺幣2.5～5.0萬元。

6.本水耕系統年栽培葉菜12-14作，故在3～4年間可回收投資成本。

＊推廣成效

自從1984年間本場開始進行水耕栽培系統之開發及改良後，於1986年3月，臺灣糖業公司位於埔里之副產加工廠，率先引用本場設計之第二型水耕技術構築一個0.152公頃之水耕溫室，生產萵苣、白菜、青梗白菜及胡瓜等清潔蔬果；同年6月位於彰化縣埤頭鄉溪湖糖廠之元埔農場亦採用本場設計之第三型水耕技術構築0.128公頃之水耕溫室生產一般葉菜類。同年年底該場訓練之青年農民林家憲先生在其臺中縣頭汴坑之三樓頂構築一個30坪之屋頂水耕菜園，生產一般葉菜類。1986～1987年間引用本場之第四型水耕技術之農場，由北至南計有臺北市外雙溪之青青農場、桃園中壢之鄉土農園、歐亞公司、苗栗西湖鄉之高埔水耕農場、彰化縣永靖鄉曾瑞桐農友及臺中縣龍井鄉江姓農友；再者，臺南縣歸仁鄉楊清光農友在臺南縣政府及歸



香港新界之何氏動態浮耕式水耕農場



高雄小港之涂氏動態浮耕式水耕農場

仁鄉農會之輔導下於1988年10月間完成0.6公頃之嘉美水耕農場，即採用臺中場開發之第五型省能源之系統。而且，為了抗颱風之侵襲，1987年6月間已有高雄縣岡山鎮、彰化縣二林鎮、田中鎮、埔心鄉及花壇鄉和嘉義市農會之四健會會員相繼試作本場開發之第六型抗風式矮架水耕設施合計20座。至1989年6月，臺灣省境內大約有6公頃之水耕栽培農場，其中採用本場開發之動態浮根式水耕系統之農場在3公頃以上；同年此項技術獲中央標準局編號新型第54285及54377號之兩項10年專利；並於1989年6月20日奉行政院農業委員會提示正式推薦於農友。1990年6月筆者進一步將矮架水耕溫室結合動態浮根式水耕系統而完成一套適合本省氣候條件之經濟型實用化之水耕栽培技術正式宣告誕生。至今臺灣本島及東沙、小金門、馬祖等外島駐軍均採用本場開發之動態浮耕式水耕系統。此外，香港、泰國、馬來西亞、新加坡、汶萊等東南亞地區亦廣泛採用，推廣栽培面積有一百餘公頃。