

噴霧灌溉系統改良之研究¹

吳浩銘、張金元、田雲生²

摘 要

為提升定置式噴霧灌溉系統功能，本研究除改良噴霧機具原有缺失，亦針對噴霧灌溉作業增設噴霧水回收裝置，回收多餘水分重複利用。以塑膠布鋪設在栽培床架下方，使噴霧管路下方形成集水裝置，過多之水分即會延著傾斜的塑膠布流至底部，匯集後再導向出水口加以過濾與儲存，即完成回收過程。系統經性能試驗結果顯示，噴霧壓力設定為 35 kg/cm^2 ，噴霧系統平均供水量為 155 ml/sec ，回收量約為供水量的72%，確實達到節水的目的。

關鍵字：噴霧灌溉、回收裝置、噴霧機

前 言

近年來人們崇尚健康自然，由於西藥之藥性及副作用，以及長期服用後產生之抗藥性，讓人類對化學藥品產生疑慮，因此人們正追尋天然藥物及療法⁽²⁾。目前許多植物根系含藥用特性成分尤多，可經萃取、加工製成中藥產品，但現行栽培法以土耕居多，土壤的養分難以控制，加上採收後根部清洗及連作障礙等問題；若能採用離地或立體化栽培管理，並結合設施及噴霧灌溉機械化作業，將可解決此問題，又可達到節能減廢的目的^(3,6)。噴霧灌溉係利用一套專門設備與技術，將高壓水，射到空中形成小水滴狀，並附著到植栽上的灌溉方式⁽⁵⁾。噴霧後之水分，可予以回收處理再利用，不僅直接減少灌溉用水量，且符合農業節水生產的目的，上述原理可應用在噴霧栽培管理上。於栽培床架上放置一張承網，用以放置植栽端盤，使植物根系暴露在空間中，水分加壓後經由高壓噴頭，直接噴在植物的根部，滴落的水分由回收裝置回收至儲存桶中⁽⁴⁾。

本場先期已試制定置式及往復移動式2型噴霧灌溉系統⁽¹⁾，且經過性能試驗及成本上考量評估，建議針對定置式噴霧灌溉系統進行改良，因定置式噴霧灌溉系統組成架構簡單，且成本低，其噴霧顆粒較粗、水量足夠，作物成長效果較好，但在高壓霧化情況下，所需水量大恐會形成浪費，且高壓管線經長時間使用而造成管路龜裂與接頭漏水，導致水壓下降、水分無法霧化而使系統停擺。本研究利用薏苡為試驗作物，針對定置式噴霧灌溉系統之缺失，尋找可替代高壓管線之資材及以回歸水回收再利用之原理，增設噴霧水回收裝置，回收噴霧後多餘之水分，經處理後再利用，以達到節水之目的，並降低用水成本。

¹ 行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第0856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

本研究針對定置式噴霧灌溉系統⁽¹⁾增設噴霧水回收裝置，使系統功能更加完善，具定時定量噴霧，除將供給作物所需水分霧化噴於根部外，並將過多之水分回收，以達到減廢及節水之目的。

一、原有噴霧灌溉系統之缺失改良

- (一)噴霧系統在高壓霧化情況下，供水量大多超過而形成浪費，本研究規劃增設噴霧水回收裝置，將噴霧過量之水分集中回收處理。
- (二)原有高壓管線經長時間使用下，造成高壓管路變質龜裂與接頭漏水，導致水壓下降、水分無法霧化而使系統停擺，尋找可替代高壓管線之資材，如PVC管、不銹鋼管及銅管等取代，以解決上述之缺失。

二、噴霧水回收裝置功能設計原則

- (一)集水(回收)部：於噴霧作業中，過多之水分應予以回收，使其達到循環再利用，以節省水資源。
- (二)過濾設施：將回收水中所含雜質予以過濾處理。
- (三)儲水設施：儲存過濾後之回收水，作為噴霧之水源。

三、噴霧水回收裝置設計規劃及作業流程

(一)噴霧水回收裝置設計規劃

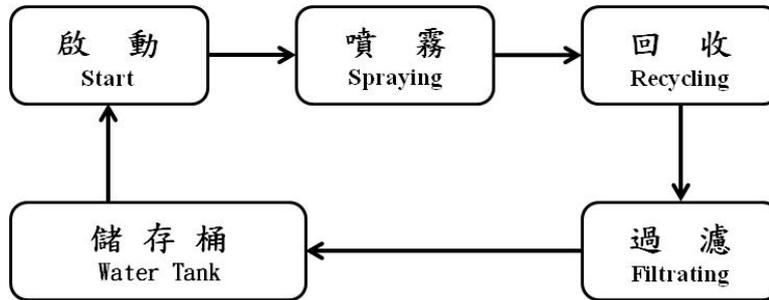
定置式噴霧灌溉系統之栽培架係採用外徑3/4"鋁管材料，組裝成雙層平面式立體栽培架，上層為栽培藥用作物，下層空間內部進行噴霧作業，霧化水分散佈於此區域，供給藥用作物根部吸收與成長。在噴霧管路下方及兩側，採用塑膠布鋪設，使整條噴霧管路在塑膠布內，回收噴霧過多之水分，經過濾裝置濾除雜質後回流至儲水桶內，完成整個系統之水循環。

(二)噴霧水回收流程

定置式噴霧灌溉系統之噴霧啟閉受時間控制器所控制，當達到設定噴霧時間時，噴霧水由儲水桶內經高壓動力噴霧機加壓，經由PVC管及噴頭後，霧化散佈於栽培區，使得噴霧水附著於作物根部上，過多噴霧水則經由斜向塑膠布回流，朝出水口處匯流，經過濾裝置後，再回到儲水桶內，等待下次噴霧時間到達，再進行下一次噴霧作業之循環。其作業方式如下圖一所示。

四、試驗設備與材料

- (一)試驗設備：試驗改良後之定置式噴霧灌溉系統及其噴霧水回收裝置。
- (二)量測儀器：計時器(CABORT 168，精度0.01 sec)、電子秤(英展MTCH，精度0.01 kg)、量杯等。
- (三)供試作物：薏苡(品種：臺中3號)。



圖一、定置式噴霧系統作業方式

Fig. 1. Performance of the stationary spraying system

五、噴霧水回收裝置試驗項目及測試方式

(一)供水量試驗方法：定置式噴霧灌溉系統採用吸水形式，將吸水管置於水桶內，並放置於電子秤上，於水桶內加水至固定重量約10 kg，待噴霧完後，扣除電子秤量得之剩餘重量，即為噴霧供應之水量，以機械式時間控制器設定10、20及30 sec分別進行噴霧，每個時間各試驗5次求平均值。

(二)回收水量試驗方法：進行連續及間歇2種模式試驗，2種模式設定說明如下：

- 1.連續模式為不使用噴霧系統控制參數設定，當量測完一次回收水量試驗後，即進行下一次量測試驗。
- 2.間歇模式則使用噴霧系統控制參數設定，噴霧時段設定為早上6時開始至下午5時關閉，夜間時段設定每2小時噴霧一次，日間時段每噴霧20 sec後停止噴霧，間隔15 min後再噴霧之方式進行試驗。

其試驗設定於塑膠布低出水口處(匯流口)放置量杯，以回收噴霧回流之水量，並用電子秤量測噴霧後之回收水量。將噴霧時間設定為20 sec，並收集從噴霧啟動至停止後，靜置5 min內之回收水量(設定靜置5 min之時間參數為初期試驗時，於5 min時已呈現滴漏狀，故設定此靜置時間參數以求試驗準確性)，使回收水完全回流入量杯內。

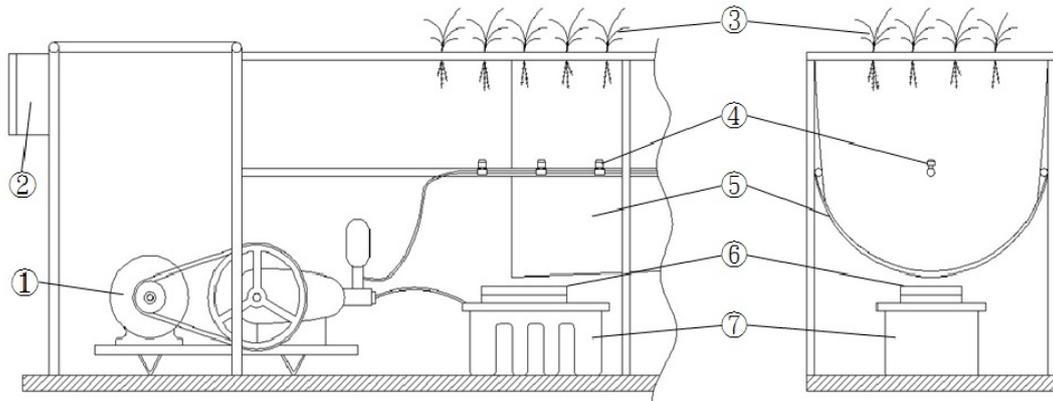
(三)作物噴霧試驗：以薏苡為栽種試驗對象，進行噴霧灌溉試驗，為預防缺株情況發生，先將薏苡種子經預措發芽後，即移植於培養土介質中，並放置於噴霧灌溉系統進行作物栽培。其管理條件採間歇模式，觀察薏苡生長情況，並調查根部長度、鮮重、乾重等結果。

結果與討論

一、依據噴霧灌溉系統設計規劃原則，試驗改良原有設備缺失，包括：噴頭更換、高壓管線材質替換等；並研制定置式噴霧灌溉系統之噴霧水回收裝置。其中定置式噴霧灌溉系統，採用管路噴霧作業模式，以PVC管材取代原本之高壓管線⁽¹⁾，解決因長時間使用而造成管路變質龜裂與接頭漏水，導致水壓下降，機具運作不良或無法運作等問題，使系統功

能達到較完善狀態，並每隔約0.5 m裝設1只實心錐形噴頭，進行噴霧作業，如圖二所示。回收裝置則利用重力，以塑膠布在噴霧區下方，承接噴霧後滴落之水分，其主要組成架構包括：

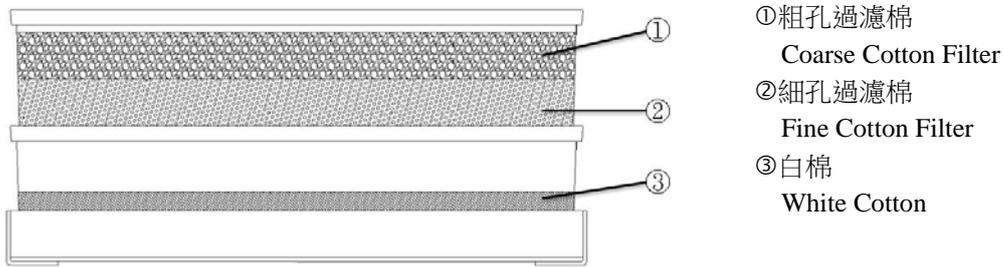
- (一)造霧裝置：採用高壓動力噴霧機為造霧動力，在噴霧過程中將水分以高壓方式由PVC管輸送經噴頭霧化而向上噴灑，使得栽培架下層空間形成水霧濛濛的狀態。
- (二)回收裝置：在噴霧管路下方及兩側鋪設塑膠布，塑膠布高低差之斜度為1：25，使整條噴霧管路在塑膠布內，當噴霧作業時，過多之水分即會沿著兩側塑膠布滑落至底部匯集後，再流向低出水口處，並經由過濾裝置濾除雜質，使水分回流至儲水桶內。
- (三)過濾裝置：過濾盒為壓克力材質，尺寸為長30 cm×寬17.5 cm×高7 cm，利用兩個過濾盒堆疊，並放置三片過濾棉以增加過濾效果，過濾棉放置由上至下順序為：粗孔過濾棉、細孔過濾棉及白棉，使回收水中之雜質留滯於過濾棉上(如圖三、四所示)，髒污則予以清洗或更換。
- (四)控制裝置：以機械式定時器、計時器、繼電器、電磁閥等元件進行機電整合，可依作物生長所需條件進行調整各項控制。



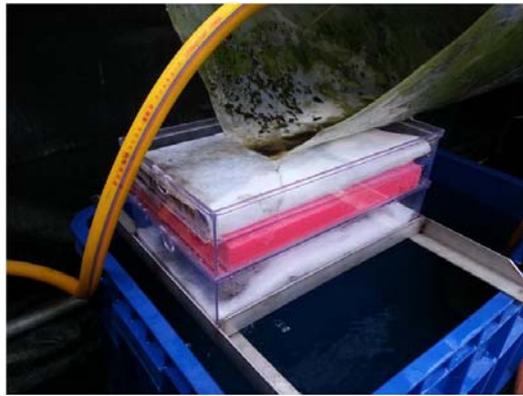
- | | | | |
|-------|----------------|-------|-------------------|
| ①造霧裝置 | Fogging device | ⑤回收裝置 | Recovery device |
| ②控制裝置 | Control device | ⑥過濾裝置 | Filtration device |
| ③作物 | Crops | ⑦儲水桶 | Storage tanks |
| ④噴頭 | Nozzles | | |

圖二、噴霧灌溉系統之噴霧水回收裝置示意圖

Fig. 2. The structure diagram of mist irrigation systems with water recovery device



圖三、過濾裝置示意圖
Fig. 3. Structure diagram of the filter



圖四、過濾裝置實物照
Fig. 4. A picture of the filter

二、供水量試驗結果：試驗區噴霧管路長為7.5 m，裝設12顆實心錐形噴頭，試驗結果如表一所示。其噴霧作業時間與噴霧供應之水量成正比關係，且噴霧10 sec、20 sec及30 sec之平均噴霧量分別為155.5、159.4及150 ml/sec，此可供操作者設定噴霧水量多寡之參考依據，使整體灌溉系統噴霧控制方面更精準、更節省水資源。

表一、供水量試驗結果

Table 1. Results of water supply test

Simpling time	Water supply (ml)		
	10 sec	20 sec	30 sec
1	1,561	3,190	4,503
2	1,559	3,180	4,502
3	1,549	3,198	4,498
4	1,552	3,190	4,501
5	1,556	3,186	4,498
Average	1,555	3,188	4,500

三、回收水量試驗結果：連續模式之噴霧水量及回收水量試驗結果如表二、表三所示。由表二中第一次之水回收率為56.1%，與2~6之水回收率介於77.7%~84.5%之間，約差21.6%，觀察發現在連續模式中，第一次噴霧因管路內有空氣，使得在相同時間下，所噴出之水量較少，也因作物栽培介質吸收水量尚未達到飽和狀態，以致噴出水量被栽培介質吸收較多，因此回收水量僅回收1,664 ml。後續的試驗，尤其在於第五、六次試驗時，因連續試驗使得栽培介質已吸水飽和，故回收水量有逐漸增加現象。

在間歇噴霧模式中，由於栽培介質吸收水量由表三結果顯示，回收水量平均為72.1%。

表二、連續模式之回收水量試驗結果

Table 2. The testing results for water recovery via the continuous mode

Sampling time	Water supply (ml)	Water recovery (ml)	Water consumption (ml)	Water recovery Percentage (%)
1	2,965	1,664	1,301	56.1
2	3,190	2,478	712	77.7
3	3,180	2,583	597	81.2
4	3,197	2,508	689	78.4
5	3,190	2,675	515	83.8
6	3,186	2,692	494	84.5
Average	3,188	2,587	601	81.1

表三、間歇模式之回收水量試驗結果

Table 3. The testing results for water recovery via the intermittent mode

Sampling time	Water supply (ml)	Water recovery (ml)	Water consumption (ml)	Water recovery Percentage (%)
1	3,157	2,230	927	70.6
2	3,143	2,318	825	73.7
3	3,145	2,252	893	71.6
4	3,149	2,261	888	71.8
5	3,148	2,290	858	72.7
Average	3,148	2,270	878	72.1

經連續模式及間歇模式比較後，因介質吸收水量程度的關係，導致連續模式的回收水量較高，平均約81%，而間歇模式回收水量平均約72%，由於使用15孔端盤栽培薏苡，每個端盤只栽種8株薏苡，仍有部分空隙未遮蔽到，致噴霧水溢出；如有進行較完整性遮蔽，其回收水量將可再提高。

四、薏苡作物噴霧試驗結果：薏苡種子經預措發芽後，於2014年3月31日移植薏苡32株於培養介質上，直至2014年5月28日進行第一次薏苡根部採收，薏苡根部採收前的生長情況如圖

五、六所示。採收時，編號29之薏苡因位於角落，離噴頭較遠，因水分不足而枯死，本次採收之薏苡根部為31株的產量，損失1株。調查結果如表四所示，薏苡鮮根總重為92.65 g，經乾燥作業後，薏苡總乾重為14.33 g，總水分重為78.32 g，其含水率為84.5%。薏苡根部分布情況如表五所示，因第一次採收薏苡根，每株之根數平均為4~5支，且根長分布介於40~110 cm區間。於採收過程中，發現編號23~32之薏苡，因距離噴頭較遠，吸收較少之噴霧水量，根部生長情況有較緩慢現象發生，如圖七紅框所示，其根長分布在0~40 cm區間。另在薏苡根部採收時，因受到回收裝置高度的影響，根系生長過長而留於回收裝置底部上，並產生根纏繞現象。



圖五、薏苡生長情況

Fig. 5. The Job's tear growing in the spray irrigation device



圖六、薏苡根部生長情況

Fig. 6. Root growth of Job's tears in the spray irrigation device

表四、薏苡根部水分含量變化

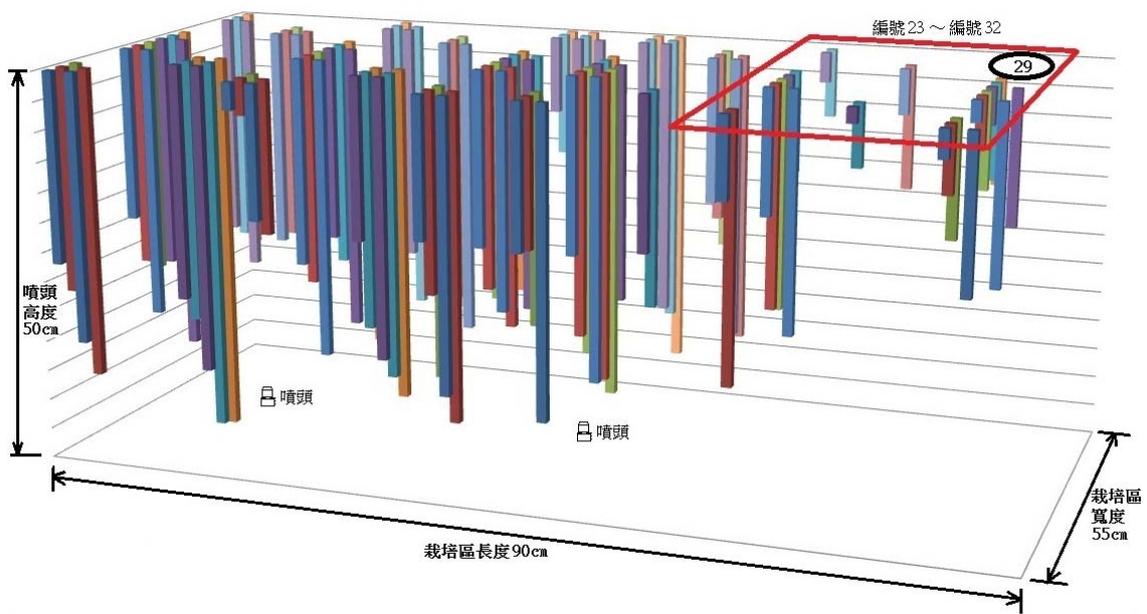
Table 4. The moisture content of job's tears

Sample Number	Fresh Weight (g)	Dry Weight (g)	Moisture content (g)	Moisture Content (%)
1	4.24	0.65	3.59	84.7
2	3.33	0.53	2.81	84.2
3	4.47	0.62	3.85	86.1
4	6.66	0.74	5.91	88.8
5	4.35	0.71	3.64	83.7
6	9.85	1.08	8.77	89.1
7	4.56	0.80	3.76	82.5
8	1.92	0.37	1.55	80.6
9	3.55	0.54	3.01	84.8
10	0.60	0.10	0.50	83.9
11	3.60	0.52	3.07	85.4
12	6.98	0.99	5.99	85.8
13	3.35	0.58	2.77	82.7
14	2.63	0.50	2.13	80.9
15	4.03	0.59	3.44	85.4
16	4.14	0.68	3.46	83.7
17	4.70	0.78	3.91	83.3
18	1.09	0.22	0.87	79.7
19	7.41	1.13	6.29	84.8
20	1.85	0.33	1.52	82.2
21	2.71	0.48	2.24	82.4
22	0.85	0.15	0.70	81.8
23	0.25	0.06	0.20	77.2
24	0.15	0.04	0.11	70.5
25	2.16	0.37	1.79	82.7
26	0.75	0.18	0.57	75.8
27	0.36	0.09	0.27	76.2
28	0.07	0.02	0.05	66.6
29	-	-	-	-
30	0.96	0.21	0.75	78.1
31	0.81	0.19	0.62	76.6
32	0.28	0.08	0.21	73.2
Total	92.65	14.33	78.32	84.5

表五、薏苡根長範圍分布變化

Table 5. The root length of Job's tear roots

Root Length Range (cm)	Root Number
0~10	4
10~20	5
20~30	6
30~40	7
40~50	14
50~60	12
60~70	9
70~80	19
80~90	17
90~100	19
100~110	15
110~120	2
120~130	2



圖七、薏苡根長與噴頭相對位置

Fig. 7. The Job's tear root length and the relative position of the nozzle

結論與建議

定置式噴霧灌溉系統改良原有缺失及增設噴霧水回收裝置，其組成架構簡單且成本低，經試驗發現，在噴霧壓力設定為 35 kg/cm^2 ，機具噴霧供水平均每秒噴霧量為 155 ml ，噴霧過多之水分經回收裝置回收，其回收水量平均為 72.1% ，降低水分過多造成浪費之現象，可達節省水資源之目的。

以32株薏苡進行59天噴霧試驗，經試驗結果顯示，在噴霧水分充足下，薏苡成長效果好，薏苡鮮根總重 92.65 g ，經乾操作業後，薏苡乾重 14.33 g ，其含水率為 84.5% 。由於定置噴頭間距因素，薏苡根系生長有出現不均勻之現象；又因回收裝置高度影響，在薏苡根部採收時，因根系生長過長而留於回收裝置底部上，並產生纏繞問題，不利根部採收作業，建議調整回收裝置的高度或提早採收薏苡根部，即可解決纏繞問題。

未來可針對噴頭間距的調整、提高供水均勻度、降低噴霧水量、提高回收水量及薏苡栽培模式等，使定置式噴霧灌溉系統作業性能更加完善，並建立機械化噴霧作業模式供生產者使用。

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. 吳浩銘、張金元、陳裕星、田雲生 2013 霧耕栽培用噴霧機具之研製 臺中區農業改良場研究彙報 121: 35-47。
2. 郭寶錚 2005 中草藥栽培及儲存之病蟲害調查與防治 中醫藥年報 23(7): 219-256。
3. 張祖亮 2001 設施栽培環境監測與控制 設施栽培自動化專輯 p.1-20。
4. 馮丁樹 2006 網室及養液栽培裝置 國立臺灣大學生物產業機電工程學系
5. 董克宝、何俊仕 2007 淺析現代節水農業 安徽農業科學 35(16): 4937-4938。
6. 賴建洲、周廷弘、梁連勝 1997 太空包香菇環控立體多層栽培生產之研究 中華農業研究 46(2): 158-166。

Improvement on the Spray Irrigation System¹

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

ABSTRACT

In order to develop comprehensive functions of a fixed-mounted spray irrigation system, the purpose of this study are to improve the defects and to add the water recovery device, which will have water saving effort. The plastic sheet, laid under the cultivation frame to construct the water recovery chutes. Excess sprayed water will flow into the recovery is chutes and return to the water tank in the bottom. The recovery water will be further treated and stored in the water reservoir, and the water recovery work has been done. The developed system has been further tested to have the following performances: water pressure is 35 kg/cm², average water supplement rate is 155 mL/sec, and the recovery percentage is 72% for the intermittent mode, indeed achieve the purpose of saving water.

Keywords: spray irrigation, recovery device, sprayer

¹ Contribution No. 0856 from Taichung DARES, COA.

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