

曳引機附掛式甘藷苗插植機之研製

林建志¹ 邱相文^{2,*}

摘要

林建志、邱相文。2024。曳引機附掛式甘藷苗插植機之研製。台灣農業研究 73(1):63–69。

本研究目的係開發一臺適合臺灣甘藷產業用之插植機械，將甘藷插植作業機械化與自動化，減少農民勞力輸出，提升田間作業的工作效率，增加甘藷產業競爭力，提高農民經濟所得，並達到農業輕勞力化，吸引年輕一代從事農業工作。本研究開發之甘藷苗插植機係利用傳統曳引機附掛式插植機構進行改良，採用人工供苗方式，平均直線速度為 1 m s^{-1} ，行距 105 cm，株距 25 cm，插植深度 5–10 cm，作業效率約 $1,000 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$ ，平均缺株率約 3.6%，與人工作業效率差距不大，但其將傳統蹲姿插植轉變為坐姿插植，大幅度降低勞力輸出與減少工作傷害發生機率，可有效吸引年輕人投入甘藷產業。

關鍵詞：甘藷、插植、機械化與自動化。

甘藷為我國重要食用作物與活化休耕地作物之一，根據農業部農糧署統計資料 (http://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp)，2018–2022 年本土甘藷種植面積平均約為 9,168 ha，平均產量約在 223.7 千噸以上，每年產值平均約為 32.7 億元 (2018–2022 年甘藷平均售價為每公斤 14.61 元)，產業價值高，但是隨著農村人口老化與勞力大量外移之關係，導致甘藷在種植 (插植) 時缺乏大量人工，故甘藷產業實有機械化與自動化之必要。

理想藷苗必須是生長機能旺盛，節間短，節數 7–8 節，有 5–6 枚以上葉片，且莖粗大，強壯與長度約 25–30 cm 的先端苗或二節苗。為配合機械作業採收，行距寬為 120 cm，株距 25–30 cm，每公頃約種植 28,000–33,000 株。插植方法直接影響甘藷塊根形狀的好壞、塊根的大小及收量的多少，因為近地面的節所生的藷數較多且大，品質較為優良。

目前於產業界幾無甘藷苗插植機械可使用，國人於 1986 年即已參考美國製二行式甘

藷苗插植機研究開發的曳引機承載單人雙行盤式甘藷苗插植機，已能達成水平淺插的目標。Chang (2002) 於 2000 年時曾研製改良甘藷插植機具，其附掛於約 7.457 kW 乘座式水稻插秧機，人工乘坐於機器骨架上供苗。而插植機構設計為圓盤挾持式，以水平淺插方式種植，工作效率為 3.8 h ha^{-1} 。在國外機型方面，日本發展舟式插植機構，大都以 1 人操作伴行與供苗，但作業速度不高，國內幾無引進應用。

國內外有許多學者研究插植機構，研究方向聚焦在插植機構的運動學分析，並找出其最佳化設計，例如 Yu *et al.* (2009) 從事偏心齒輪與偏圓齒輪插植機構運動學分析；Chen *et al.* (2010) 針對蔬菜移植機進行分析，利用 Visual Basic 模擬機構動作，找出蔬菜移植的最佳化動作；Guo & Zhang (2001) 對偏心行星齒輪進行運動學分析，找出偏心行星齒輪的運動學模型藉以提出改良方案。以上，並未包含甘藷插植作業機械或自動化的相關研究。因此，本研究目的在於開發一套適用於臺灣本土

投稿日期：2023 年 7 月 19 日；接受日期：2023 年 12 月 27 日。

* 通訊作者：chiusw@tari.gov.tw

¹ 農業部農業試驗所農業工程組助理研究員。臺灣 臺中市。

² 農業部農業試驗所農業工程組副研究員。臺灣 臺中市。

環境之甘藷插植機械，將插植作業機械化與自動化，提升工作效率，降低栽培成本，間接提高農民經濟收益。

下列將依甘藷苗插植機製作與田間試驗，逐項描述與討論。

甘藷苗插植機：

甘藷苗插植雛型機之電腦模型係利用 3D 繪圖軟體 Inventor 繪製，圖 1A 即為甘藷苗插植機分解圖。完成後利用電腦繪圖軟體進行組裝，利用人工方式判讀各零件間之相關性，以減少設計上之錯誤，圖 1B 即為甘藷苗插植機組合圖。待完成電腦模型組裝與確認後，以工程圖方式輸出圖檔並進行零件試作與組裝，圖 1C 即為完成後之附掛式甘藷苗插植機。

甘藷苗插植機除了本體外，尚分成開溝機構、插植系統及覆土機構。開溝機構係由 2 個圓盤犁所構成，位置在插植機本體前端，主要

功能為破土開溝用。插植系統係由 1 個插植轉盤與 8 個插植機構所組成，位置在插植機本體中央，插植機構固定在插植轉盤上，係由夾取部(夾具)、固定部(置具)及扭力彈簧所構成，功能為進行甘藷苗夾持與插植。覆土機構係由 2 個鎮壓輪所組成，位置在插植機本體後方，主要功能為進行覆土壓實作業，並配合齒輪組帶動插植系統作動，為避免鎮壓輪因摩擦力不足而發生打滑現象，本研究在鎮壓輪上面焊有 12 片鐵塊以增加抓地力。

甘藷苗插植機作動原理：

甘藷苗插植機屬於曳引機附掛式，利用曳引機提供動力行走，首先由開溝機構進行破土開溝作業，之後再利用插植系統進行插植作業。插植系統為輻射狀，以人工方式進行供苗作業，當操作者將甘藷苗放在置具上並對其施力時，扭力彈簧會作動迫使夾具與置具合併藉

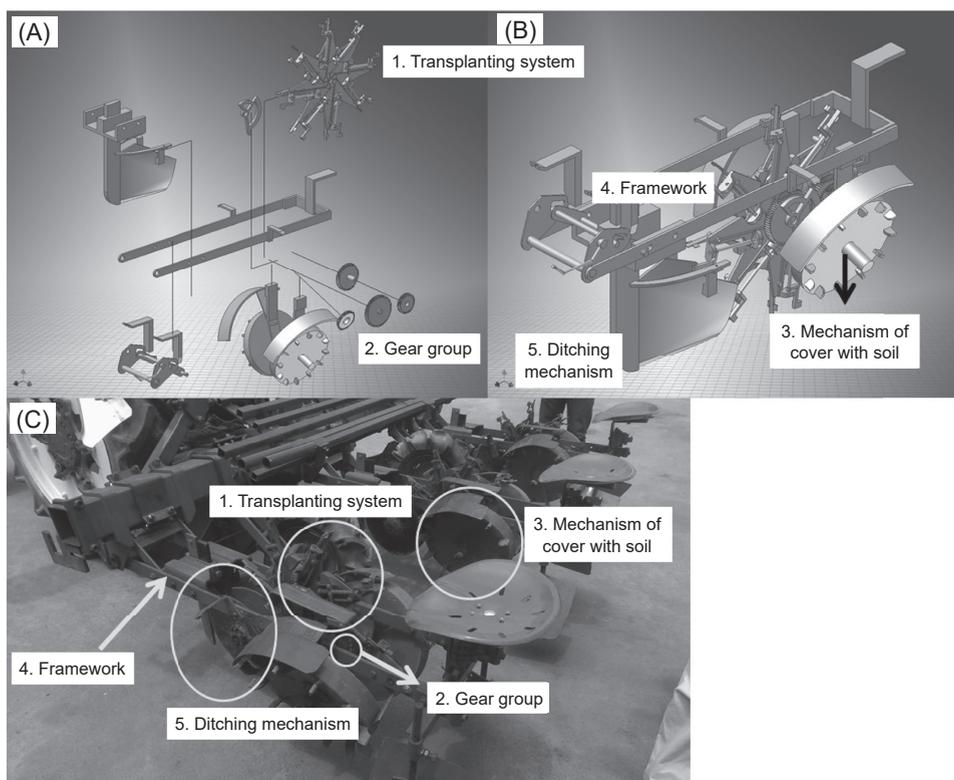


圖 1. 甘藷苗插植機。(A) 甘藷苗插植機分解圖；(B) 甘藷苗插植機組合圖；(C) 附掛式甘藷苗插植機。

Fig. 1. Sweet potato transplanter. (A) Exploded drawing of sweet potato transplanter; (B) assembling drawing of sweet potato transplanter; and (C) the tractor-mounted seedling transplanter for sweet potato.

以夾持甘藷苗，作業時鎮壓輪因曳引機移動開始旋轉產生動力，經由齒輪組輸出至插植轉盤，當插植轉盤運行至一定角度後，利用夾具上方特殊設計之機構配合插植機本體，迫使夾具與置具分離完成插植的動作，最後再由鎮壓輪進行覆土壓實作業。

式(1)係甘藷苗插植機株距計算公式，其中 d 係甘藷苗種植株距， D 係鎮壓輪直徑， e 則係齒輪比，可藉由調整鎮壓輪與插植系統間的齒輪比，或是鎮壓輪尺寸取得所需的插植株距。

$$d = \frac{\pi D}{8} \times e \quad (1)$$

插植型式則由開溝機構與插植系統相對位置所控制，若是配合得不好，將發生甘藷苗浮在土壤表層或整株埋在土壤等問題，導致插植失敗。

為找出開溝機構與插植系統之間的最佳相對位置，經由不斷試驗後，已找到最佳相對距離，為確認該位置是否屬於最佳化，遂進行甘藷插植試驗，研究增加或減少開溝機構與插植系統間的相對距離，對於插植成功率之影響。試驗水準依序為增加 (+ 5 cm)、正常 (0 cm) 及減少 (- 5 cm) 等 3 種，試驗方式為進行 3 次甘藷插植試驗，每次試驗插植 3 行，每行有 430 株甘藷苗，因此每次試驗有 1,290 株，計算因為開溝機構與插植系統相對位置改變，導致浮在土壤表面、埋在土壤內及插植成功數目，分別除以總插植甘藷苗數目計算百分比，藉此判斷線型設計之開溝機構與插植系統相對位置是否已達最適化。

田間試驗：

甘藷田間試驗田在嘉義新港頂菜園村，面積約為 0.2 ha (2,052 m²，長度 108 m，寬度 19 m) 之試區 3 塊，其土壤質地為砂質土，土質較為鬆軟且排水性良好。試驗田在作業之前，需先利用迴轉犁進行第一次翻土犁耕作業，以確保試驗田作業環境良好。

本機進行田間試驗設定行距為 105 cm，株距 25 cm，插植深度 5–10 cm，每試區每次可插植 18 行，每行約可插植 430 株甘藷苗，試驗項目共有直線速度、作業效率及缺株率

等 3 項。直線速度係本機在進行插植作業時，以直線距離 20 m 為基準，實際量測作業時間計算所得；當完成一行甘藷苗插植作業後，為了安全考量，操作者須要離開甘藷苗插植機，待機械舉升離開田間移動至另一行落地後，操作者方能乘上機械繼續操作，故轉彎時間因人為因素差異極大，不列入調查項目；作業效率係記錄甘藷苗插植機於每塊試驗田作業所需時間，取平均值計算所得；由於本機屬於人工供苗，常發生操作者供苗不及導致失敗，此部分損失我們稱之為供苗失敗數，供苗失敗率 (supply seedling failure rate) 即為供苗失敗數與本次試驗甘藷苗總數之比值計算其百分比所得；另一方面也會因農地之因素，導致部分甘藷苗未插入土壤內，此部分損失我們稱之為插植失敗數，插植失敗率 (transplant failure rate) 即為插植失敗數與本次試驗甘藷苗總數之比值計算其百分比所得；缺株率 (rate of vacant plants) 則為供苗失敗率與插植失敗率之總和。

本研究田間試驗之附掛式甘藷苗插植機如圖 1C 所示，其中曳引機需要 1 名駕駛，後面附掛 3 組甘藷苗插植機，每組需要 1 名操作者，共需 4 名操作者，每次動作可同時插植 3 行。圖 2 為附掛式甘藷苗插植機田間試驗情形，由圖可知試驗情況良好，本機可正常進行甘藷插植作業。

甘藷插植試驗結果如表 1 所示，其中 Type 1 為甘藷苗浮在土壤表面所占百分比，產生此種現象之原因為機構放苗時間太晚或是覆土時間太早，Type 2 為甘藷苗埋在土壤內所占百分比，產生此種現象之原因為機構放苗時間太早或是覆土時間太晚，Type 3 為甘藷苗插植成功所占百分比。

表 2 為附掛式甘藷苗插植機田間作業性能表，由表可知本機直線速度約為 1 m s⁻¹，轉彎時間介於 20–150 s 之間，作業效率約 1,060 m² h⁻¹，缺株率約 3.6%。

插植試驗完成後至試驗田調查甘藷苗栽培情形，圖 3A 為甘藷苗插植 1 mo 後田間生長情形，圖 3B 為收穫時之甘藷，由圖可知甘藷苗生長情況良好，機械插植不會影響甘藷生長，本機應可有效取代現在的人工插植方式。

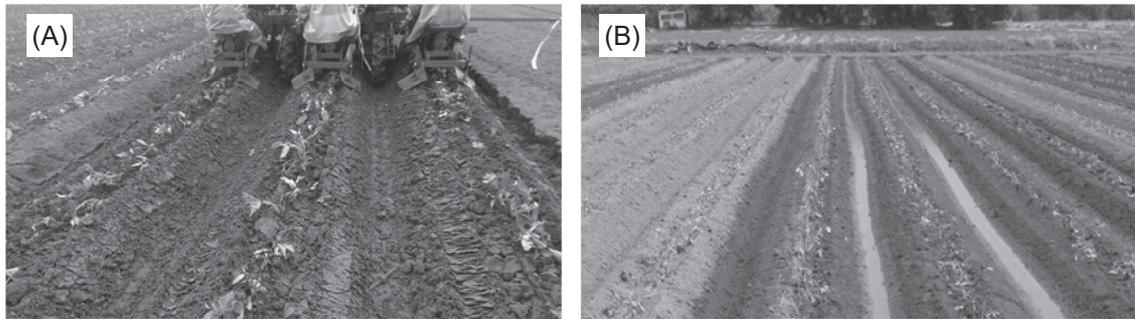


圖 2. 附掛式甘藷苗插植機田間試驗情形。(A) 本機進行插植試驗時；(B) 本機插植完成後之試驗田。

Fig. 2. Field trial situation. (A) Transplanting; and (B) after the transplanting experiment.

表 1. 插植成功率 (%) 試驗結果。

Table 1. Transplant success rate (%).

Characteristic	+ 5 cm			0 cm			- 5 cm		
	Type 1 ^z	Type 2 ^y	Type 3 ^x	Type 1	Type 2	Type 3	Type 1	Type 2	Type 3
First	2.6	35.6	61.8	0.6	1.0	98.4	38.7	7.2	54.1
Second	3.1	23.1	73.8	0.7	0.6	98.7	29.8	0.4	69.8
Third	4.5	29.8	65.7	0.9	0.9	98.2	32.4	9.4	58.2
Avg.	3.4	26.2	70.4	0.7	0.8	98.4	33.6	5.7	60.7

^z On the soil.

^y Inside the soil.

^x Correct.

表 2. 附掛式甘藷苗插植機田間作業性能表。

Table 2. Operation performance of the tractor-mounted seeding transplanter for Sweet Potato.

No.	I	II	III	Avg.
Area (m ²)	2,095.2	2,095.2	2,095.2	2,095.2
Speed (m s ⁻¹)	1.002	1.002	0.998	1.000
Time (s)	6,456	7,536	7,177	
Efficiency (m ² h ⁻¹)	1,168.33	990.57	1,023.87	1,060.92
Supply seedling failure rate (%)	2.2	2.1	2.1	2.1
Transplant failure rate (%)	1.9	1.0	1.5	1.5
Rate of vacant plants ^z (%)	4.1	3.1	3.6	3.6

^z Rate of vacant plants (%) = supply seedling failure rate + transplant failure rate.

從甘藷插植試驗得知不論是增加或減少開溝機構與插植系統相對位置，都會降低插植成功率，增加相對距離，Type 2 比例增加；減少相對距離，Type 1 比例則增加，由上述現象可判定，目前本機開溝機構與插植機構相對位置之設計已達最佳化。人工調查時缺株率除了人工供苗不及產生外，尚有因試驗田地因素導致

之插植失敗率，其造成原因，一為圖 4A 田區低窪，二為圖 4B 試驗田內有部分雜物，此兩點皆會造成土壤無法有效聚集，開溝機構無法正常作動，造成甘藷苗落在土壤表面，無法插植入土壤內，導致插植失敗，此部分可利用田間整地方式處理，若處理得當，可再降低本機缺株率。

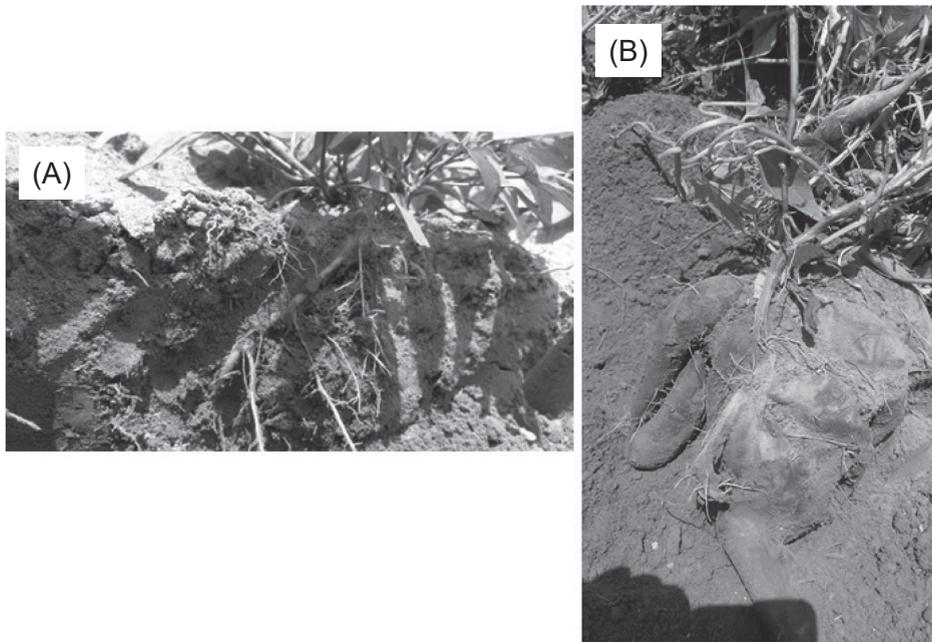


圖 3. 甘藷苗插植後田間生長情形。(A) 為插植後 1 mo；(B) 收穫時。

Fig. 3. Field growth situation. (A) One month later; and (B) when harvested.

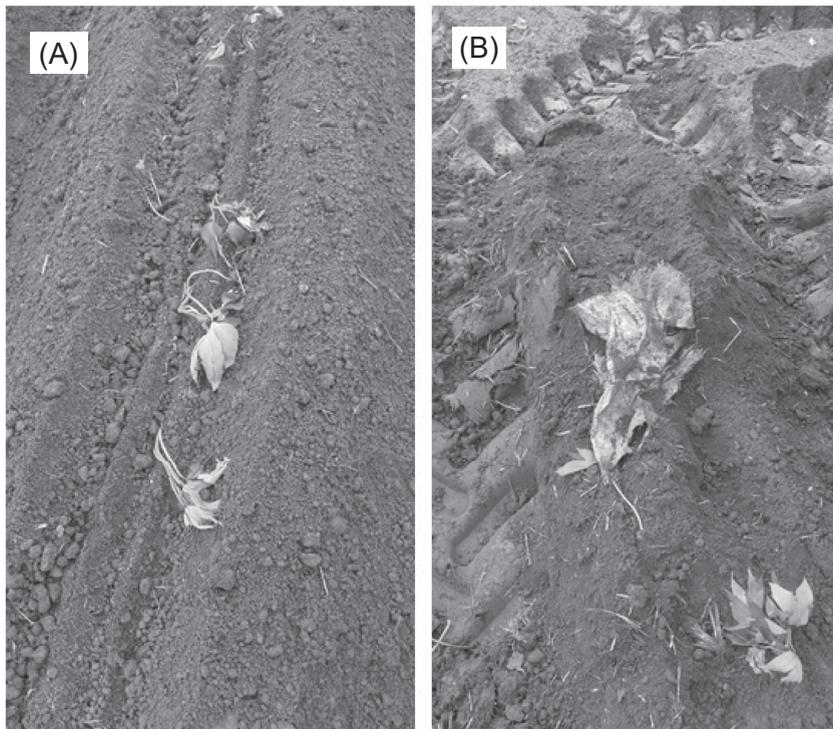


圖 4. 造成插植失敗原因。(A) 田區低窪；(B) 試驗田內有雜物。

Fig. 4. Reasons for failure of transplanting. (A) Low-lying place; and (B) there was debris in the field.

本研究開發之附掛式甘藷苗插植機(以下簡稱本機)與 Chang (2002) 研發之乘坐式甘藷苗插植機相似,屬於附掛式機械,並將操作者插植作業姿勢,由傳統蹲姿轉變為坐姿,將甘藷插植作業輕勞力化,降低工作傷害發生機率。Chang (2002) 研發的插植機構係採用圓盤夾持式,由 2 個直徑相同之圓盤構成,機構簡單,插植株距係利用圓盤上記號進行調整,由操作者目視記號供苗,容易因長時間精神集中造成眼睛疲勞,導致缺株現象產生,且屬於水平式淺插,並不適用於臺灣現行的甘藷產業;本機之插植機構係採用插植機構式,插植株距由齒輪比進行調整,操作者僅需將甘藷苗置於插植機構上,不易造成缺株,且屬於舟式淺插,符合臺灣甘藷產業現況。甘藷苗供苗方式兩機皆採用人工供苗,原因在於甘藷苗長度約 25–30 cm,節間短,節數 7–8 節,有 5–6 枚以上葉片,而插植株距約在 25 cm,以現行長度 100 m 之田地而言,每行需插植 400 株甘藷苗,若全部置於供苗盤上,其枝節容易互相勾纏,不易分離,若採用機械式強制分離,容易造成甘藷苗上的枝節與葉片掉落,影響品質,故兩機皆採用人工供苗,減少枝節或葉片掉落現象發生。

本研究已成功開發出附掛式甘藷苗插植機,並已找出開溝機構與插植機構的最佳化相對距離,可成功進行甘藷插植作業,依據田間試驗結果,本機甘藷苗插植行距為 105 cm,株

距 25 cm,插植深度 5–10 cm,作業效率約 1,060 $\text{m}^2 \text{h}^{-1}$,缺株率約 3.6%。造成缺株率主因包括:(1) 人工供苗不及,導致供苗失敗率;(2) 甘藷苗落在土壤表面,未插植入土壤內,造成插植失敗率。其中插植失敗率發生主因,係由試驗田地不良所衍生之問題,若透過整地方式加以管理改善,則可降低缺株率。本機將甘藷苗插植作業由傳統蹲姿轉變為坐姿,可將甘藷苗插植作業朝向輕勞力化,並降低工作傷害發生機率,期可吸引年輕農民投入甘藷產業。

引用文獻

- Chang, C. F. 2002. The study and improvement of a riding type transplanter for sweet potato. Bull. Taoyuan Dis. Agric. Res. Exten. Stat. 49:15–23. (in Chinese with English abstract) doi:10.29567/ZH-WHGX.200206.0002
- Chen, J., B. Wang, G. Ren, and Q. Huang. 2010. Kinematics modeling and parameters analysis of seven-linkage vegetable seedling transplanting mechanism. Trans. Chin. Soc. Agric. Mach. 41(12):48–53. (in Chinese with English abstract) doi:10.3969/j.issn.1000-1298.2010.12.010
- Guo, L. S. and W. J. Zhang. 2001. Kinematic analysis of a rice transplanting mechanism with eccentric planetary gear trains. Mech. Mach. Theory. 36:1175–1188. doi:10.1016/S0094-114X(01)00052-0
- Yu, G. H., M. B. Qian, Y. Zhao, and C. Y. Wu. 2009. Analysis of kinematic principle of transplanting mechanism with eccentric gears and non-circular gears. Trans. Chin. Soc. Agric. Mach. 40(3):81–84. (in Chinese with English abstract)

Development of Tractor-Mounted Seedling Transplanter for Sweet Potato

Jian-Jhih Lin¹ and Hsiang-Wen Chiu^{2*}

Abstract

Lin, J. J. and H. W. Chiu. 2024. Development of tractor-mounted seedling transplanter for sweet potato. *J. Taiwan Agric. Res.* 73(1):63–69.

The purpose of this study was to develop a transplanting machine to meet the demand of Taiwan's sweet potato industry, to actuate the mechanization and automation of the sweet potato planting operation, as well as to reduce the farmers' labor. This study also intended to improve the efficiency of field operations and economic income, the competitiveness of the sweet potato industry to achieve labor-saving in agriculture and to attract the younger to engage in agricultural operations. The sweet potato transplanting machine developed in this research is to reform the traditional tractor-mounted type of transplant mechanism, which adopts a manual seedling feeding method. Field experiments revealed that with the average linear speed of 1 m s^{-1} , row spacing of 105 cm, plant spacing of 25 cm, and planting depth of 5–10 cm, the operating efficiency is about $1,000 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1}$, and the average of the planting loss rate is about 3.6%. There was no difference in operation efficiency of using this machine as compared with the manual. However, it changes the working posture of seeding supplying workers from the squatting position to the sitting position, thus saving labor and reducing the incidence of work-related injuries and attracting young people to work in the sweet potato industry.

Key words: Sweet potato, Transplant, Mechanization and automation.

Received: July 19, 2023; Accepted: December 27, 2023.

* Corresponding author, e-mail: chiusw@tari.gov.tw

¹ Assistant Research Fellow, Agricultural Engineering Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.

² Associate Research Fellow, Agricultural Engineering Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung City, Taiwan, ROC.