

電動式青梗白菜收穫機開發與一貫化作業 應用測試

吳有恒¹、陳嘉雯²、周浩源¹

農業部桃園區農業改良場 作物環境科¹、作物改良科²

摘要

本研究開發電動式青梗白菜收穫機，並配合曳引機附掛鎮壓輪整地鎮壓及機械移植等一貫化作業，進行收穫測試。收穫機由撥輪、切割機構、輸送機構、驅動輪組、控制系統及電池組件所組成。收穫時利用往復式月牙刀切割青梗白菜短縮莖基部至下胚軸範圍，並透過撥輪及輸送帶將切割後青梗白菜向後輸送至收集籃內。本機為電動式，收穫寬度 70 cm，採單人手扶方式進行收穫作業。本機於設施內尚可以驅動輪為支點原地迴轉，並可透過驅動輪及輔助側輪而於不同設施間移動行走。由於收穫機機體小且迴轉容易，適合一般塑膠布溫室收穫作業使用。配合整地鎮壓與機械移植作業，收穫機在 7.3 cm/s 的作業速度下，收穫之青梗白菜整株率 95.4%，平均株重 124.0 g。收穫結果顯示土壤經整地鎮壓及機械移植後，由於土壤面高度及移植高度具一致性，作物生長樣態整齊，有利於機械的收穫作業。

關鍵詞：電動農機、葉菜收穫機、設施葉菜、青江菜、淨零減碳

前言

在臺灣，設施葉菜收穫均為人工採收，採收人員是以蹲坐方式割取葉菜。由於人工採收速度慢、時間長，直接影響後續葉菜冷鏈處理的品質；加以設施內普遍高溫，人員長時間於設施內作業極其辛勞，致使收穫人員招募不易，也墊高了收穫成本。因此在設施短期葉菜生產成本中，收穫作業佔比高達 45%，是設施葉菜產業發展亟需解決的問題。

設施葉菜生長週期短，收穫過程勞力相當密集，短時間即需投入大量人力進行收穫，以避免超過作物最佳收穫期而影響其品質。一般葉菜收穫主要取其葉、葉柄、莖為主，如葉菜甘藷、小白菜、青梗白菜等，部分葉菜甚至會帶根收穫，如蕹菜、菠菜等。由於葉菜種類繁多，加以其栽培模式、種植行株距、生長特性及收穫樣態等有顯著的差異，因此設施葉菜多以人工採收為主。然而設施葉菜栽培複種指數高，如以穴盤育苗移植方式進行種植，每年可達 10 作以上，亦即每年每座設施需進行 10 次以上的收穫作業，因此開發葉菜收穫機械以取代人力具有極高的經濟性，除可減輕人工採收辛勞、降低收穫人力需求外，透過機械的快速收穫作業，亦可減少收穫後葉菜於溫室的等待時間，同步提升葉菜品質，從而增加農友收益。

青梗白菜是設施葉菜常見的栽培品項，於設施土耕栽培中全年均可栽種，經播種後 35-40 天即可採收。人工收穫方式是以手拔取青梗白菜，另一手持鐮刀切除青梗白菜短縮莖(dwarf stem)基部與下胚軸附近 2-3 片不良外葉後放入收集籃內，等裝滿數籃後再由搬運車送至工廠進行清洗、分級、包裝、預冷、截切或冷藏處理。

以機械進行葉菜收穫作業受到栽培方式、栽培習慣及品種特性的影響，如 Kim et al. (2019) 評估韓國地區幾種葉菜機械化種植合理的方式^[1]，結果顯示泡菜用甘藍、甘藍、青花菜及結球萵苣適合機械移植的株距分別為 13, 13-15, 10-20, 12-13 cm；並且以 128 及 200 格的穴盤苗較適用於以上葉菜的機械移植。另 Yamamoto et al. (2015)為確認甘藍移植深度與收穫機械操作間關係^[2]，以減少機械採收的損壞率，分別以淺植(土上 4 mm)、中植(土下 4 mm)、深植(土下 23 mm)等 3 種移植深度(以穴盤苗介質平面為基準點)進行評估，結果顯示深植處理下，莖的形態和淺層根系分佈可以有效降低甘藍傾斜度，減少機械採收的損害。因此，田間管理與栽培模式需與各階段機械操作相互配合，才能獲得較佳的收穫效果，完整展現收穫機械的效能。

目前應用於青梗白菜栽培的設施普遍不大，常見的規格為跨距 6 m，長度 20-30 m 的塑膠布溫室，一般收穫機械於此類設施運行不易，特別是還要在有作物的狀態下迴轉更顯困難。因此，本研究開發手扶電動式青梗白菜收穫機，可應用於台灣普遍的小型溫室；並於機械移植場域進行收穫測試，評估整地鎮壓對移植與收穫的影響性。

材料與方法

電動式青梗白菜收穫機(圖 1)由撥輪、切割機構、輸送機構、驅動輪組、控制系統及電池組件所組成。切割機構包含一鋁擠框及固定在框架下方的月牙刀片，整組框架由連桿連接到馬達驅動的迴轉偏心輪上，框架因此可以往復地進行切割作業。驅動輪組使用 850 W 無刷直流馬達，切割機構、輸送機構及撥輪分別使用 200 W、200 W 及 100 W 直流馬達。收穫機使用 2 組鋰離子電池，驅動輪組使用 48 VDC 電源，其餘馬達及控制器使用 24 VDC 電源。



圖 1、電動式青梗白菜收穫機

收穫機操作為單人手扶式，採收寬度 70 cm，2 輪跨畦行走。收穫時以往復式月牙刀切割青梗白菜下胚軸(圖 2)，並透過撥輪及輸送帶將切割後青梗白菜往後輸送至收集籃內。為便於收穫機於設施內、外移動，收穫機底盤設計具備收穫、迴轉及行走等 3 種方式。直線收穫時透過驅動輪及輔助膠輪(圖 3)，以及控制割刀高度以穩定切割作業；溫室內轉彎時則以驅動輪為支點，下壓翹起前方機台，並配合電動控制及輪組內差速器，使收穫機可以原地迴轉，減少迴轉所需空間；於不同設施間移動則以驅動輪配合輔助側輪行走(圖 4)。



圖 2、青梗白菜下胚軸



圖 3、設施內收穫狀態



圖 4、設施外行走狀態

收穫試驗於桃園場育成基地作物栽培溫室執行，青梗白菜品種為農友種苗公司生產之綠愛品種。種子育苗後 23 天後以桃園場開發之電動履帶式菜苗移植機移植於田間(圖 5)，植株行距 15 cm、株距 10-12 cm，配合收穫機寬度，採 4 行植，畦溝深度約 2-3 cm，為移植機壓痕深度。植株移植前，土壤鬆土後經鎮壓輪處理，土壤壓入深度約 5 cm，經量測於 20 cm 深度之土壤硬度為 60-70 psi。青梗白菜栽培收穫前 6 日即斷水(圖 6)，收穫時土壤硬度 60-80 psi。

收穫機試驗之行走速度 7.3 cm/s，測試青梗白菜收穫效率、整株率、切割率及平均重量等。

整株率(%)=[(植株數-收穫後地面殘留被切到葉柄的植株數)/植株數]×100%

切割率(%)=[(收穫植株數-未切到短縮莖基部至下胚軸範圍的植株數)/收穫植株數]×100%



圖 5、土壤整地鎮壓後，以電動履帶式移植機移植菜苗



圖 6、青梗白菜收穫前斷水 6 日狀態

結果與討論

一、電動式青梗白菜收穫機

應用於收穫試驗之青梗白菜栽培模式是採用整地鎮壓，並配合機械移植作業。收穫機在 7.3 cm/s 的作業速度下，收穫之青梗白菜整株率 95.4%，平均株重 124.0 g，每分鐘可收穫 3.1 m² 的青梗白菜(表 1)。相較於土壤整地無鎮壓狀態 0.9 m²/min 的收穫效率、83.3%的整株率，收穫機的作業效能明顯提升。由於收穫的青梗白菜整株率高、地面殘株極少，顯示切刀可較精準的切割青梗白菜短縮莖基部至下胚軸範圍，極少會切割到植株本體。此說明土壤經鎮壓後，由於栽培面的平整性較佳，有利於收穫機對植株精準的切割與收穫。

表 1、不同栽培模式之收穫差異

栽培模式	作業速度 (cm/s)	收穫效率 (m ² /min)	整株率 (%)	切割率 (%)	平均重量 (g)	品種
整地鎮壓 機械移植	7.3	3.1	95.4	76.0	124.0	綠愛
整地未鎮壓 機械移植	2.2	0.9	83.3	-	86.0	全盛 1 號

青梗白菜是以整株樣態收穫，因此割刀切割位置最佳點在短縮莖基部至下胚軸範圍處，此位置非常接近土壤面，甚至在土壤面以下。為避免切到植株，割刀幾乎貼著土壤面行走，因此畦面、畦溝的平整性相當重要。相較於一般葉菜收穫是割取地面以上數公分的葉片模式^[3,4]不同。應用機械收穫，田間條件及作物栽培方式均需調整配合。本試驗在畦寬、畦溝深、畦面平整性、土壤硬度、植株品種、苗期狀態、機械移植、插植深度、土壤整地鎮壓、收穫前土壤含水率的管控等均配合機械收穫需求進行處理，因此在機械化收穫有較佳表現。

收穫試驗之切割率 76.0% (表 1)，顯示有 76% 收穫的青梗白菜可被完整切割短縮莖基部至下胚軸範圍，而仍有部分青梗白菜雖被收穫且植株完整，但短縮莖基部至下胚軸範圍未被切割，根系仍帶有部分介質團塊(圖 7-右下)，此可能與種植深度、根系發育、短縮莖與下胚軸長度；或與切刀進刀點、撥輪轉速與位置有關。因此未來在收穫機優化設計上應增加切刀高低自動控制系統，使收穫機在前進時切刀可依土壤及植株狀態自動調整，以增加切割率；同時調整撥輪轉速與位置，以提升植株的切割率。



圖 7、收穫之青梗白菜

二、整地鎮壓對移植及收穫的影響

圖 7 顯示使用鎮壓輪整地後對菜苗移植的差異性。土壤經鎮壓後，表面的平整度及菜苗移植深度均具有一致性；而未鎮壓處理者，土壤高低歧異度較大，菜苗移植的深度也較不一致。根據以往收穫經驗，如未使用鎮壓輪，僅以曳引機整地後即進行機械移植時，由於土壤面高低歧異度大，加上土壤相對鬆軟，若移植機移植深度未隨之調整，其前後移植深度(以穴盤苗介質之平面為基準點)差異可達 1-5 cm，相當大程度影響後續收穫機的操作與性能表現。



A：整地鎮壓後移植，土壤面高度及移植高度具一致性
B：整地未鎮壓移植，土壤面高低歧異度較大，移植深度較不一致

圖 8、整地鎮壓對菜苗移植的差異性

在幾次的收穫測試中，均發現栽培面是否鎮壓會影響收穫效果。土壤經整地鎮壓及機械移植後，土壤面高度及移植高度較一致，作物生長樣態差異小，收穫機切割較順暢；如整地後無鎮壓，土壤較鬆散，加上青梗白菜屬於淺根性，土壤的附著力較差，當切割不順暢時，收穫過程中植株較容易被推擠傾斜而切到植株；同時由於無鎮壓，土面鬆軟，行走於畦面的輔助壓輪容易陷入畦面中，影響機械收穫作業。

短期葉菜的生產栽培歷程包含整地、種植(種子直播與穴盤移植)、栽培管理、採收、運輸、分級、預冷及貯藏，每個作業階段均有專屬機械或技術輔助生產。雖然在整地、種植及栽培管理部分，機械化程度相對成熟，但若要達到一貫化機械作業目的，田間管理與各階段的機械操作必須相互配合，才能發揮機械作業的最大效益。

結 論

本研究開發電動式青梗白菜收穫機，其機體小且可於原地迴轉，適合於一般塑膠布溫室收穫青梗白菜使用。收穫機採 1 人手扶操作，每分鐘可收穫 3.1 m² 的青梗白菜，整株率達 95.4%，可應用於小型農企業葉菜生產的收穫作業。

土壤經整地鎮壓及機械移植後，由於土壤面高度及移植高度具有一致性，作物生長樣態整齊，利於收穫機的精準切割與收穫。配合機械收穫作業的栽培模式與機械操作，可發揮一貫化作業效能，提升葉菜品質，增加產業競爭性。

致 謝

本研究感謝農業部計畫經費贊助(計畫編號 109 農科-7.4.1-桃-Y4)；桃園區農業改良場作物改良科蔬菜及採後處理研究室同仁協助整地、菜苗移植、栽培管理，作物環境科生物機電研究室同仁協助收穫機改良測試，謹此致謝。

參考文獻

1. Kim, S. K., Park, S., Kwak, J. H., Choi, S. K., Chae, W. B., Yang, E. Y., ... & Jang, S. W. (2019). Proper plant density for mechanical transplanting of several leafy vegetables under Korean agricultural condition. *Journal of Biosystems Engineering*, 44, 276-280.
2. Yamamoto, T., Matsuo, K., & Yamasaki, A. (2015). Effect of seedling transplant depth on the yield, lodging, and root distribution of cabbages grown for processing under an integrated mechanical cultivation system. *Root Res*, 24, 3-10.
3. Yin, H., & Wang, Z. (2021, May). Research on the Design of Cutting Table Mechanism of Leafy Vegetable Harvester Based on Computer Technology. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1915, No. 2, p. 022004). IOP Publishing.
4. Chen, W., Wang, G., Hu, L., Yuan, J., Wu, W., Bao, G., & Yin, Z. (2022). PID-Based design of automatic control system for a travel speed of the 4UM-120D Electric Leafy Vegetable Harvester. *Sustainability*, 14(21), 14066.

