

電動槽耕鬆土機具之研製¹

吳浩銘、張金元、田雲生²

摘 要

本研究試驗研製一臺電動槽耕鬆土機具，採用直流電動馬達取代汽油引擎的動力源，並把動力分成兩部分：其一為直接傳送到鬆土刀上；另一則藉由鏈輪與鏈條將動力傳送到行走輪上，使機具在耕植槽鬆土時，能自行向前移動與作業。完成之電動槽耕鬆土機具長635 mm、寬390 mm、高500 mm，機體總重為38.5 kgf，可搭配圓盤、刀片及爪式三種鬆土刀進行作業，經試驗結果顯示，採用圓盤式鬆土刀之作業時間可較人工縮短1倍，並且介質團粒殘留率及粗細度分別為8.48%、1.86 mm，達到省工省時之效果。

關鍵詞：電動、鬆土機、耕植槽

前 言

臺灣農業常因氣候及地形因素影響，受到颱風、暴雨、乾旱及熱浪等天然災害的侵襲，造成農業生產極大之災損，短時間內無法復耕，導致產銷失衡，使得農產品物價高漲、民生消費上揚。露天栽培作物在颱風及豪雨時，因耕地積水或淹水，造成作物腐爛或裂果等情形，嚴重影響產量及品質。因此，近年來農作物的栽培方式，已由露天栽培逐漸改為設施栽培模式，藉由改善栽培環境，克服前述的不利因子，以減輕災害損失，並穩定產量及收益⁽¹⁾。惟在溫室設施內，栽培介質會因環境溫度過高，團粒構造被破壞或結塊，影響作物根系發育，故須實施鬆土作業，維持介質的膨鬆度，增加通氣和排水效能，提高產量及品質⁽²⁾。鬆土作業目前仍以人工為主，尚未有適用機械輔助^(6,7)，且農村現面臨人口短缺及高齡化的問題，期望能有機械化取代人力作業，紓緩農業缺工的困境。

國內農業機械普遍使用引擎為動力源，但為減少廢氣排放，以及減少石化燃料的使用，期望以直流電動馬達(或稱電動機)取代引擎，以減少二氧化碳排放量，達到節能減碳的效果，其具有低成本、安全、立即啟動、低污染及低噪音等優點⁽⁴⁾。此外，在農業設施內，採用電動化農業機具，已是目前發展趨勢。本研究即研製適合槽耕栽培使用之鬆土機械，並以直流電動馬達取代傳統引擎做為動力輸出，針對電動槽耕鬆土機進行相關研究與試驗，期對氣候變遷及減少碳排放量有所貢獻。電動槽耕鬆土機具之開發，可為農業設施內鬆土作業機械化的進一步發展，並減輕人工勞動力，提升作業效率及降低生產成本。

¹行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第 0909 號。

²行政院農業委員會臺中區農業改良場研究助理、助理研究員、副研究員。

材料與方法

一、電動槽耕鬆土機具設計原則

- (一)鬆土機械化－現今溫室設施內以籃耕、槽耕介質栽培生產作物居多，礙於空間條件受限，鬆土作業尚未有適用機械輔助或取代人力作業，期望能有機械化作業，以減輕人工負荷、提高工作效率、降低人工成本。
- (二)動力電力化－響應政府推廣節能減碳政策，以非石化能源作為農耕動力，採用直流電動馬達取代傳統汽油引擎做為動力源輸出，減少二氧化碳排放量、降低污染及噪音等，也符合現今農業設施內搭配電動化機具生產作物之趨勢，直流電動馬達具無線控制、操作簡單，但成本較高。
- (三)自走式操作－修正前期槽耕鬆土機於鬆土作業時仍有偶發停滯不前的現象，故本次設計透過直流電動馬達供應動力於行走輪，使電動槽耕鬆土機具備自走功能。
- (四)土壤鬆土－為了解電動槽耕鬆土機性能與鬆土作業效率，機具加裝可調變頻器，進行控制鬆土作業速率及以插銷調配孔位高度調整鬆土刀深淺，供機具性能試驗調查用。

二、電動槽耕鬆土機具之設計研製

- (一)依照前述設計原則^(3,8)，係用直流電動馬達為動力源，試製電動槽耕鬆土機具。並採用鐵材(角鋼、扁鐵、圓鐵等)組裝電動槽耕鬆土機具之機架，選用36V鋰電池供應電源予400W直流無刷馬達，產生動力輸出，其鋰電池的特性為：1.相同體積下，蓄電容量高；2.重量輕；3.工作電壓高，可提供較大的電流。透過減速機降低馬達轉速，使提高機具於鬆土作業所需之扭力，動力輸出分成兩部分：一部分是直接輸出至耕耘部的鬆土刀軸；另一則是經由鏈輪及傳動鏈條，傳送動力至行走部變速箱作為行走的動力源，促使電動槽耕鬆土機可前進、後退行走。行走部變速箱接到動力後，經傳動鏈條與鏈輪的配合，將動力傳至行走輪上。
- (二)將常見之水平迴轉鬆土作業模式，設計修改為垂直迴轉鬆土作業模式，其目的使直流馬達動力直接傳遞至鬆土刀軸上，降低動力的損失；也使機具容易製作。並使用鐵材(圓鐵管、扁鐵、鐵片、鐵條等)，製作出三種型式可調整深淺之鬆土刀，進行測試比較適合電動槽耕鬆土機具之鬆土刀。

三、試驗設備與材料

- (一)試驗設備：本研究試驗研製之電動槽耕鬆土機具。
- (二)試驗場地：本場蔬菜溫室之長、短耕植槽，長耕植槽全長35.6 m、短耕植槽7 m，高度皆為0.3 m、寬度0.45 m，栽培介質高度約為0.2 m，以U型槽架高立體化，該耕植槽內側如圖一所示。蔬菜溫室耕植槽內輪流種植小果番茄、洋香瓜、南瓜等作物，待其收穫後進行鬆土作業及各項試驗測試。



圖一、本場蔬菜溫室之耕植槽

Fig. 1. A vegetable planting groove in greenhouse

(三)試驗材料：栽培介質為Peltracom substrates，添加珍珠石與黑泥炭成分，水分60~70%，pH值5.5~6.5，於本場蔬菜溫室內種植洋香瓜，經5個月廢耕後進行耕植槽鬆土試驗。

(四)量測器材：計時器(CABORT 168，精度0.01 sec)、電子秤(AND GF-3000, MAX: 3,100 g，MIN: 0.5 g)、標準篩網(DER SHUENN，篩面直徑200 mm，篩網高度60 mm，方形篩孔，孔徑0.147 mm、0.295 mm、0.589 mm、1.17 mm、2.36 mm、4.70 mm、9.42 mm共7個)、3號篩網(KUANG YANG, NO. 3，網目 6.35 mm)、皮尺(50 m)、鐵尺(60 cm)等。

四、電動槽耕鬆土機具作業效率比較與鬆土試驗

電動槽耕鬆土機具於本場蔬菜溫室耕植槽內進行鬆土試驗，調查項目包含行走速度、作業效率、介質團粒殘留率、鬆土粗細度等試驗調查。

(一)電動槽耕鬆土機具作業效率試驗

耕植槽長35.6 m、高度0.3 m、寬度0.45 m，設定試驗距離以35 m為基準，其栽培介質高度為0.2 m，電動槽耕鬆土機具行走速度依變頻器上設定為高速、中速與低速三種模式，進行鬆土作業速度試驗，並重複測試3次求平均值。

(二)電動槽耕鬆土機具鬆土試驗

鬆土試驗使用本場蔬菜溫室內耕植槽，進行人工與電動槽耕鬆土機具之鬆土作業比較，調查鬆土時間及鬆土之寬度、深度、粗細度，並重複3次求平均值。人工鬆土係以尖鏟、釘耙鬆土，並以人工手撥方式將表土整平；電動槽耕鬆土機具設定行走速度為高速模式，再配合三種型式之鬆土刀進行鬆土試驗，並觀察鬆土情形分析之。

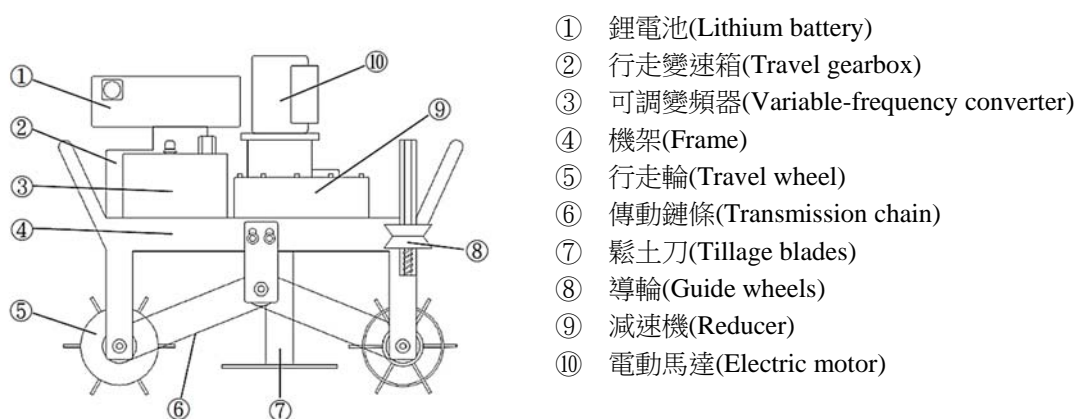
完成鬆土作業後，在耕植槽內隨機三處採取鬆土後中間層之介質樣本，進行過3號篩網(6.35 mm)量測介質團粒之殘留率，另採用標準孔徑0.147、0.295、0.589、1.17、2.36、4.70 和 9.42 mm共7個標準篩網，進行粗細度分析，將置留於篩網上之物料重量所佔比例

各乘於加權係數，其乘積之總和除以100，求得粗細度值⁽⁵⁾，並將篩析方式所得之粗細度值(FM)經公式 $D_a=0.104 (2)^{FM}$ ，算出各型式鬆土刀之物料平均粒徑值比較。

結果與討論

一、電動槽耕鬆土機具之研製結果

(一)鬆土機由直流電動馬達、鋰電池、減速機、可調變頻器、行走變速箱、耕耘刀、行走輪及導輪等裝置組成，如圖二所示，直流電動馬達由鋰電池供應電源，機具總重為38.5 kgf，長635 mm、寬390 mm、高500 mm。

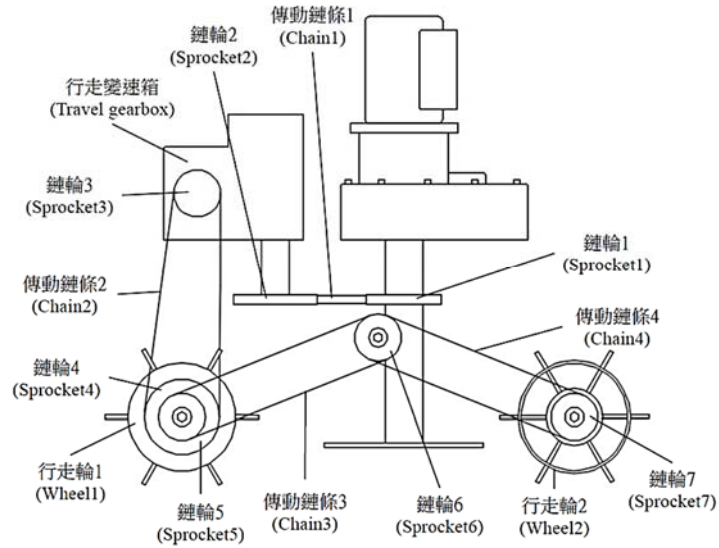


圖二、電動槽耕鬆土機具示意圖

Fig. 2. The diagrams of electric groove tillage mechanism

電動槽耕鬆土機具係使用鐵材(角鋼、扁鐵)結合組裝而成，由鋰電池蓄電供應電能予直流電動馬達，藉由直流電動馬達將電能轉換成動能輸出，經直流電動馬達與減速機配合，將直流電動馬達輸出之高轉速降為低轉速及提高扭力輸出，並將動力分成鬆土及行走兩部分。

1.動力傳遞：馬達產生動力經過減速機降低轉速輸出到耕耘部的鬆土刀軸，再由鬆土刀軸帶動鬆土刀進行鬆土作業；行走部分則經由鬆土刀軸上的鏈輪1與傳動鏈條1及行走變速箱鏈輪2，將動力傳送至行走部變速箱做為行走的動力源，使電動槽耕鬆土機可前進或後退行走。行走部變速箱接到動力後，將動力透過鏈輪3與傳動鏈條2及鏈輪4，傳遞至電動槽耕鬆土機之行走輪1上，再藉由鏈輪5-7與傳動鏈條3、4，傳遞到行走輪2上，使電動槽耕鬆土機兩行走輪皆具動力且等速運轉，其示意圖如圖三所示。



圖三、動力傳遞示意圖

Fig. 3. The diagram of power transmission

2.行走輪：行走輪係由前輪直徑60 mm、長210 mm及後輪直徑115 mm、長210 mm之鐵筒焊製而成，並於管面各銲接6支前輪長210 mm、寬50 mm、厚4 mm ㄇ型扁鐵；後輪長210 mm、寬25 mm、厚4 mm之扁鐵，如圖四所示，其前輪 ㄇ型扁鐵之設計，目的以防止更換較大刀具時產生干涉之情形，兩輪皆具有支撐及增加土壤曳引之行走功能，防止鬆土作業時，於耕植槽內打滑而停滯不前之情形。



前輪(Front wheel)

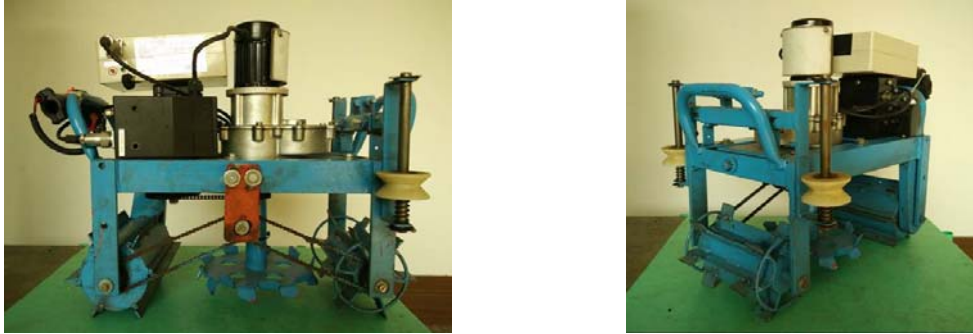


後輪(Rear wheel)

圖四、行走輪局部圖

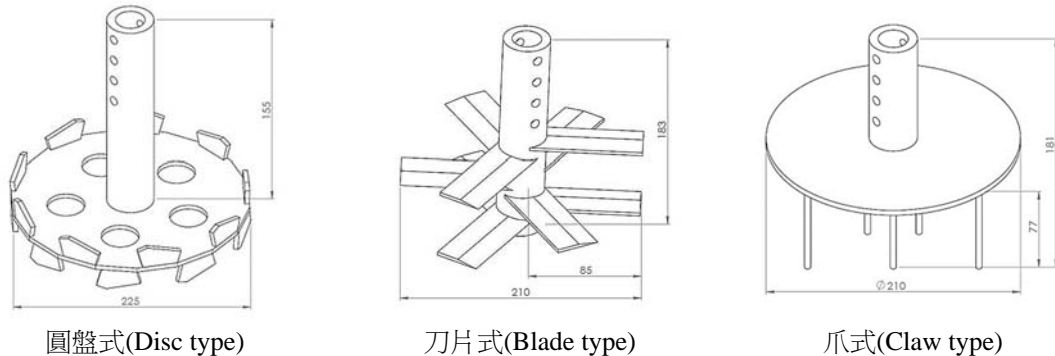
Fig. 4. The partial picture of travel wheel

3.導輪：機架兩側設置直徑70 mm之導輪，使電動槽耕鬆土機具在鬆土作業時，導輪依靠耕植槽內側邊前進，使機具能平穩的行走於耕植槽內，避免電動槽耕鬆土機具左右傾倒。研製完成電動槽耕鬆土機具如圖五所示。



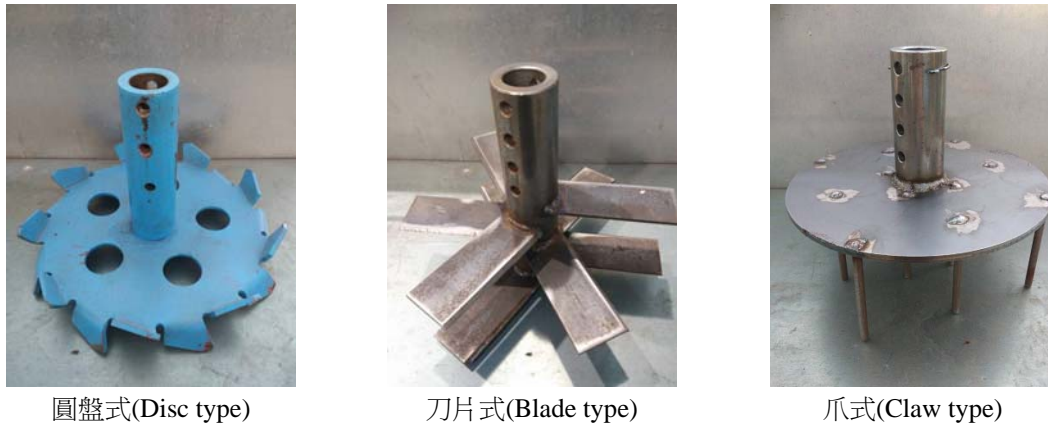
圖五、電動槽耕鬆土機具
Fig. 5. Prototype of electric groove tillage mechanism

(二)電動槽耕鬆土機具因直流電動馬達設置之因素，與已往採用水平迴轉鬆土作業模式不同，故由水平迴轉模式變更成垂直迴轉模式，因此為配合垂直鬆土作業之模式，應用Solidworks電腦繪圖軟體設計三種型式可調整深淺之鬆土刀，分別為圓盤式、刀片式、爪式。圓盤式鬆土刀為圓盤外圍以上下刀片交錯狀刀片製成；刀片式鬆土刀係設計由9片長85 mm*寬38 mm*厚3 mm之扁鐵焊接於圓鐵管上，成為垂直向迴轉之鬆土刀具；爪式鬆土刀則顛覆傳統思維，設計從直徑210 mm圓鐵片上焊接12根直徑5 mm鐵條而成鬆土刀具。其三種型式之鬆土刀示意圖如圖六所示。



圖六、規劃設計三種型式之鬆土刀示意圖
Fig. 6. The diagrams of 3 designed tillage blades

3型式鬆土刀係使用外徑40 mm之圓鐵管製作，並於圓鐵管上以間隔20 mm鑽直徑8 mm之四孔貫穿孔，利用插銷配合孔位，用以調整刀軸鬆土深淺，其中有20 mm、40 mm及60 mm之高度可供調整，研製完成三種型式鬆土刀之外觀、規格如圖七、表一所示。



圖七、三種型式之鬆土刀
Fig. 7. The profile of tillage blades

表一、三種型式鬆土刀之規格

Table 1. Specifications of tillage blades

Type	Diameter (mm)	Height (mm)	Weight (g)
Disc type	225	155	2110.46
Blade type	210	183	1755.70
Claw type	210	181	2097.16

二、電動槽耕鬆土機具作業效率比較與鬆土試驗

(一) 電動槽耕鬆土機具作業效率試驗結果

設定場內長耕植槽以35 m為試驗距離，進行電動槽耕鬆土機具作業效率試驗，完成鬆土作業之平均速度分別為高速0.04 m/s、中速0.036 m/s、低速0.033 m/s，如表二所示。由試驗結果顯示，中、低速之作業時間較長，不符試驗條件設定，故後續作業試驗以高速模式為設定條件。電動槽耕鬆土機具高速鬆土作業平均時間為880 sec (約14.67 min)，平均速度為0.04 m/s (2.4 m/min)，相當於每公尺花費25 sec，人工鬆土作業時間則需30 min，因此電動槽耕鬆土機具較人工鬆土作業時間縮短約1倍。

表二、電動槽耕鬆土機具作業率效

Table 2. The capacity of electric groove tillage mechanism

Transmission speed	Length (m)	Average time (s)	Average working capacity (m/s)
High speed	35	880	0.040
Medium speed	35	976	0.036
Low speed	35	1,062	0.033

(二)電動槽耕鬆土機具鬆土刀鬆土試驗結果

- 1.在耕深、耕寬試驗前，已先行測試鬆土刀調整深淺試驗，但發現原孔位、20 mm及40 mm之設定，量測得耕深依序為30 mm、55 mm及80 mm，皆不適合種植作物所需之鬆土深度，故後續試驗採用最深之孔位60 mm進行測試。
- 2.電動槽耕鬆土機搭配三種型式鬆土刀之耕深、耕寬試驗，耕深結果如表三所示，圓盤式鬆土刀因圓鐵管長度155 mm限制，可鬆土之深度為107 mm，與刀片式及爪式鬆土深度皆為128 mm較淺；耕寬試驗結果顯示，以刀片式耕寬較大，鬆土寬度為228 mm，寬度較小的是圓盤式鬆土刀，其耕寬值為226 mm，兩者差距僅2 mm，故三種鬆土刀之耕寬差異不大。綜合結果可知，刀片式鬆土刀耕深、耕寬效果較另兩型鬆土刀為佳，其鬆土深度達128 mm、鬆土寬度為228 mm。

表三、電動槽耕鬆土機鬆土刀試驗結果

Table 3. Test results of electric groove tillage mechanism

Item	Depth (mm)	Width (mm)
Disc type	107	226
Blade type	128	228
Claw type	128	227

- 3.鬆土作業後進行鬆土細碎效果試驗，以及介質團粒殘留率與粗細度分析。人工及機具鬆土作業之介質團粒殘留率分別為人工11.62%、圓盤式8.48%、刀片式8.78%、爪式12.99%；顆粒平均粒徑則為人工3.37 mm、圓盤式1.86 mm、刀片式2.80 mm、爪式2.01 mm，結果如表四、表五所示。由結果顯示，應用圓盤式鬆土刀可較人工、刀片式、爪式之顆粒平均粒徑、介質團粒結塊為小，適合與電動槽耕鬆土機具搭配；另爪式鬆土刀其介質團粒殘留率較人工作業差，相差為1.37%，探討結果為爪式鬆土刀在鬆土作業時，刀具深入介質中以致表層介質尚未翻鬆而造成。由鬆土試驗結果可知，機械作業可優於人工作業，達省工省時之效益。

表四、電動槽耕鬆土機具與人工作業之比較

Table 4. Comparison of groove tillage equipment and manual operations

Item	Weight of samples (g)	Residual weight screen by NO. 3 mesh (g)	Residual rate ¹ (%)
By labor	858.24	99.77	11.62
By disc type	616.84	52.30	8.48
By blade type	815.29	71.55	8.78
By claw type	504.44	65.55	12.99

¹ Residual rate of new Peltracom substrate is 5.68%

表五、介質耕鬆後粗細度之比較

Table 5. Comparison of fineness modulus of substrate after tillage

Item	Weighting factor	By labor		Disc type		Blade type		Claw type	
		On the standard screen (%)	Product	On the standard screen (%)	Product	On the standard screen (%)	Product	On the standard screen (%)	Product
9.42	7	9.76	68.32	1.41	9.87	0.55	3.85	5.48	38.36
4.70	6	14.42	86.52	5.29	31.74	8.58	51.48	8.33	49.98
2.36	5	47.37	236.85	29.57	147.85	59.06	295.3	26.47	132.35
1.17	4	25.31	101.24	40.29	161.16	28.82	115.28	33.79	135.16
0.589	3	3.01	9.03	19.28	57.84	2.87	8.61	20.43	61.29
0.295	2	0.1	0.2	3.8	7.6	0.11	0.22	5.05	10.1
0.147	1	0.03	0.03	0.36	0.36	0.01	0.01	0.45	0.45
Chassis	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		100	502.19	100	416.42	100	474.75	100	427.69
Fineness Modulus (FM)		5.02		4.16		4.75		4.27	
Da (mm)		3.37		1.86		2.80		2.01	

結論與建議

試驗研製完成之電動槽耕鬆土機具，其長635 mm、寬390 mm、高500 mm，總重38.5 kgf，係應用直流電動馬達取代汽油引擎的動力，將動力分送兩部分，分別輸出予傳動鬆土刀作為鬆土作業，以及透過鏈輪與鏈條傳送動力至行走輪，使機具能自行移動及進行鬆土應用。鬆土刀具設計為垂直軸迴轉形式，分為有圓盤式、刀片式、爪式等3種刀具型式。電動槽耕鬆土機經鬆土結果顯示，長35 m之耕植槽，人工鬆土作業時間需30 min，機具僅需14.67 min，機具可較人工作業時間縮短1倍以上，且介質粗細度人工作業為3.37 mm，機具配合圓盤式鬆土刀為1.86 mm，鬆土效果較人工為佳。

電動槽耕鬆土機具因耕植槽內栽培介質量較多，土面高度較高，導致導輪無法碰觸耕植槽內側邊導引行進向前，建議需設計更改導輪高度，使機具之導輪與行走輪二點支撐，能平穩行走於耕植槽中；試驗中亦發現電動槽耕鬆土機因導輪高度問題，使得機具左右搖擺不穩，進而造成鬆土不均勻的現象；此機具在研製時使用較厚重之鐵材，導致整臺機具變得較重，可重新設計較輕的材料，減輕機具之重量。

誌 謝

本研究承蒙農委會主辦之科技計畫項下補助經費。中興大學生物產業機電工程學系盛中德教授、建國科技大學自動化工程系暨機電光系統研究所樂家敏教授斧正，以及農業機械研究室全體同仁鼎力配合協助，方得以順利完成，謹此一併誌謝。

參考文獻

1. 林楨祐、陳甘澍、林照能 2009 東方甜瓜之設施栽培技術介紹 農業試驗所技術服務 80: 8-10。
2. 郭魁士 1980 土壤學 p.451-461 中國書局印行。
3. 園村光雄 1995 農業機械學 p.95-125 科技圖書股份有限公司。
4. 鄭允誠 2011 臺灣中小型農機耗能調查及中耕鋤草機電動化評估與研製 碩士論文 嘉義：國立嘉義大學生物機電工程學系(所)。
5. 盧福明 1986 農產加工工程學 p.7-8 茂昌圖書有限公司。
6. 戴振洋 2009 設施番茄介質耕栽培技術 臺中區農業技術專刊 173:6-8。
7. 戴振洋、陳榮五、蔡宜峯 2006 牛番茄介質耕栽培技術 臺中區農業技術專刊。
8. 關昌揚 1997 農業機械學概論 p.227-243 徐氏基金會 臺灣 臺北。

Development of A Electric Groove Tillage Machine Used in Media Culture ¹

Hao-Ming Wu, Chin-Yuan Chang and Yun-Sheng Tien²

ABSTRACT

A electric tillage machine for loosening the media in groove was developed. The electric motor is used to replace gasoline engine as power source. The power was split into two departments: one portion is transferred to tillage blades; the other is transferred to travel wheel. The machine can move and work in the soil trough. The dimensions of the electric groove plow cultivators are length 635 mm, wide 390 mm, height 500 mm, total weight 38.5 kgf, can be equipped with disc, blade and claw type of tillage blades to till soil. The results show that this cultivator for loosening the groove media is twice faster than by labor, the medium grain residual rate and soil particle fineness are 8.48%, 1.86 mm, respectively. The developed electric groove tillage machine is proved to save work time and improve work efficiency.

Key words: electric, cultivators, cultural groove

¹ Contribution No. 0909 from Taichung DARES, COA.

² Assistant, Assistant Agricultural Engineer and Associate Agricultural Engineer of Taichung DARES, COA.