

曳引機附掛式植茶機之測試與改良

黃惟揚* 劉天麟¹

摘 要

本研究目的為設計開發一台半自動茶苗植茶機，期能促進茶苗種植機械化，降低茶苗種植人工成本，解決農村勞力缺乏的問題。本研究的種植機械主要架構包含傳動機構、盛苗轉盤與開溝種植機構。盛苗轉盤有左右 2 組，設計為每組具有 6 個高度 15 cm 及直徑 10 cm 之圓筒形盛苗杯，操作者將茶苗取出置入盛苗杯中即可，當盛苗杯轉至落料口時，底部遮板會自動打開，盛苗杯中的茶苗便落入開溝種植機構，開溝種植機構之落苗口前方有犁頭，當茶苗經落料口插入土壤後，二側犁頭撥開的土會自動回填，使茶苗能直立埋入溝底。植茶機以 40 馬力以上曳引機為動力源，植茶機長 120 cm，寬 180 cm，高 180 cm。適用於寬度 160-180cm 溝底種植雙排茶樹茶苗，植株左右行距可調整 20-40cm，前後株距可調整 40-60cm。植茶機一天可作業 1 公頃，採單排種植效率為人工種植之 5 倍，採雙排種植效率為人工種植之 6 倍。

關鍵字：植茶機、缺工、茶苗

前 言

為解決缺工問題，近年茶業改良場大力導入乘坐式採茶機作業 (黃等, 2017)，但適合乘坐式採茶機作業之茶園行距規格為 160-180cm，臺灣早期茶園種植行距小於 160cm，且部分茶園邊界有駁坎與裸露灌溉設施阻礙乘坐式採茶機作業。茶園導入乘坐式採茶機，需從茶園更新做起，並建置符合乘坐式採茶機作業之茶園，且規模需達 5 公頃以上才具機械化作業之經濟效益，更新茶園面積有逐年增加趨勢。

茶苗種植屬人力作業，需蹲在地上掘土種植 (如圖一)，人工種植約 600-800 株/天，若採單行種植需茶苗 12,000 株/公頃，需 15 人天種植；若採雙行種植每公頃需茶苗 24,000 株/公頃，需 30 人天種植。近年缺工問題逐年嚴重，茶苗種植人力逐年匱乏，造成茶園更新速度受到阻礙。為解決種植缺工問題，本場研發「曳引機附掛式植茶機」(簡稱植茶機)，期能解決種植缺工問題。

材料與設計方法

一、曳引機附掛式植茶機設計：

本場開發半自動植茶機採構造簡單、不易損壞設計。植茶機主要架構有 1 組傳動機構、2

1. 行政院農業委員會茶業改良場 助理研究員、副研究員兼課長。臺灣 桃園市。

* 通訊作者

組盛苗轉盤機構與 2 組開溝種植機構 (如圖二及圖三)，各機構說明如下：

(一) 傳動機構 (1 組)：

主要由接地輪與鍊條組成，曳引機拖動植茶機帶動接地輪旋轉，接地輪提供旋轉動力藉由鍊條輸送到盛苗轉盤機構控制落苗速度 (如圖二)，故曳引機行走距離與茶苗前後距離會維持固定比例。若需調整種植前後種植株距 (如圖四符號 S)，則在傳動機構上調整變速齒輪大小 (如圖四符號 r_2 及 r_3)，進而調整茶苗種植前後株距離，種植距離與變速齒輪之關係式為 $S \propto r_3/r_2$ 。

(二) 盛苗轉盤機構 (2 組)：

盛苗轉盤機構有左右 2 組 (如圖三)，每盤有 6 個高度 15cm 且直徑 10 cm 之圓筒形盛苗杯，可分別預投 6 株苗，當盛苗杯轉至落料口時，底部遮板會自動打開，盛苗杯中的茶苗便落入開溝種植機構。

(三) 開溝種植機構 (2 組)：

開溝種植機構之落苗口前方有犁頭 (如圖二下方)，當茶苗經落料口插入土壤後，犁頭撥開的二側土會自動回填，使茶苗能直立埋入溝底，同時可藉由調整犁頭深度來調整茶苗種植深度。

二、種植試驗：

調查植茶機種植及作業情形，包括其整地規格、茶苗規格、植茶機操作方式及調查方式整理如下：

(一) 試驗地點與時間：

108 年 1 月 30 日花蓮瑞穗茶區 (清風茶行對面，如圖五)。

(二) 種植前之整地規格：

1. 茶園坡度需低於 15 度，否則大型曳引機作業容易翻覆。
2. 耕犁深度需 100-120cm，以打破犁底層。
3. 鬆土深度需 40-60 cm 深，以粉碎大型土塊。
4. 田間石頭、大型雜木及垃圾 (如塑膠布) 需清除，否則會降低種植成功率。

(三) 植茶機之操作方式：

1. 植茶機附掛於 40 hp 以上履帶式曳引機。
2. 需 1 人駕駛曳引機，2 人坐在植茶機座椅上投苗。
3. 種植時若發現連續倒株情形，需暫停作業，並清理植茶機犁頭雜物。
4. 建議等高線種植，若因地貌或道路需沿坡種植，需由低處往高處作業。

(四) 茶苗規格：

1. 種植方式：雙排種植。
2. 種植品種：臺茶 17 號 (白鷺)。
3. 塑膠袋苗種植前需先脫除塑膠袋，並將茶苗剪除過長枝葉，留下長度為 30-50 cm。

(五) 調查方式：

1. 調查曳引機附掛式植茶機種植情形，紀錄植茶機作業異常之原因。
2. 隨機選取 5 處 (隨機取 A、B、C、D、E)，調查方式說明如下：

- (1) 調查茶苗種植之左右株距 (雙排種植) 10 筆數據
 - (2) 調查茶苗種植之前後株距 (單側的前後) 10 筆數據
 - (3) 調查茶苗種植之深度 (土表面到茶苗最上方根系距離) 10 筆數據。
 - (4) 調查茶苗倒株或缺株比例，連續種植 30 株，計算倒株或缺株比例。
- (六) 種植效率調查：
1. 比較 1 人投苗 (圖六) 與 2 人投苗 (圖七) 作業效率之差異 (單排種植)。
 2. 隨機選取 3 個時段，每次作業至少 20 秒，調查種植與投苗效率。

結果與討論

本場於 107 年底完成曳引機附掛式植茶雛型機，108 年 1 月 30 日於瑞穗茶區測試種植情形 (圖五)，測試過程中，紀錄植茶機作業異常與種植失敗之原因，調查分析整理如下：

一、調查分析植茶機作業異常之原因

(一)、植茶機主體機構強度不足：

機械種植試驗中發現，茶園整地若不落實，且異物若沒清除乾淨，植茶機的開溝種植機構之犁頭碰到大石頭、硬土塊等異物時，犁頭與植茶機本體間承受相當大的應力 (如圖八)，造成鋼骨變形 (如圖九)，為改善上述狀況，新研發的植茶機加設抗外力支機構 (如圖十)，測試後確實提高植茶機之強健性。

(二)、盛苗轉盤機構作業有時不順：

茶苗放置於預投苗杯待落苗時，有時發生卡苗情形 (如圖十一)，甚至盛苗轉盤機構會發生異常現象，有 3 項原因，整理如下：

1. 茶苗根系土壤沾黏盛苗杯：

我國育苗容器為不可分解的塑膠袋，茶苗種植前需先進行脫袋作業 (圖十二)，脫袋後的茶苗土壤裸露，茶苗土壤若是過濕，置於盛苗杯時土壤沾容易黏底板，造成茶苗以 90 度翻轉卡住。

2. 茶苗過輕無法落苗：

脫袋後的茶苗土壤裸露，茶苗根系土壤若是過乾 (圖十三)，且根部土壤解塊且散落，預投苗杯底部開啟時，茶苗重量不夠無法順利落苗。

3. 盛苗轉盤機構作動異常：

脫袋後的茶苗土壤容易散落在植茶機的盛苗轉盤機構，也造成傳動機構的鍊條容易沾滿土壤 (圖十四)。上述原因使盛苗轉盤機構被土壤卡住，沾滿土壤的鍊條有時會打滑無法順利傳輸轉盤之動力。另外有時整過地的土壤較為濕滑，傳動機構的帶動輪接觸土壤有時會打滑，無法驅動鍊條帶動盛苗轉盤機。故操作植茶機，需定期清理盛苗轉盤機構及鍊條，降低盛苗轉盤機構作動異常頻率。

綜合上述，脫袋後的茶苗土壤裸露容易沾黏或散落，造成盛苗轉盤機構作業不順暢的主要原因。本場引進可分解紙袋苗 (圖十五，簡稱「紙袋苗」)，茶苗根系之土壤被紙包覆固定，且紙袋苗底部裸露，不需脫袋作業可直接種植。將紙袋苗直接用於植茶機 (圖十六)，落苗成功率將近 100%，也降低清理盛苗轉盤機構之頻率，盛苗轉盤機構作業不順問題鮮少發生。

二、調查植茶機茶苗種植距離及成功率

(一)、茶苗左右種植距離 (雙排種植)：

此次種植為雙排種植，茶苗左右株距數據如表一所示，左右株距平均為 40.06cm。

(二)、茶苗前後種植距離：

茶苗前後株距數據如表二所示，前後苗株距平均為 44.84cm。

(三)、茶苗種植深度：

茶苗種植深度數據如表三所示，種植深度平均為 3.88cm，其中部分數據為負，則是指根系露出之長度。

(四)、種植成功率：

茶苗種植成功率如表四所示，種植成功率平均為 93 %。

(五)、比較種植效率 (單行種植)：

茶苗種植效率如表五所示，1 人投苗種植平均效率為 1,941 (株/機器小時)，投苗平均效率也為 1,941 (株/人小時)。早期的植茶機的設計構想是 1 人負責 1 組盛苗轉盤 (6 個盛苗杯)，但種植試驗時發現，放置 6 個盛苗杯茶苗需 10-12 秒，工人投苗效率無法再提升，其原因分析如下 2 點：

1. 盛苗轉盤轉速過快，投苗工人無法對準盛苗杯：

植茶機作業過程中，盛苗轉盤不停地旋轉，盛苗轉盤旋轉一圈需 10-12 秒，投苗工人需動態對準盛苗杯。若植茶機速度過快，則盛苗轉盤旋轉得更快，投苗工人將更難對準盛苗杯，容易發生缺株現象。

2. 茶苗需小心拾取，降低作業效率：

茶苗若採用塑膠袋苗繁殖，種植前需先脫袋，而脫袋後的茶苗根系被土壤包覆，投苗過程中稍不注意會使土壤扯斷茶苗根系，造成種植存活率降低，投苗過程中需小心作業。若採用紙袋苗，種植前可不需脫袋，且紙袋包覆者茶苗根系之土壤，在投苗過程中保護根系不被扯斷，也可提升工人投苗效率。

為解決上述問題，新款植茶機之設計為 2 人負責 1 組盛苗轉盤，植茶機種植平均效率為 3,054 (株/機器小時)，效率提升 57%；投苗平均效率為 1,527 (株/人小時)，降低投苗工人 21% 的負擔。近期本場也輔導苗農採用紙袋育苗，除了改善育苗缺工之問題，同時也改善植茶機之效率與種植成功率。

三、傳動機構變速齒輪之計算與設計：

利用齒輪、鍊條傳送動力物理數學方程式，計算變速齒輪尺寸設計時所需之大小比例，整理如下：

(一)、符號定義 (圖四)：

V_1 ：曳引機行走速度。

ω_1 ：接地輪角速度。

ω_2 ：齒輪 2 角速度。

ω_3 ：齒輪 3 角速度。

r_1 ：接地輪半徑。

r_2 ：齒輪 2 半徑 (變數齒輪)。

r_3 ：齒輪 3 半徑 (變數齒輪)。

S：茶苗種植前後株距 (同排)。

Δt ：前後茶苗掉落時間差

(二)、建立物理方程式模型：

前後茶苗株距 = 曳引機行走速度 $\times$ 前後茶苗掉落時間差

$$S = V_1 \Delta t \quad (1)$$

曳引機行走速度 = 接地輪切線速度

$$V_1 = r_1 \omega_1 \quad (2)$$

接地輪和齒輪 2 為同旋轉軸傳動動力，故角速度相同

$$\omega_1 = \omega_2 \quad (3)$$

齒輪 2 和齒輪 3 為鍊條傳動動力，故切線速度相同

$$r_2 \omega_2 = r_3 \omega_3 \Rightarrow \omega_2 = \frac{r_3}{r_2} \omega_3 \quad (4)$$

將 (3) 帶入 (2) 整理可得

$$V_1 = r_1 \omega_2 \quad (5)$$

將 (4) 帶入 (5) 再帶入 (1) 整理可得

$$S = V_1 \Delta t = \frac{r_3}{r_2} r_1 \omega_3 \Delta t \Rightarrow S \propto \frac{r_3}{r_2} r_1 \quad (6)$$

由方程式 (6) 可得知變速齒輪 3 大小與茶苗前後種植距離成正比，變速齒輪 2 的大小與茶苗前後種植距離成反比。另外接地輪的大小與茶苗前後種植距離成正比，在汰換接地輪時須注意其直徑是否一致，否則會影響茶苗前後種植距離。另外，茶苗前後種植距離為 40-60 公分，故變速齒輪的最大減速比與最小減速比之比例為 1.5，比例大於 1.5，前後種植距離會超過 60 公分；若比例小於 1，前後種植距離小於 40 公分。

結 論

本場於 107 年研發曳引機附掛式植茶雛型機，一天可種植 0.8-1 公頃，種植成功率為 93%，作業效率高，大幅降低人力需求。108 年花蓮瑞穗植茶機測試過程中，植茶機部分機構容易變形及毀損，需強化部分機構設計。另外引進日本紙袋苗，大幅提高落苗成功率，改善技術後於 109 年將技術轉移於農機業者，至今已販售 3 台植茶機。茶改場已在桃園、花蓮及臺東建立示範地與舉辦數場次觀摩會，讓全臺茶農瞭解機械種植生長情形。至 111 年植茶機種植面積達 20 公頃 (桃園 5 公頃，花蓮 9 公頃，臺東 6 公頃)，由於茶樹經濟年限約 20 年，若自行購置相關設備恐使用率不高，由代耕業者協助農民種植或更新茶園，可達到最大之經濟效益。

參考文獻

1. 黃惟揚、巫嘉昌、林和春、蘇彥碩、劉銘純、張振厚. 2017. 乘坐式採茶機械在平地茶園應用. 茶情雙月刊 89: 1-4。

表一、植茶機種植之左右株距 (公分)

Table 1 The left and right plant spacing by tea planting machine (cm)

區域 重複	A	B	C	D	E
1	40	36	40	39	40
2	38	45	40	40	39
3	46	40	43	36	43
4	40	46	40	35	42
5	38	50	37	46	43
6	40	37	40	37	40
7	40	40	40	40	40
8	38	40	40	46	35
9	38	42	38	36	38
10	38	44	40	37	37
平均	39.6 ± 2.33	42 ± 4.07	39.8 ± 1.47	39.2 ± 3.76	39.7 ± 2.45
總平均	40.06 ± 3.17				

表二、植茶機種植之前後株距 (公分)

Table 2 The front and rear distance plant spacing by tea planting machine (cm)

區域 重複	A	B	C	D	E
1	50	33	54	50	36
2	36	83	40	20	73
3	34	47	40	46	70
4	38	48	35	38	46
5	44	55	45	25	46
6	50	70	30	43	52
7	40	33	40	24	43
8	80	20	80	48	53
9	33	70	30	40	36
10	40	30	50	35	40
平均	44.5 ± 13.11	48.9 ± 19.48	44.4 ± 13.97	36.9 ± 10.11	49.5 ± 12.30
總平均	44.84 ± 14.99				

表三、植茶機種植之種植深度 (公分)

Table 3 Planting depth by tea planting machine (cm)

區域 重複	A	B	C	D	E
1	3	-4	2	6	-1
2	2	0	2	8	0
3	3	1	4	8	0
4	2	-3	2	10	2
5	0	1	5	9	5
6	7	5	3	3	6
7	8	4	3	6	5
8	3	6	7	2	5
9	4	2	10	10	6
10	5	5	3	5	4
平均	3.7 ± 2.28	1.7 ± 3.23	4.1 ± 2.47	6.7 ± 2.65	3.2 ± 2.56
總平均	3.88 ± 3.15				

表四、植茶機種植之成功率 (株)

Table 4 The success ratio of tea planting by planting machine (tea plant)

區域 重複	A	B	C	D	E
株數	30				
倒株	1	1	1	0	0
掩埋	2	1	1	0	3
失敗總計	3	2	2	0	3
成功總計	27	28	28	30	27
個別成功率	90%	93%	93%	100%	90%
整體成功率	93.3%				

表五、比較不同人力投苗之效率 (單排種植)

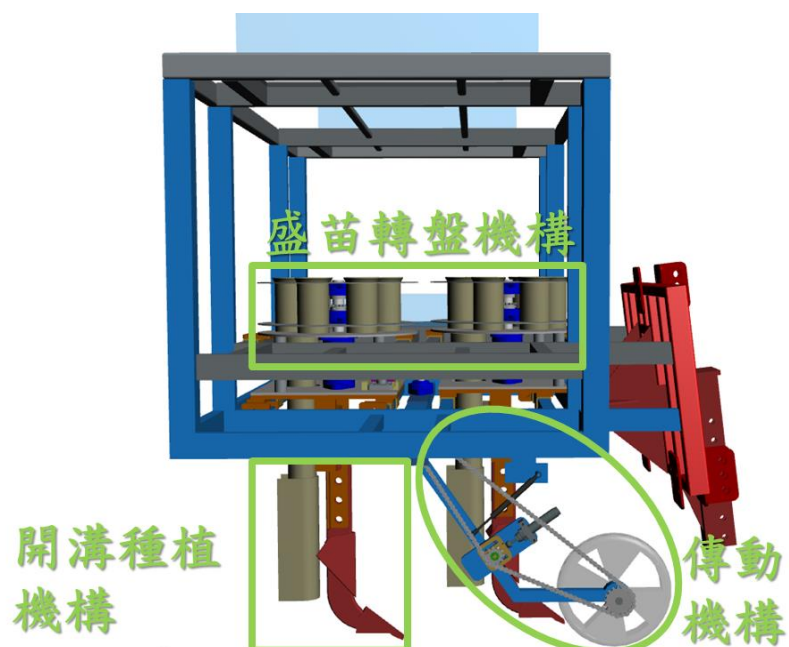
Table 5 Comparing the efficiency of different manpowers to put seedlings (single row planting)

投苗 人力	行走速度 (公尺/秒)	落苗數 (株)	時間 (秒)	種植效率 (株/秒)	種植效率 (株/小時)	種植平均效率 (株/機器小時)	投苗平均效率 (株/人時)
1	0.261	12	23	0.521	1,878	1,941	1,941
	0.273	12	22	0.545	1,964		
	0.275	11	20	0.550	1,980		
2	0.429	18	21	0.857	3,086	3,054	1,527
	0.404	21	26	0.808	2,908		
	0.440	22	25	0.880	3,168		



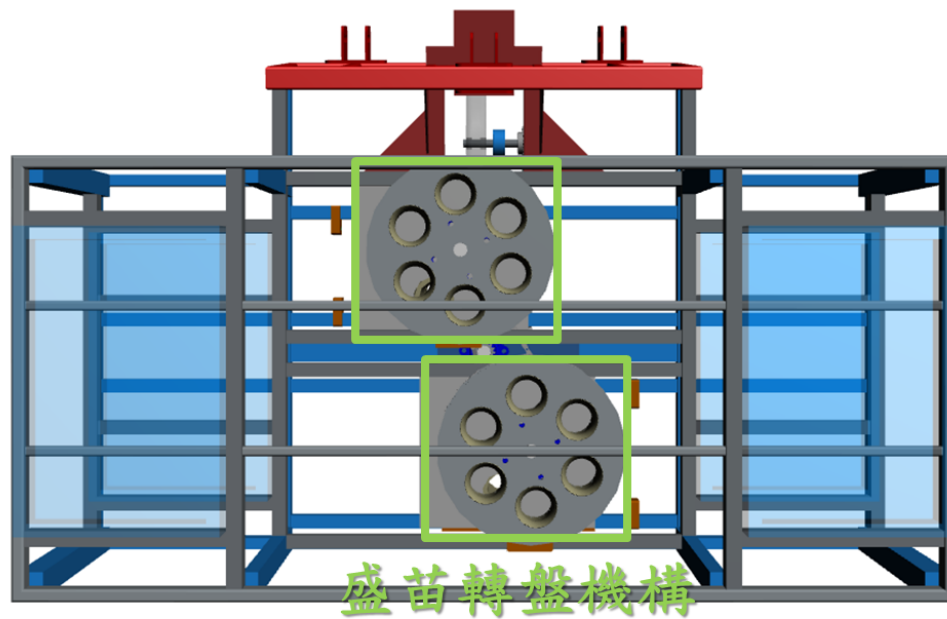
圖一、人工種植茶樹作業情形

Fig. 1. Artificial tea planting operation



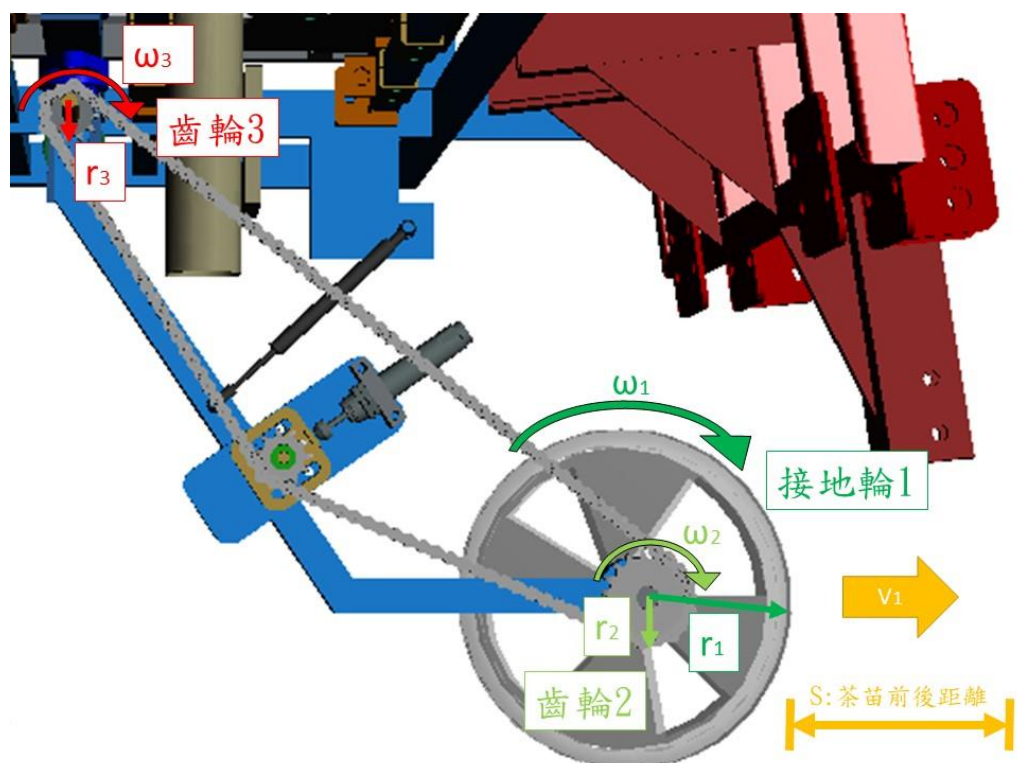
圖二、植茶機各機構設計示意圖 (側視圖)

Fig. 2. Schematic diagram of each mechanism of the tea planting machine (side view)



圖三、植茶機各機構設計示意圖（上視圖）

Fig. 3. Schematic diagram of the each mechanism of the tea planting machine (above view)



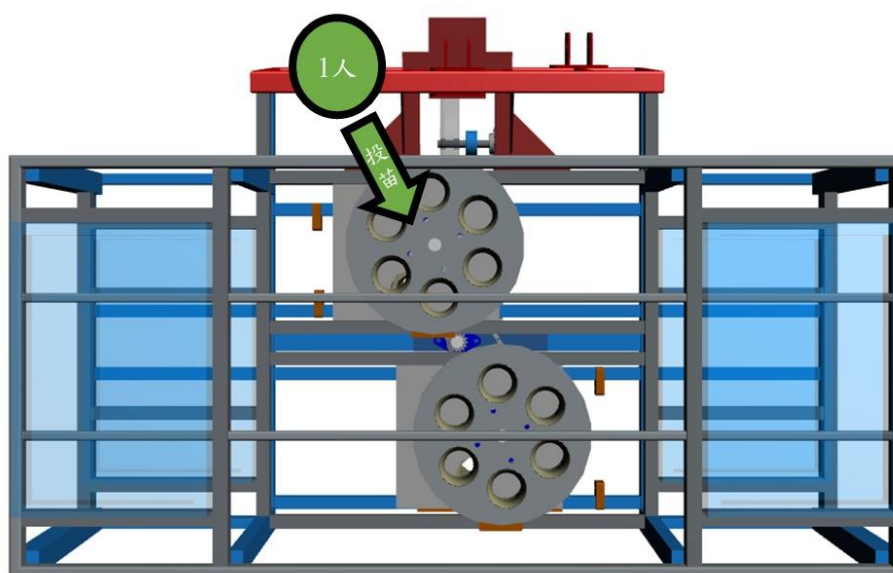
圖四、傳動機構上調整變速齒輪設計示意圖

Fig. 4. Schematic diagram of the adjustment gear on the transmission mechanism



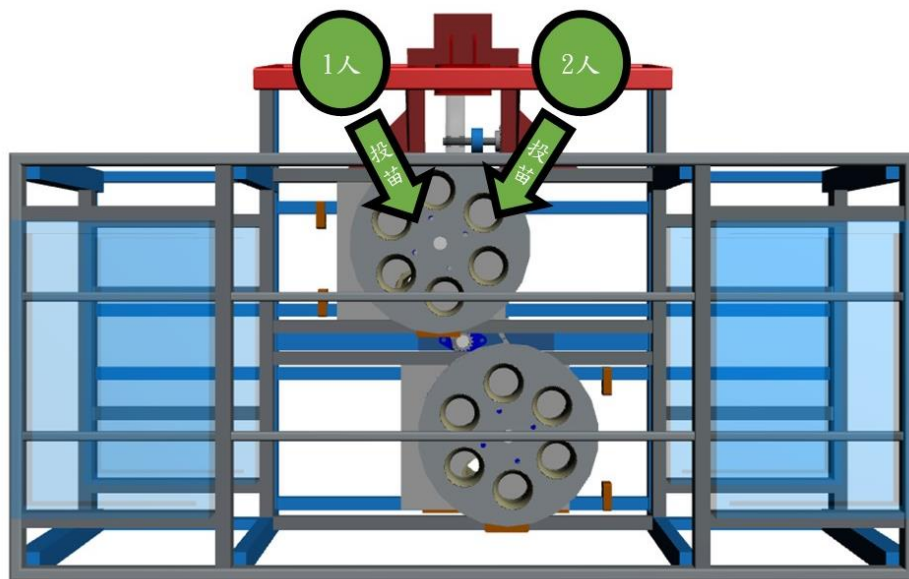
圖五、植茶機於花蓮瑞穗種植情形 (雙排種植)

Fig. 5. The tea planting machine planted in Ruisui, Hualien county (double row planting)



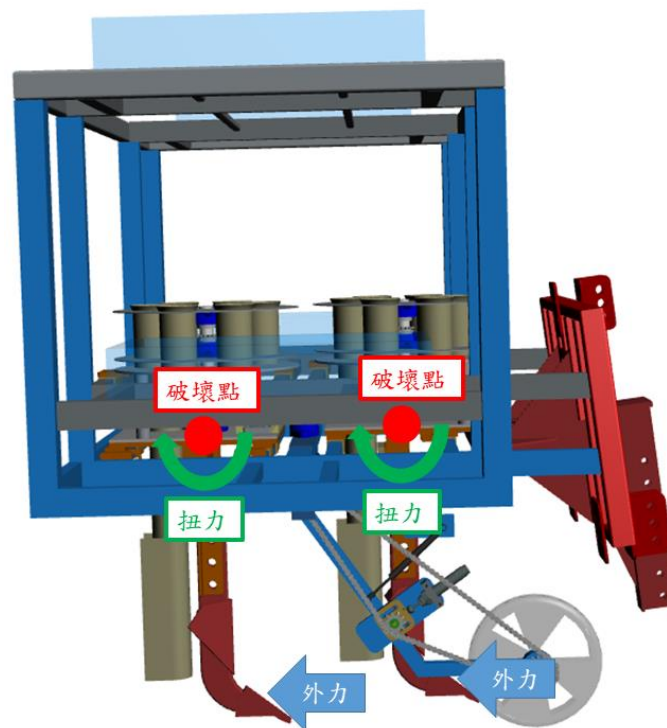
圖六、1 人投苗示意圖

Fig. 6. Schematic diagram of one people putting tea seedlings



圖七、2 人投苗示意圖

Fig. 7. Schematic diagram of two people putting tea seedlings



圖八、植茶機作業中容易破壞的結構點

Fig. 8. Structural points that are easily damaged in the operation of the tea planting machine



圖九、植茶機主體型變之情形

Fig. 9. The deformation for the main body of the tea planting machine



圖十、下一代植茶機強化主體機構

Fig. 10. The next-generation tea planting machine strengthens the main body



圖十一、茶苗卡住分解圖

Fig. 11. The exploded diagram of tea seedlings stuck during planting operation



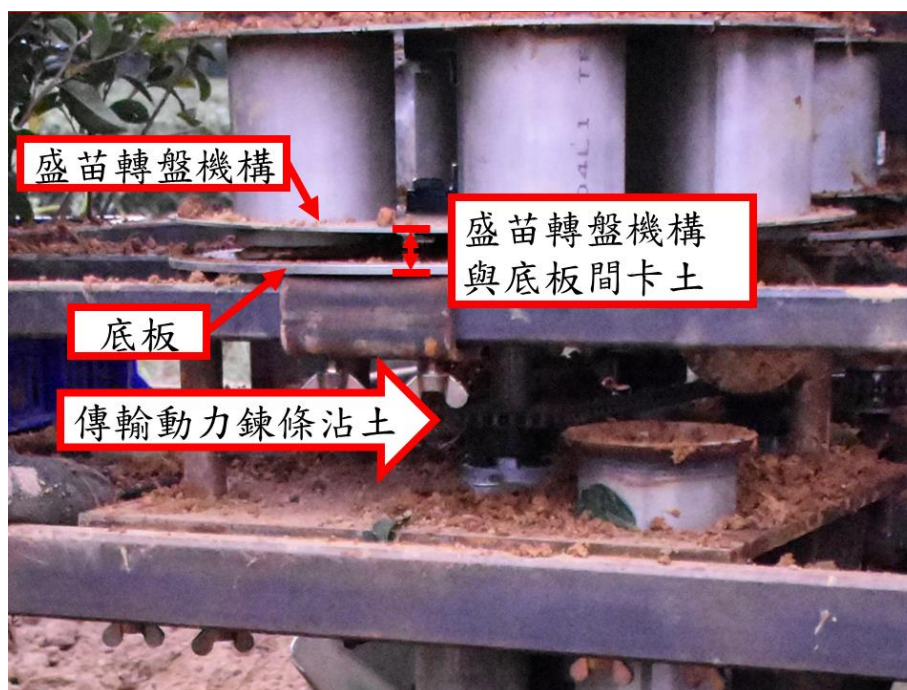
圖十二、傳統塑膠袋苗脫袋作業

Fig. 12. The unpacking operations of plastic bag seedlings



圖十三、塑膠袋苗脫袋後根系土壤容易掉落

Fig. 13. The plastic bag seedlings are taken off the bag, the soils of the root system are easy to fall off



圖十四、散落於植茶機之土壤易使機構無法作動

Fig. 14. The soil scattered on the tea planting machine can make the mechanism unable to operate easily



圖十五、可分解紙袋苗

Fig. 15. Tea seedling in decomposable paper bag



圖十六、紙袋苗運用於植茶機之作業情形

Fig. 16. Paper bag seedlings used in the operation of tea planting machines

Test and Improvement of the Hanging Tea Planting Machine Attached to the Traction Machine

Wei-Yang Hwang*

Tien-Lin Liu¹

Summary

The purpose of research which design and develop a semi-automatic tea seedling planting machine, that can prompt the mechanization of tea seedling planting, reduce the labor cost, and solve the problem of labor shortage in rural areas. The main structure of the planting machinery in this study includes transmission mechanism, a seedling turntable and a ditching planting mechanism. The seedling turntable has two groups, left and right, designed as six cylindrical seedling cups with a height of 15 cm and a diameter of 10 cm. The operator can take out the seedlings and put them in the seedling cups. The shutter will open automatically, and the seedlings in the seedling cup will fall into the trenching planting mechanism. There is a plowshare in front of the seedling opening of the trenching planting mechanism. It wills backfill automatically, and the tea seedlings can be buried upright at the bottom of the ditch. The tea seedling planting machine is powered by a traction machine with more than 40 horsepower. The tea planting machine is 120 cm long, 180 cm wide and 180 cm high. It is suitable for planting double rows of tea seedlings at the bottom of the trench with a width of 160-180cm. The left and right row spacing of the plants can be adjusted by 20-40cm, and the front and rear plant spacing can be adjusted by 40-60cm. The tea planting machine can operate 1 hectare a day. The planting efficiency of single row can be increased by five times than labor working, and the planting efficiency of double rows can be increased by six times than labor working.

Key words: Tea planting machine, Labor shortage, Tea seedling

1. Assistant Researcher, Associate Researcher & Chief of Tea Machinery Section, Tea Research and Extension Station, Taoyuan, Taiwan, R. O. C.

* Corresponding author