

宜蘭大學生物資源學刊 (2023) 19: 45-58
DOI: 10.6175/job.202312_19.0004

玉米筍省工剝葉機構之設計及開發

林連雄¹、徐桀淇¹、林玠甫²、張允瓊^{3*}

¹國立宜蘭大學生物機電工程學系

²國立東華大學電機工程學系

³國立宜蘭大學園藝學系

摘要

本研究目的在開發具有省工、高效率的機械協助去除玉米筍苞葉，所開發之玉米筍剝葉機之架構包含切葉裝置及剝葉裝置，剝葉機運作模式為由上方進料口置入帶苞葉玉米筍，續由切葉裝置進行帶苞葉玉米筍腹部切葉作業，接著以剝葉裝置進行玉米筍苞葉剝除作業，最後輸送運出完成剝葉之玉米筍穗。玉米筍剝葉機測試結果顯示，切葉裝置安裝切葉刀片（雙端刀片），破壞苞葉的結構，並且有調整螺絲可調整刀片切割深度、角度，使刀片與玉米筍能有緊壓接觸。以線性滑軌帶動切葉機構作往復行程線性運動，帶動刀片在玉米筍側面劃刀，在每次往或復行程後可以轉動不同端刀片，使刀片面與玉米筍表面維持設定切入角，為下一個待切葉玉米筍側面劃刀，增加切葉劃刀效率，切葉比率75%，切葉平均時間2.3秒。剝葉裝置採用斜螺紋與直螺紋滾輪機構進行剝葉，滾輪夾住玉米鬚與苞葉產生向下拉力，促使玉米筍轉動，及推擠出玉米筍穗本體，若剝葉後之玉米筍苞葉厚適中，大都可順利剝葉，雛形機測試剝葉率為87.5%，平均每支玉米筍剝葉平均時間18.7秒。玉米筍剝葉機已具備切葉及剝葉功能，未來將持續進行機構改良及功能提昇，以達到降低玉米筍損傷率並提昇機械作業後玉米筍品質之目標。

關鍵詞：玉米筍、剝葉裝置、物理性質

*通訊作者。E-mail: changyc@niu.edu.tw

Design and Development of a Labor-saving Baby Corn Bracts Peeling Machine

Lian-Hsiung Lin¹, Jie-Qi Xu¹, Chieh-Fu Lin², Yung-Chiung Chang^{3*}

¹ Department of Biomechatronic Engineering, National Ilan University

² Department of Electrical Engineering, National Don Hwa University

³ Department of Horticulture, National Ilan University

Abstract

The study is to develop a machine with the advantages of labor-saving and high-efficiency to assist the removal the bracts of baby corn shoots. The structure of the developed baby corn bracts peeling machine includes bracts cutting device, bracts peeling device design. The mechanical operation mode is to put the corn shoots with bracts from the upper feeding port, and then use the leaf cutting device to cut the leaves of the corn shoots with bracts, and then use the peeling device to peel off the bracts of the corn shoots, and finally transport the corn shoots that have been peeled off. The test results of the developed baby corn bracts peeling machine show that the leaf-cutting device is equipped with a leaf-cutting blade (double-ended blade), which destroys the structure of the bract leaves. There are adjustment screws to adjust the cutting depth and angle of the edge so that the blade and the corn shoots can have tight contact. The linear slide rail drives the leaf-cutting mechanism to perform the reciprocating linear motion, driving the blade to cut the side of the corn shoots. After each reciprocating or reciprocating stroke, the edges at different ends can be rotated to maintain the set cutting angle between the blade surface and the surface of the corn shoots. Score the side of the following corn shoot to be cut to increase the efficiency of cutting leaves. The leaf-cutting ratio is 75%, and the average leaf-cutting time is 2.3 seconds. The leaf peeling device uses oblique threads and straight thread roller mechanisms to peel leaves. The rollers clamp the corn silk and bract leaves to generate a downward pulling force, causing the corn shoots to rotate and push out the corn shoot body. The leaf thickness is moderate if the corn shoots are peeled after the leaves are peeled, and most can be peeled off smoothly. The leaf peeling rate of the developed machine was 87.5%, and the average leaf peeling time per corn shoot was 18.7 seconds. The developed baby corn bracts peeling machine already possesses the functions of cutting and peeling leaves. In the future, the mechanism will continue to be improved, and its parts will be upgraded to reduce the damage rate of corn shoots and enhance the quality of corn shoots after mechanical operation.

Keywords: baby corn, peeling device, physical properties

*Corresponding author. E-mail: changyc@niu.edu.tw

壹、前言

玉米筍因高營養價值等優勢鮮食市場需求日益增加，且目前市場上玉米筍以剝除苞葉後之形式包裝販售居多，因此，玉米苞葉的剝離去除是採後處理過程中不可或缺的環節。目前玉米筍的苞葉去除仍依賴人力手工操作，屬於典型的勞動密集型環節，人力需求量大，生產效能低且及成本高，若考慮提升台灣鮮食玉米筍之市場競爭力，提升生產效率及降低成本應為當務之急。玉米筍（也稱為幼玉米、迷你玉米或蠟燭玉米）為玉米（*Zea mays* L.）幼嫩雌穗軸，一般在雌穗軸絲未出現或剛剛出現且尚未受精時採收（Rani et al., 2017）。玉米筍具獨特的清香，口感甜脆、鮮嫩可口，主要營養成分是氨基酸、維生素 B 群與膳食纖維，不含膽固醇是低熱量精緻營養的高檔蔬菜（Dass et al., 2008、謝和戴，2020、謝，2020）。目前，泰國和中國在玉米筍生產方面處於世界領先地位，另外於印度、印尼及越南等國家亦有大量的生產與出口。台灣在 40 年前也有玉米筍產業，主要以 '台南 11 號' 品種為主，後來隨工業的興起，農村人力移往加工出口區工作，造成生產人力減少，產業因此沒落及消失。玉米筍由於無法機械採收，需要充裕的勞動力，以人工採收後，再從苞葉中剝出玉米筍，目前超市販售的玉米筍（去苞葉）大部分從國外進口（謝等，2021）。

由於玉米筍鮮食市場需求日增，快速且即時之苞葉去除作業已為重要之研究課題。Yang 等（2021）研究甜玉米剝葉機設計，分析剝葉滾輪設計參數，包含滾輪直徑、長度、水平斜角及兩滾輪水平與垂直距離關係。Li 等（2021）研究玉米剝葉操作過程中，使用兩個剝葉滾輪相互旋轉，玉米苞葉的拉伸性能及斷裂機制，目的以最小的能量性能實現高效率剝葉並降低玉米穗損傷的發生率。結合力學實驗和數值統計，得到拉伸性能的取值範圍和變化規律，同時建立了取決於苞葉含水量和苞葉厚度的拉伸性能數學模型。Yang 等（2021）研究玉米在剝葉過程中玉米穗和滾輪分析影響碰撞力和摩擦力大小的因素。並依據建模結果，設計四個橡膠鑄鐵組成的剝離滾輪設計了不同圖案的混合滾輪，測試結果表明，設計的混合滾輪的剝葉率為 93% 和 1.87% 的穀物損傷率。

目前市場上玉米筍以剝除苞葉後之形式包裝販售居多，若能開發具有省工、高效率且節能優勢的機械協助玉米筍苞葉去除，進行快速且即時之苞葉去除作業，藉此大幅縮短玉米筍採收後處理時間並提升鮮度，並降低去葉過程之人力依賴，進而提升玉米筍生產效率。據此，本研究目的在開發具有省工、高效率且節能優勢的機械協助玉米筍苞葉去除，希望可在玉米筍採收後，進行快速且即時之苞葉去除作業，藉此大幅縮短玉米筍

採收後處理時間並提升鮮度，並降低去葉過程之人力依賴，進而提升玉米筍生產效率。

貳、材料與方法

一、材料及人工剝葉流程

玉米筍於播種後約 2 個月開始採收，使用採收適期之玉米筍為測試材料。玉米筍手工剝葉流程為切除頭硬點（節）、於玉米筍穗側面劃刀、撥開苞葉後切斷及玉米筍穗抽出，玉米筍人工剝葉一支約 20 秒，玉米筍剝葉前後外觀，如圖 1 所示。

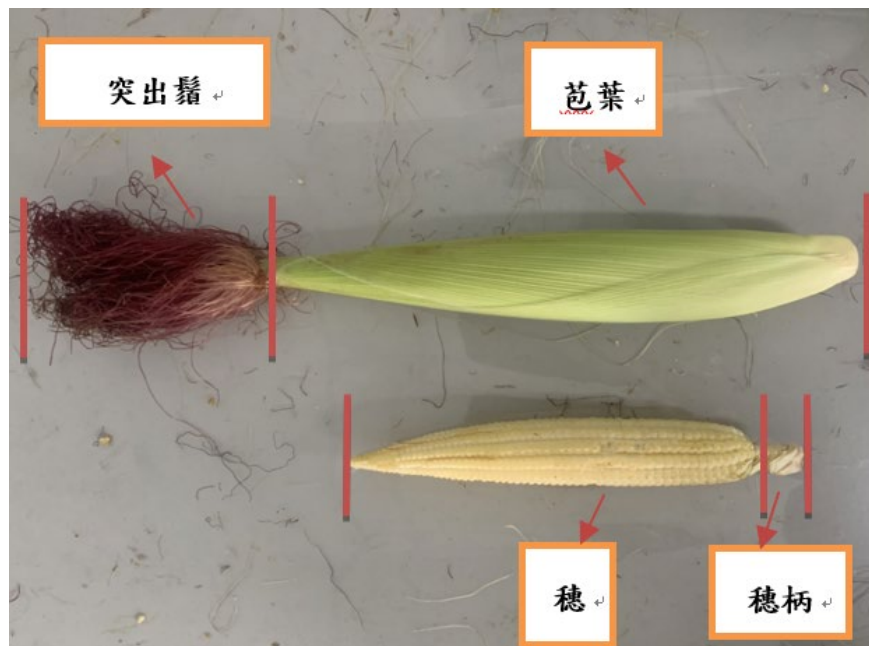


圖 1. 玉米筍剝葉前後之部位外觀。

Fig. 1. Appearance of baby corn shoots before and after peeling bracts.

二、玉米筍剝葉裝置設計

運用不同剝葉滾輪設計，在剝葉操作過程中，兩個剝葉滾輪相互旋轉並以特定角度向下傾斜。在平行於剝葉滾輪軸線的方向上，玉米穗在自身重力和輸送裝置的作用下沿著兩個滾輪的凹槽向下滑動，而玉米筍則受到向上的摩擦力。同時，在與剝葉滾輪軸垂直的方向上，相對旋轉的剝葉滾輪由於不同的材料和表面形態對玉米筍穗施加不同的摩擦力矩，使玉米筍穗繞其軸旋轉。在運動過程中，剝葉滾輪在摩擦的作用下抓住並拉動苞葉。一旦滾輪提供的力大於苞葉的斷裂力，苞葉就被拉出並與玉米筍穗分離。因此玉米筍剝葉裝置設計說明如下：

（一）、玉米筍切葉機構設計

1. 為增加剝葉效率，減少損傷，進入剝葉作業前，設計以線性滑軌帶刀片在玉米筍腹部劃刀，破壞苞葉的結構。
2. 切葉機構上裝置切葉刀片，設計調整螺絲可調整刀片切割深度與角度，刀片藉由滑軌傳動，與玉米筍產生相對運動，進行玉米筍切葉測試實驗。

（二）、玉米筍剝葉滾輪機構設計：

1. 由於剝葉過程中玉米筍穗的狀態會發生變化，因此需要剝葉滾輪可調整滾輪間隙，以達到剝葉率高、損傷低之目的。因此剝葉滾輪螺紋之設計，需考慮剝葉初期應將苞葉充分分離剝葉，剝葉後期要不斷地抓住剩餘的苞葉，減少對玉米筍穗的損傷。
2. 剝葉過程中兩滾輪螺紋產生的摩擦係數相差較大，使果穗可以繞軸旋轉，改善苞葉剝落；且必須考慮使用力常數較大的滾輪剝葉，以降低損傷率。

（三）、玉米筍剝葉滾輪螺紋設計：

1. 剝葉滾輪花紋結構是影響玉米筍穗剝葉效果和破損率的關鍵因素。為了避免玉米筍穗和滾軸接觸時間過長，玉米筍穗需要快速滑動，因此種玉米筍向下滑動的速度可能遵循“溫和加速”的原則，設計了一種“橫紋→豎紋”螺旋紋結構的剝離滾輪。
2. 滾輪具有橫向花紋，使苞葉獲得較大的摩擦抓握力，使苞葉充分分離剝皮；在玉米穗運輸階段，玉米筍穗直接暴露在剝葉滾輪上，為防止損傷玉米筍穗，設計剝葉滾輪下滑角度可調整，使玉米筍穗快速滑落，減少對玉米筍穗的傷害，完成剝葉過程。

三、性能測試

使用採收適期之玉米筍進行切葉及剝葉機構性能測試材料，測試數量為 48 支，測試項目包括切葉性能及剝葉性能。玉米筍經機器切葉機構進行切葉後，檢視其損傷情形，並記錄剝葉率、切口長度、深度及作業時間等評估機構切葉性能。成功切葉後玉米筍進入剝葉機構，記錄剝葉時間與剝葉前後玉米筍重量、長度及最大徑寬等資料。估算剝葉率以剝葉後之玉米筍可完整剝葉來計算；損傷率，若剝葉後出現磨損及斷裂以此估算。

參、結果與討論

一、玉米筍剝葉機之設計與試驗機

本研究研製之玉米筍剝葉機械外觀尺寸為長：295 mm、寬：444 mm、高：484 mm，為增加剝葉效率並減少損傷，進入剝葉作業前，設計切葉裝置在玉米筍側面劃刀，破壞苞葉的結構。接著，設計剝葉裝置，在摩擦的作用下抓住並拉動苞葉，一旦滾輪提供的力大於苞葉的斷裂力，苞葉就被拉出並與玉米筍穗分離。玉米筍剝葉機設計如圖2所示，上層為切葉裝置，下層為剝葉裝置。玉米筍剝葉機使用直流馬達提供各裝置動力源，分別包含切葉馬達（24V，353 RPM）驅動切葉機構，另外翻轉馬達（24V，36 RPM）驅動玉米筍支撐板金夾緊切葉與翻轉後從滑槽落於剝葉機構上，最後剝葉馬達（24V，300 RPM）驅動剝葉機構。玉米筍剝葉機實體圖如圖3所示，使用不銹鋼板為支架，玉米筍由上層放入，由切葉裝置進行腹部切葉，再由下層的剝葉裝置剝開玉米筍苞葉後，將玉米筍穗送出。

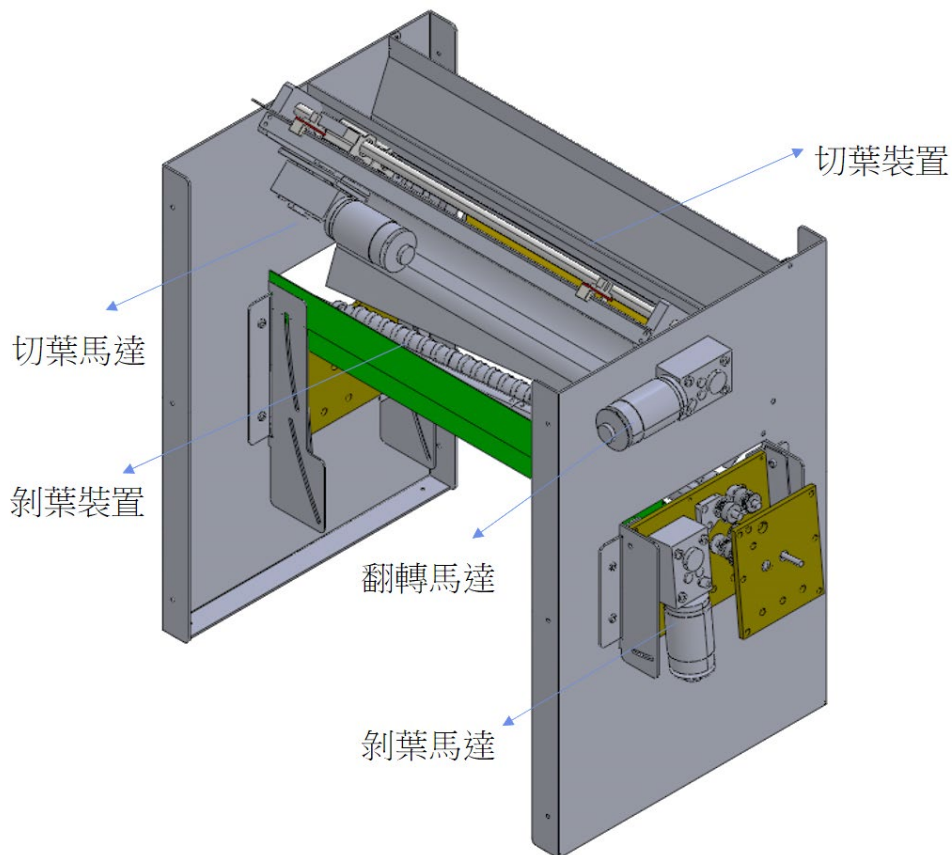


圖 2. 玉米筍剝葉機設計圖。

Fig. 2. Design of the developed baby corn bracts peeling machine.

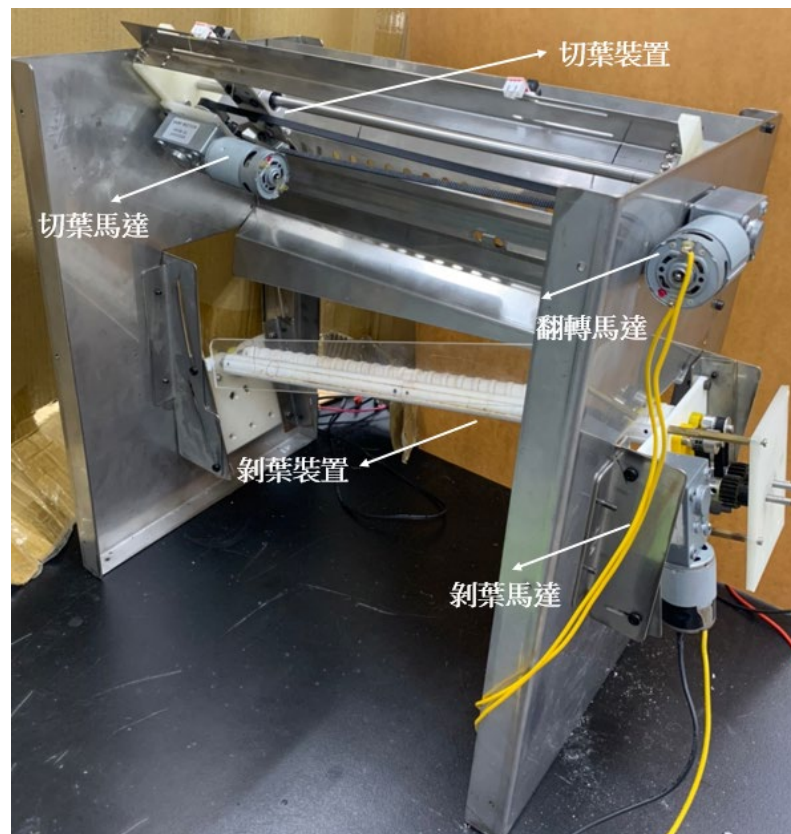


圖 3. 玉米筍剝葉機實體圖。

Fig. 3. Physical diagram of the developed baby corn bracts peeling machine.

圖4為玉米筍剝葉機運作流程說明，（1）切葉支撐：玉米筍剝葉前需先進行切葉，由固定玉米筍支撐板金與翻轉機構玉米筍支撐板金，提供玉米筍在切葉過程不會滑動。

（2）切葉機構安裝切葉刀片，以線性滑軌帶動在玉米筍側面劃刀，翻轉機構玉米筍支撐板金啟動，將切葉後的玉米筍鬆開，讓玉米筍落入滑槽。（3）由滑槽落入剝葉滾輪進行剝葉。（4）剝葉後由滾輪輸送至出口。

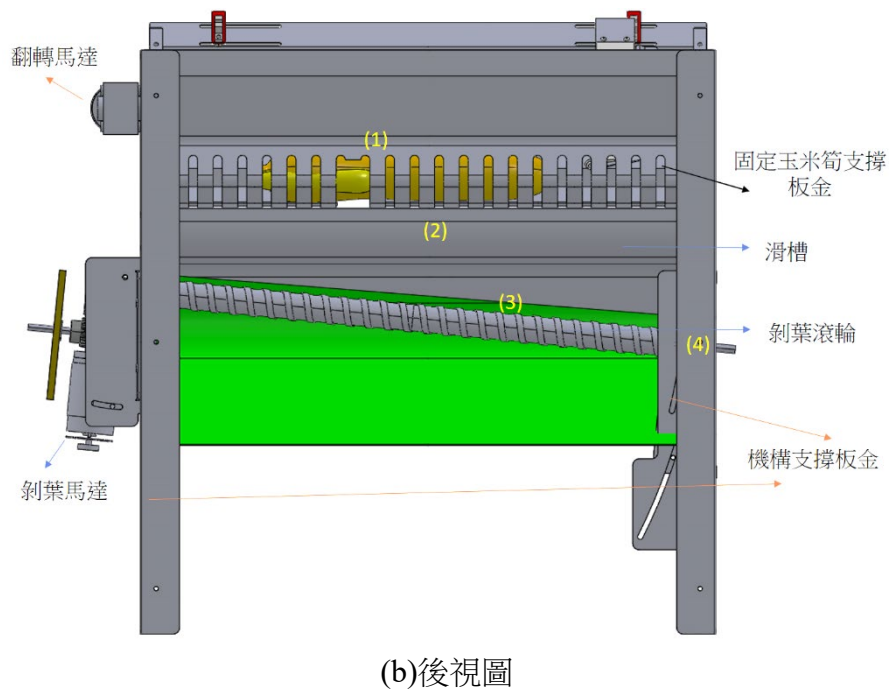
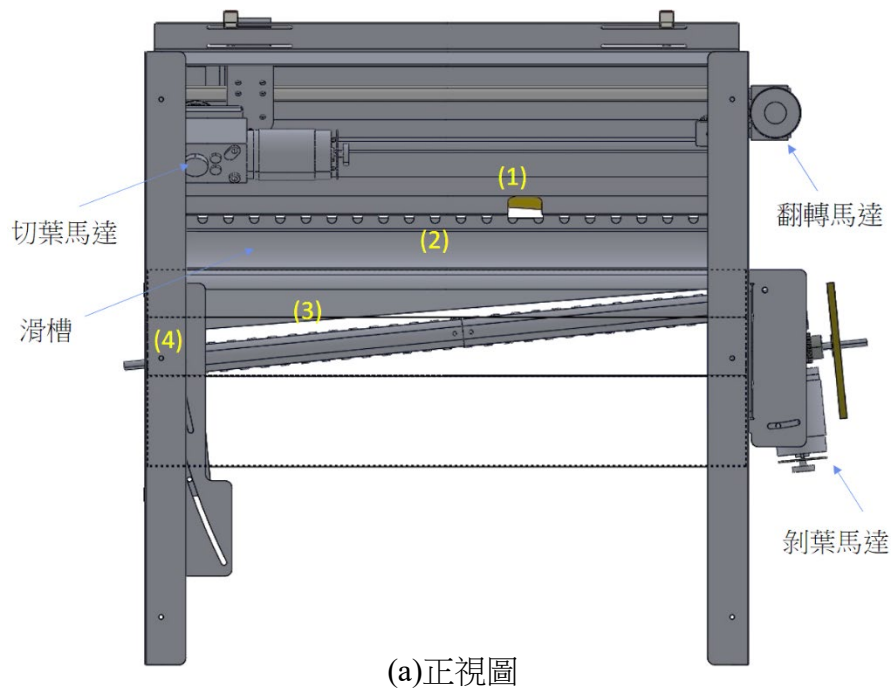


圖 4. 玉米筍剝葉機運作流程。

Fig. 4. The operation process of the developed baby corn bracts peeling machine.

二、玉米筍切葉機構

（一）切葉機構組成

1. 設計切葉機構上可安裝切葉刀片（雙端刀片），破壞苞葉的結構，並且有調整螺絲可調整刀片切割深度、角度，使刀片與玉米筍能有緊壓接觸。以線性滑軌帶動切葉機構作往復行程線性運動，帶動刀片在玉米筍側面劃刀，在每次往或復行程後可以轉動不同端刀片，使刀片面與玉米筍表面維持設定切入角，為下一個待剝葉玉米筍側面劃刀，增加剝葉劃刀效率（圖 5、6）。
2. 線性滑軌滑塊上裝設切葉裝置限位機構，當滑塊通過極限開關時即停止，固定玉米筍支撐板金與翻轉機構玉米筍支撐板金，提供玉米筍在切葉過程不會滑動。當切葉完成觸動極限開關，翻轉機構啟動，玉米筍落於滑槽上，接著滑入剝葉滾輪上。翻轉機構觸動極限開關即停止，固定玉米筍支撐板金上裝設有光電開關，偵測若有玉米筍進料，翻轉機構玉米筍支撐板金啟動，為下一支玉米筍進行切葉。

（二）切葉機構運轉性能測試

切葉機構性能測試取樣量測48支玉米筍，切葉之長度與切長部位如圖7所示，切長約占總長度75%，切深約在4 mm左右，每支玉米筍切葉時間2.3秒，切葉損傷定義為切到玉米筍穗，試驗結果為無損傷，試驗結果如表1所示。

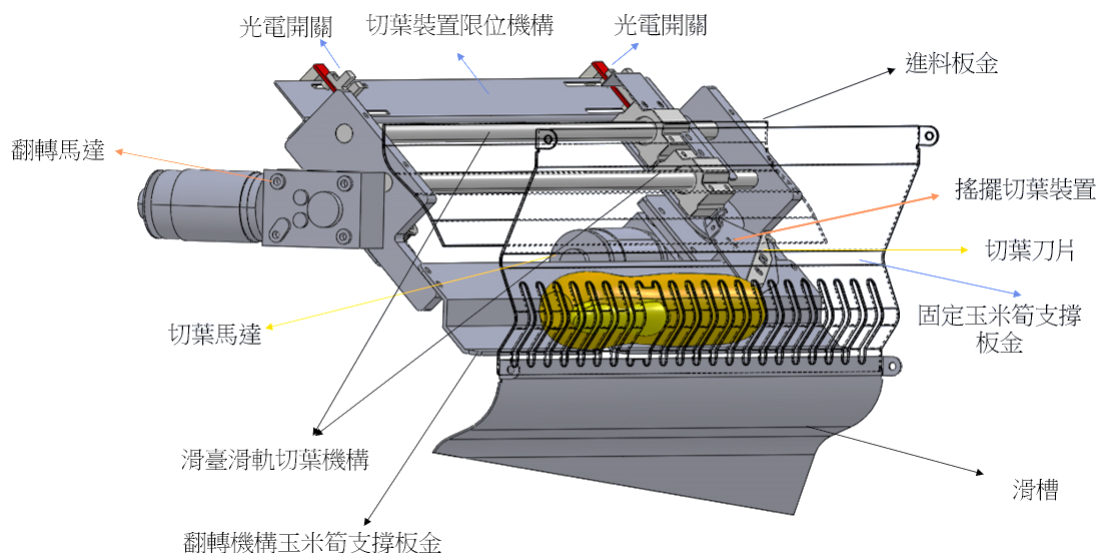


圖 5. 切葉機構圖。

Fig. 5. The leaf-cutting mechanism diagram of the developed baby corn bracts peeling machine.

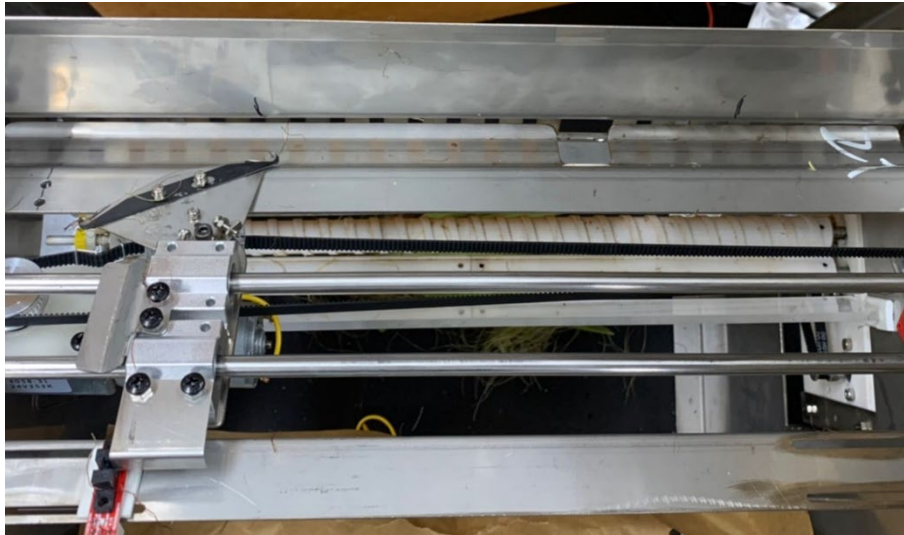


圖 6. 切葉機構實體圖。

Fig. 6. The bract-cutting mechanism entity diagram of the developed baby corn bracts peeling machine.



圖 7. 玉米筍切葉部位。

Fig. 7. The cutting-part of the baby corn bract of the developed baby corn bracts peeling machine.

表 1. 玉米筍切葉性能試驗

Table 1. Experiment on cutting performance of the developed baby corn bracts peeling machine.

Parameters	Before leaf cutting	After leaf cutting
Shoot length (mm)	180.4	
Cutting length (mm)		136.0
Cutting depth (mm)		4.1
Cutting ratio (cutting length/shoot length, %)		75.0
Cutting time (sec)		2.3
Cutting success ration (%)		100.0
Damage ratio (%)		0.0

三、玉米筍剝葉機構

(一) 剝葉機構組成

1. 滾輪機構由(1)滾輪固定座(2)滾輪與馬達固定座(3)軸承座(4)滾輪組。
2. 動力與傳動機構由(1)直流馬達(2)皮帶輪(3)齒輪(4)皮帶(5)軸承。藉由馬達配合皮帶輪，使馬達輸出轉速降低，提高扭矩，再藉由齒輪使滾輪可以相對運動。可由機構支撐板金調整剝葉滾輪傾角，剝葉機構如圖8所示。
3. 滾輪組分別為直紋與斜紋，直螺紋為弧寬10 mm、槽深1 mm之紋路，斜螺紋為連續環狀紋路，凹陷處槽深1 mm，槽間距為5 mm。滾輪螺紋設計與實體圖，如圖9所示。

(一) 剝葉機構運轉性能測試

1. 每個玉米筍剝葉前、後其重量、長度尺寸有明顯減量，且玉米筍在個體上存在極大的變化，可知食用部位重量僅占三分之一，且體積也降至二分之一以下，剝完葉後可有效降低運輸時的成本。剝葉性能測試取樣量測48支玉米筍之平均值(標準差)，結果如表2所示，剝葉前重量(64.5 ± 15.0 g)、最大徑(28.5 ± 3.5 mm)、長度(187.4 ± 30.9 mm)、突出鬚長(104.6 ± 34.7 mm)。剝葉後重量(19.8 ± 11.9 g)、最大徑(17.9 ± 4.0 mm)、長度(135.7 ± 27.5 mm)。
2. 設計剝葉滾輪機構，滾輪夾住玉米鬚產生向下拉力，促使玉米筍轉動，及推擠出玉米筍穗本體，若剝葉後之玉米筍苞葉厚適中，大都可順利剝葉，剝葉成功的定義為只要可將玉米筍的苞葉去除，測試48支玉米筍其剝葉成功率為87.5%，平均每支玉米筍剝葉平均時間18.7秒，如表3所示。但剝葉後玉米筍穗斷裂或磨損者皆屬損傷也較高，玉米筍損傷位置，較易發生在剝葉後的玉米筍尖端(較細)部位被折斷或玉米筍穗磨傷，如圖10所示，目前降低損傷為後續改良之方向。

玉米筍外觀對剝葉機構參數設計目前雖具有剝葉功能，但仍有一些問題尚需克服，例如剝葉平均時間改善，可由機構支撐板金調整剝葉滾輪傾角，讓滾輪輸送過程加快。再者玉米筍苞葉厚度大於1公分或玉米筍前端玉米鬚過長其玉米鬚會捲在轉軸上，易發生傳動機構堵轉現象，目前考慮在滾輪固定座上加入彈簧調整，使滾輪下拉葉片時具備更高彈性，減少堵轉。或玉米筍外觀物性差異大，剝葉前可考慮分級選別後再進行剝葉處理。另外，玉米筍前端玉米鬚，若採摘被切除，玉米筍在滾輪上空轉，滾輪螺紋無法抓取苞葉。玉米筍苞葉包覆緊實，表面光滑，需讓玉米筍在滾輪螺紋上可自轉，預期可提高玉米筍剝葉的效率。

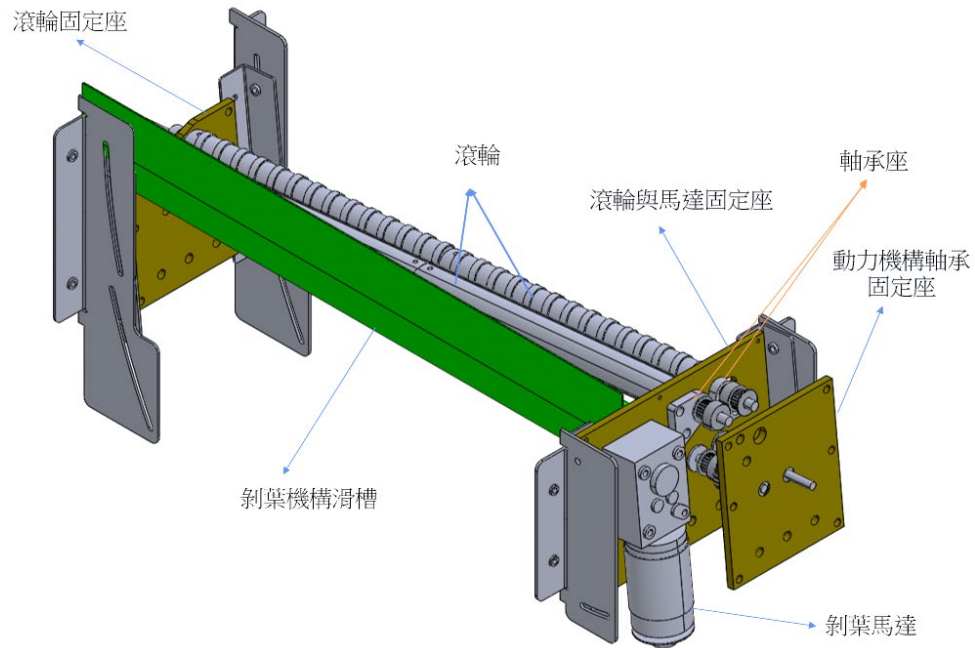


圖 8. 滾輪機構各部位說明。

Fig. 8. Description of each part of the roller mechanism of the developed baby corn bracts peeling machine.

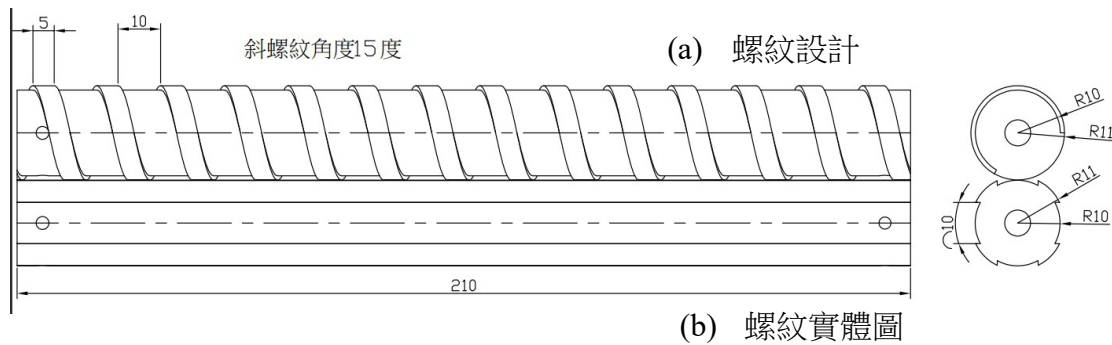


圖 9. 滾輪螺紋設計(a)與實體圖(b)。

Fig. 9. Roller thread design (a) and physical drawing (b) the developed baby corn bracts peeling machine.

表 2. 玉米筍剝葉前後外觀表現情形

Table 2. Appearance of baby corn shoots before and after peeling by the developed baby corn bracts peeling machine.

Parameters	Before peeling (Mean $\pm$ SD)	After peeling (Mean $\pm$ SD)
Total weight (g)	64.5 $\pm$ 15.0	19.8 $\pm$ 11.9
Total length (mm)	187.4 $\pm$ 30.9	135.7 $\pm$ 27.5
Corn silk length (mm)	104.6 $\pm$ 34.7	-
Diameter (mm)	28.5 $\pm$ 3.5	17.9 $\pm$ 4.0
Leaf thickness (mm)	-	4.9 $\pm$ 1.0
Panicle length (mm)	-	114.7 $\pm$ 29.0
Panicle stalk length (mm)	-	22.9 $\pm$ 11.3

表 3. 玉米筍剝葉性能表現

Table 3. Function performance on peeling of the developed baby corn bracts peeling machine

Function performance	Mean value
Peeling ratio (%)	87.5
Peeling time (s)	18.7
Damage ratio (%)	62.5



圖 10. 玉米筍損傷情形。

Fig. 10. Damage patterns of baby corn shoots.

肆、結論

本研究所開發之玉米筍剝葉機具備切葉及剝葉功能，運作流程為將玉米筍由上層放入，由切葉裝置進行腹部切葉，再由下層的剝葉裝置剝開玉米筍苞葉，最後將玉米筍穗送出。剝葉機械運轉性能結果顯示，切葉裝置可順利完成切葉功能，而剝葉裝置剝葉率約87.5%。因玉米筍外觀差異大且筍穗幼嫩，剝葉後損傷率也較高，未來仍需進一步改善剝葉裝置性能以提升作業品質。本研究開發之玉米筍剝葉機可提供玉米筍省工化剝葉作業支援，具體達成生產成本下降及增加生產效能等目標，藉此提升玉米筍生產競爭力，並作為未來產業擴展之依據。

參考文獻

- 謝光照。2020。玉米生產的健康農法。農業世界雜誌 445: 64-71。
- 謝光照、戴宏宇。2020。鮮食用玉米收護適期之判斷。農業試驗所技術服務季刊 122: 1-7。
- 謝光照、戴宏宇、孫凭璋。2021。高檔蔬菜-玉米筍。農業試驗所技術服務季刊 127: 1-7。
- Dass, S., V. K. Yadav, A. Kwatra, M. L. Jat, S. Rakshit, J. Kaul, O. Parkash, I. Singh, K. P. Singh, and J. C Sekhar. 2008. Baby corn in India. Technical Bulletin, Directorate of Maize Research, Pusa Campus, New Delhi. 6: 1-45.
- Li Z., J. Fu, and X. Luo. 2021. Tensile properties and fracture mechanisms of corn bract for corn peeling device design. Agriculture 11: 796-810.
- Rani, R., R. K. Sheoran, P. G. Soni, S. Kaith, and A. Sharma. 2017. Baby corn: A wonderful vegetable. Int. J. Sci. Environ. Technol. 6: 1407-1412.
- Yang F., Y. Du, Q. Fu, X. Li, Z. Li, E. Mao, Z. Zhu. 2021. Design and testing of seed maize ear peeling roller based on Hertz theory. Biosyst. Eng. 202: 165-178.

112年 7月 02日 投稿

112年 9月 12日 接受