

椰子基本物性與剝殼機構設計之研究

陳秀文¹

摘 要

國人對於椰子的利用傳統上採用剖切方式僅攝取汁液，剩餘果皮殘渣便隨處丟棄嚴重製造污染，因此椰農轉型推出剝殼椰子，即先行剝除椰子外殼僅存內果皮(硬殼)再加以冷藏保鮮販售，果皮殘渣再經粉碎後當介質利用，作法上較為環保，目前剝殼方式仍以人工為主。本研究即針對椰子基本物性加以探討分析，進而規劃設計剝殼機構。

調查顯示椰子外觀大部分呈三稜形，果實由外果皮、中果皮、內果皮組成，外果皮呈綠色或淺黃色，光滑堅實，富韌性，中果皮屬纖維層含軟木屑包覆著內果皮。經試驗結果顯示果皮含水率變化與破壞力之間有密切關係，即外果皮破壞力隨著含水率下降有逐漸增大現象，中果皮破壞力與含水率多寡無直接關係，但與纖維條數、厚度有關。本研究初步設計△字錐型齒剝殼機構以拉扯方式將椰皮撕裂，效果不佳且容易造成硬殼損壞使汁液外溢，因此改用高速旋轉的盤刀以切削方式進行對椰皮的破壞則可得到較佳的剝除效果，剝殼率最高可達 57.3%，殘餘果皮再依賴鋼絲輪來加以去除。

關鍵詞：椰子、物性、剝殼機構

前 言

可可椰子屬棕櫚科大型熱帶植物，分佈範圍涵蓋熱帶亞洲、大洋洲、拉丁美洲及非洲，極限緯度在南北緯 27°，理想的緯度則在南北緯 20°⁽¹⁾，其中台灣產區分佈之緯度在北緯 23.6°。

椰子自古即有天堂樹之美稱，具有商業及工業用途。如椰子水含多種生長激素及維生素 C，可作清涼飲料，椰纖可作栽培介質及墊片，椰子殼則含灰分、木質素、纖維素、戊聚糖等成份可作工藝品或椰雕，椰肉可生食、做菜或加工製作成椰油、椰子粉、椰脂等利用價值非常高⁽²⁾。對於椰子利用方式國人仍以攝取汁液當作飲料為主，由於椰子之外皮光滑堅實，富韌性、造成消費者處理上的困擾，因此只好購買路邊攤販將椰子剖切後瓶裝之椰子水，

¹行政院農業委員會高雄區農業改良場助理研究員

其餘椰纖或椰殼均未善加利用，隨便丟棄於山溝、河床或路邊，製造環境污染。以行政院農委會 90 年農業統計年報椰果產量 49,522 公噸⁽³⁾，則一年大約要製造 32,932 公噸污染物，確實會造成環保問題之一大負擔。

基於上述原因及加入 WTO 國外椰子進口後之衝擊下，椰價每況愈下，促使椰農轉型推出剝殼椰子(即先行去除椰子外殼僅存內果核)，此產品經冷藏保鮮後販售頗受消費大眾歡迎，其原因為體積減少，攜帶方便，消費者只要將吸管插入果核芽眼即可攝取到椰子汁液，方便又環保，此加工後之剝殼椰子產品為椰農帶來商機。以目前一年大約可生產 1 萬 6 千餘公噸剝殼椰子，每公斤單價以 25 元計，則產值約 4 億 1 仟餘萬元，若再將去除之果皮纖維粉碎後作為其他用途之質材販賣，每公斤市價 4 元計，產值達 1 億 3 仟餘萬元，合計加工後總產值達 5 億 4 仟餘萬元，(其他副加產物尚未包括椰殼及椰肉)，比未加工前以鮮椰果販賣時每公斤市價 6 元計，總產值約 2 億 9 仟餘萬元高出 2 億 4 仟餘萬元(表 1)。

目前椰子剝殼方式係利用一支固定三角架上銲接尖扁型齒，以手持椰子往下重擊尖扁型齒將堅實外皮刺破後再分層剝除(圖 1)，每小時大約可處理 60~80 粒，此人工作業方式費時耗工，操作過程危險性高。國內有關椰子剝殼機械可供參考資料甚少，因此本研究擬針椰子基本物性加以探討分析，期設計出可取代人工之剝殼機構，提昇作業效率及降低加工成本，使椰子產業得以永續經營。

表 1.椰子加工與未加工產值調查表

Table 1. Survey of the production value for processed and unprocessed coconuts

處理別		每公頃產量 (公斤)	總產量 (公噸)	市價 元/公斤	總產值 (仟元)	污染物 (公噸)	產值比較 (仟元)
未加工	鮮果	11245	49,522	6	297,132	32,932	
加工	剝殼椰子	3767	16,590	25	414,750		+ 249,346
	果皮纖維 (回收利用)	7478	32,932	4	131,728	-	

註：1、以 90 年農業統計年報椰子總產量 49,522 公噸計算。

2、加工或未加工之椰子價格均以椰農產地售價計算。



圖 1.人工剝殼方式

Fig.1.Shelling coconut by labor.

材料與方法

一、試驗材料

購自傳統批發市場消費量占有率達 95%以上高幹種又稱晚生種椰子。

二、試驗設備

(一)、恆溫乾燥箱(Drying oven,DV400)、電子天秤(ARA520)。

(二)、HANDA AK-50 型機械式拉力計(圖 2)。



圖 2.HANDA 型 AK-50 拉力計

Fig.2. HANDA type AK-50 tensiometer.

(三)、AM01 切斷試驗機(圖 3)



圖 3.椰子果皮切斷試驗機

Fig.3.Using cutting testing machine to a shell

三、試驗方法

(一)、椰子基本物性量測

1、椰子外觀及組織結構

隨機抽取 30 粒椰果，以投影法及電子式天秤、游標尺分類量測果實外觀及結構組織。

2、椰子果皮厚度量測

隨機抽取椰果 30 粒將椰子切開成剖面(圖 4)以游標尺針對外果皮及中果皮之厚度加以量測，外果皮量測外緣皮，中果皮量測區域從果蒂起始點、尾端起始點、二側外緣(離內果核最近點)等各取 6 點加以量測，由於中果皮組織含軟木屑，纖維呈條狀形量測時將軟木屑刮除後再量取纖維厚度。



圖 4.椰子剖面

Fig.4. coconut by Section

3、椰子果皮含水率變化

一般椰農將採下來的鮮椰果及時完成剝殼可保椰汁新鮮度，經觀察椰子若在常溫 25°C~28°C 存放 10 天後表皮或果蒂部分開始脫水形成離層現象，可能影響椰汁品質或發生異味。本試驗隨機抽取採收後等級不一椰果 30 粒，按照 1~10 天數逢機取外、中果皮樣品數，以攝氏 103°C±2°C，烘乾時間為 4 小時以上，到結乾恒重止，測試果皮 10 天內含水率之變化。

4、椰子果皮破壞力

以逢機取樣方式將外果皮切成 10cm×2cm×0.5~0.6mm；中果皮由外層往內切成 10cm×2cm×5~6mm 試片各 30 片，兩種果皮第一片不乾燥先行利用機械式拉力計測試破斷拉力及利用作者自行設計 AM01 型切斷試驗機，將試片擺放在塑膠板上，利用刀具由上往下將果皮切斷為止，計算其最大切斷力，其餘分批置入乾燥箱內，經預備試驗結果以乾燥速率較接近自然乾燥之溫度外果皮以 25°C、中果皮以 35°C 進行乾燥，每隔 30 分鐘依序取出以同樣步驟加以測試，兩種果皮試片共做 10 次 3 重複。

(二)、剝殼機構規劃設計與測試

結果與討論

一、椰子基本物量測及果皮含水率與破壞力之間關係分析

(1)、椰子外觀及組織結構

椰子因生長環境條件及栽培技術或品種之不同外觀呈不規則狀，台灣所栽培之綠色品種通常呈三稜形，外果皮色澤亦因品種大約有綠色、黃色、橙色等，椰子果實結構組織可分為外果皮、中果皮(纖維)、內果皮(硬殼)等，外果皮表面光滑堅實，富韌性，中果皮由纖維構成內含軟木屑，纖維呈長條狀形，內果皮則為堅實的硬殼內含椰子汁液及果肉。由(表 2)得知大粒果平均每粒重在 4,260g，外中果皮占 69% 汁液含量占 17.3%；中粒果平均每粒重在 3,200g，外中果皮占 64.1%，汁液含量占 25.4%；小粒果平均每粒重在 1,800g，外中果皮占 64.9%，汁液含量占 14.3%，顯見消費者若要購買椰子或剝殼椰子以選擇中粒果最經濟，利用性較佳。

表 2.椰子基本物性

Table 2.The basic physical properties of the coconut

等級	面積 cm ²	外徑 cm	軸長 cm	果重 g/粒	(外果皮+中皮) g/粒	內果皮(硬殼)		
						果核 g	果肉 g	汁液 g
大	1580	21.9	24.3	4260	2934	308.7	279.2	738.0
中	1200	19.5	22.2	3200	2051	281.0	345.0	523.0
小	890	16.0	19.1	1800	1169	170.8	202.3	258.0
平均	1223.3	19.1	21.9	3086.7	2051	253.5	275.5	506.3

(2)、椰子果皮厚度量測

由表 3 得知外果皮平均厚度 0.51mm，中果皮部分為果蒂起始點平均厚度 39.8mm、尾端起始點平均厚度 19.8mm、外緣 a 值及 b 值平均厚度分別為 21.2mm；18.6mm，纖維平均厚度 0.23mm，從量測結果由中果皮外緣周厚度差異性，顯示椰子外觀呈不規則狀現象。

表 3.椰子外果皮及中果皮厚度量測表

Table 3.The thickness of the epicarp and mesocarp of a coconut

次數	外果皮 mm	中果皮				
		果蒂起始厚度 mm	尾端起始厚度 mm	外緣厚度 mm		纖維厚度 mm
				a	b	
1	0.50	43.4	22.6	18.5	30.2	0.21
2	0.51	38.5	18.4	26.8	16.8	0.30
3	0.50	48.7	28.5	21.0	28.6	0.23
4	0.50	39.3	15.3	21.6	17.4	0.19
5	0.51	29.5	17.2	18.9	19.9	0.25
6	0.51	45.8	26.5	25.8	12.8	0.20
7	0.51	36.6	15.7	14.4	16.3	0.22
8	0.50	38.9	15.4	20.2	15.2	0.25
9	0.51	31.6	12.8	18.5	13.2	0.25
10	0.50	45.4	25.3	26.3	15.8	0.22
平均	0.51	39.8	19.8	21.2	18.6	0.23

(3)、椰子果皮含水率變化

圖 5 為椰子採收後第 1 天至第 10 天外果皮及中果皮所作的含水率測定結果及變化情形外果皮含水率從第一天 68.5%降為 48.9%，降幅達 19.6%，中果皮含水率從第一天 88.6%降為 77.2%，降幅僅達 11.4%，由試驗結果得

知中果皮水份變化較小，顯示保水性相當好，作為農園作物栽培利用上頗佳之質材。

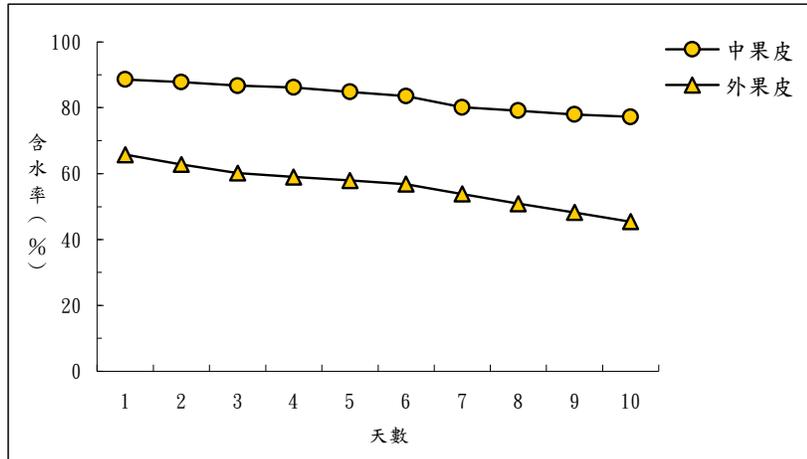


圖 5.椰子採收 10 天內果皮含水率變化圖

Fig. 5.Changes of water content in coconut shell harvested in 10 days

(4)、椰子果皮破壞力

1、外果皮及中果皮破斷拉力測試

外果皮含水率從未乾燥前之 63.5% 下降至 24.9% 時，其破斷拉力值從 8.25kg 增至 10kg，最大破斷拉力為 13.25kg，單位面積平均抗拉力為 $1.02\text{kg}/\text{mm}^2$ ，顯示外果皮抗拉力隨著果皮含水率下降有逐漸增大的現象；中果皮含水率從未乾燥前之 85.2% 下降至 70.2% 時，破斷拉力值則介於 21~40kg 之間，平均值為 30.34kg，單位面積平均抗拉力為 $0.29\text{kg}/\text{mm}^2$ ，顯示中果皮之抗拉力與含水率無直接關係，但與纖維分佈條數及厚度有直接關係 $R^2=0.85$ ，即纖維條數越多或纖維的厚度越厚，抗拉力越大(圖 6、圖 7)。

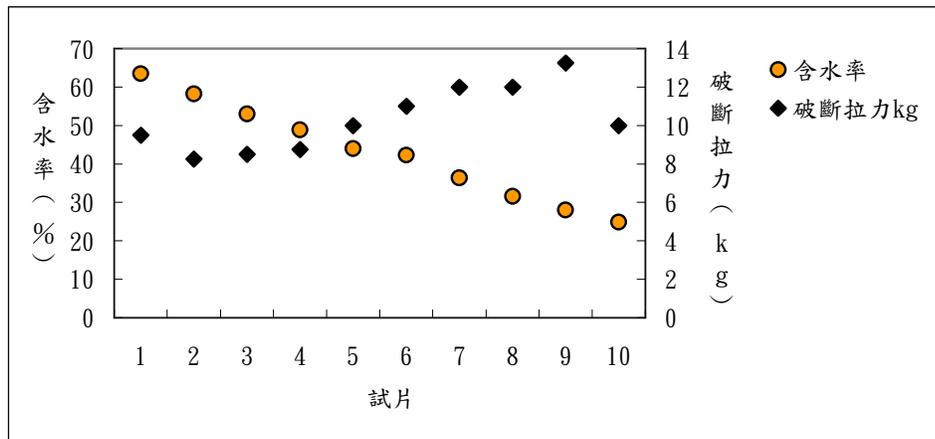


圖 6.椰子外果皮含水率與破斷拉力之間關係變化

Fig.6.The relationship between water content and tensile force on the epicarp of a coc onut.

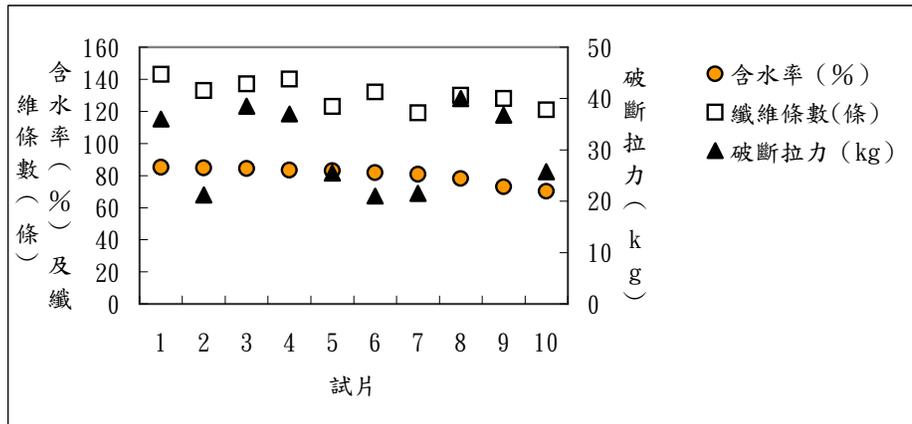


圖 7.椰子中果皮含水率與破斷拉力及纖維條數之間變化

Fig. 7.The relationship between water content and tensile force ,fiber count on the mensocarp of a coconut.

2、外果皮及中果皮切斷力測試

由圖 8、圖 9 為刀具對椰子外果皮及中果皮切斷力試驗，並依據下列公式計算出果皮切斷力

刀具總重=1.264kg

直線軸承滾動磨擦系數=0.003(THK LM system 參照值)

$$\text{動量： } F_0 = \left(\frac{W}{g} v - \frac{W}{g} v_0 \right) \dots\dots\dots (1)$$

t = 刀具作用的時間 (sec)

W = 刀具總重量 (kg)

v = t 時間後的速度 (m/sec)

v_0 = 接觸果皮時之初速度 (m/sec)

g = 重力加速度 (9.8m/sec²)

$$v_0 = gt_1 = g\sqrt{2h/g} = \sqrt{2gh} \dots\dots\dots (2)$$

$$t = 2S/v_0 \dots\dots\dots (3)$$

以上述 3 項公式以測試後試驗數據代入計算得到果皮切斷為止時之切斷力，從測試結果顯示外果皮切斷力隨著含水率下降呈現需較大切斷力現象；中果皮切斷力則與含水率無直接關係，仍與纖維條數及厚度有關， $R^2=0.86$ 。

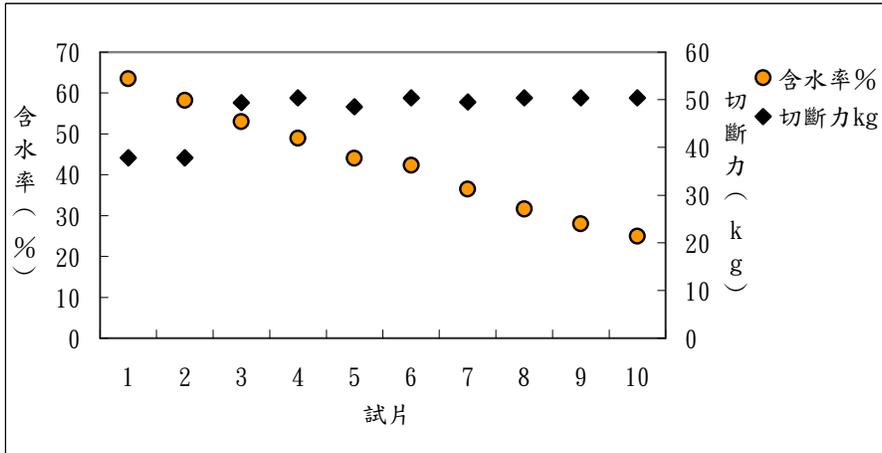


圖 8.椰子外果皮含水率與切斷力之間關係變化
 Fig.8.The relationship between water content and cutting force on the epicarp of a coconut.

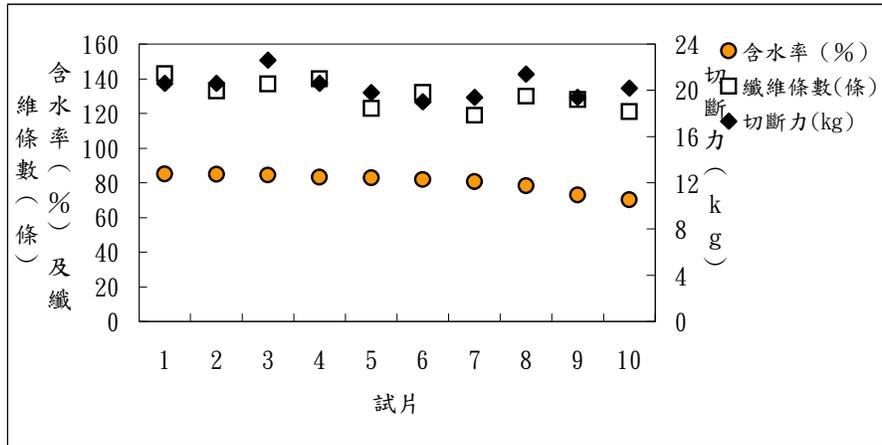


圖 9.椰子中果皮含水率與切斷力及纖維條數之間變化

Fig. 9.The relationship between water content and cutting force ,fiber count on the mesocarp of a coconut.

二、剝殼機構規劃設計與性能測試

(一)、第一階段機構設計與測試

外果皮光滑堅實又富韌性，依前項物性測試值其最大破斷拉力達 13.25 kg；中果皮最大破斷拉力高達 40kg，因此初步設計一組弧輪，在弧輪上等距排列方式銲接 9 支長 5cm Δ 字錐型齒，並以 2HP 馬達及鏈條帶動弧輪滾動，將椰子擺放在 Δ 字錐型齒上(圖 10)，測試結果利用其齒牙滾動可將椰子堅實果皮分塊撕裂，但連帶容易將椰子內果核撕破，造成椰子汁液外溢，由以上第一階段設計及試驗，亦得到以下結論：

- 1、進行剝殼作業時必須要將椰子上下挾持及旋轉，防止椰子被弧輪上的錐形齒刺破或撕裂後卡住，無法進行二次撕裂動作。
- 2、錐型齒的形狀及角度需加改良，不宜與椰子成 X 軸向對稱，以免產生更大阻力。
- 3、對椰殼破壞動作宜以切削方式進行剝除，以免撕破椰果。

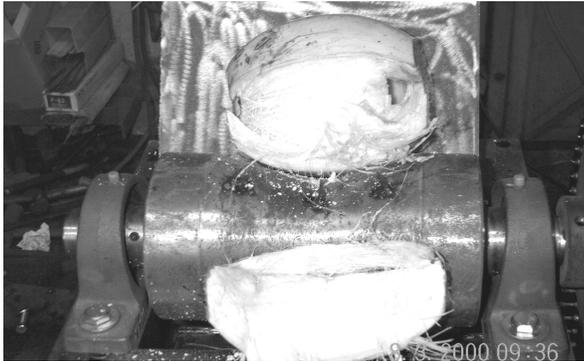


圖 10.剝除椰子果皮情形

Fig. 10. Shelling the epicarp of coconut

(二)、第二階段機構設計與測試

為改善上述實驗缺失規劃設計若以切削方式進行椰皮剝除應較為可行，依據物性分析椰子最大外徑 21.9cm、軸長 24.3 cm；最小外徑 16cm、軸長 19.1 cm，刀具需具有相當之外徑才能得到最大剝除面積，並考慮挾持椰子果蒂及尾部所需之距離，因此選擇刀具為外徑 15cm 之三角刀刃形盤刀，由於設計刀具對椰子果皮進行切削時為連續作業，依據(張 1981)切削理論要產生連續切削的條件之一為刀具斜角大，才能讓切削流動順暢⁽⁴⁾、經由試驗發現盤刀之刀刃角對椰子果皮之切削以 55° 時可得到較佳效果。由於椰子在採收後之 10 天內二種果皮之破壞力分別為：外果皮最大單位面積切斷力 5.04kg/mm²；中果皮最大單位面積切斷力 0.2kg/mm²；要剝除椰殼時其刀具剝除力需大於外、中果皮破壞力之和，因此選擇帶動刀具之馬力數為 1HP，按照前項規劃設計製造一台雛型機(圖 11)，其主要機體構造為四方形機架一組；剝除機構包括盤刀形刀具、馬達；椰子挾持機構包括上下挾持錐形齒、可旋轉手輪；進刀機構包括滑移平台、刀具角度調整器。作業時為考慮果蒂平面分布面積較大及平整易於定位，以果蒂朝上，尾部向下方式擺放在挾持旋轉機構上，尾部壓置在底座下錐型齒固定後，再將上方手輪旋轉使上錐型齒向下插入果皮後，即完成椰子挾持動作。此機構藉由馬達帶動可使椰子作 X 軸方向旋轉，然後旋轉進刀機構滑移平台上之手輪，將附於馬達之高速迴轉盤刀前推接觸椰子表皮，二者交錯軌跡便成為垂直正切削成平面，如此圓周式運動可達到對椰子果皮剝除目的且效果佳，經實際測試結果盤刀角度為影響剝殼率最大的因素，當盤刀角度與椰子中心成垂直線時(即刀具刀刃尖角對椰子而言在 0° 狀態下)平均剝殼率 26.9% 為最低，剝殼效果不佳，若將角度調整在 6° 時平均剝殼率為 32.1%，調整在 12° 時平均剝殼率為 43%，調整在 18° 時平均剝殼率為 53.1%，調整在 24° 時平均剝殼率又降為 46.4

%，從以上測試結果比較盤刀角度以 18° 時可得到最佳剝殼率，最高剝殼率達 57.3%。(圖 12、圖 13)



圖 11.椰子剝殼機械示意圖

Fig.11.The shell machine for coconut

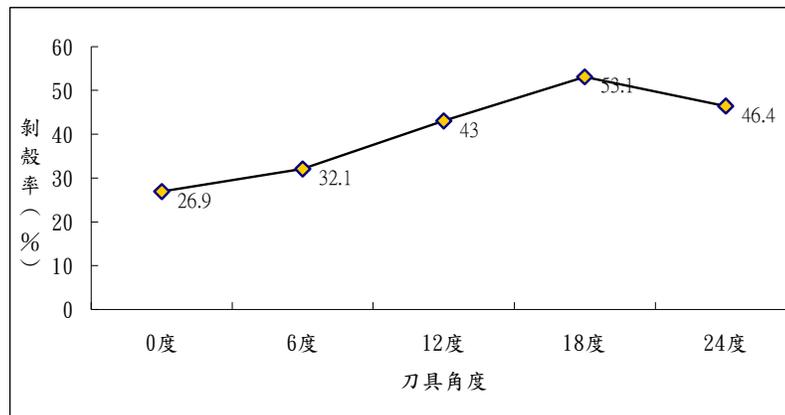


圖 12.刀具角度與剝殼率之間變化

Fig.12.The relationship between the angle of the cutter set and the shelling rate.



圖 13.椰子剝殼後情形

Fig.13.A coconut after shelling

結 論

本研究針對椰子基本物性的量測與分析，進而規劃設計剝殼機構並加以測試，獲得以下結論：

一、以椰子基本物性分析顯示中粒果平均汁液含量比大與小粒果多 8.1~11.1%；果肉平均含量亦比大粒果多 4.3%，與小粒果比較少 0.4% 但差異不大，至於可作為栽培介質之中外果皮纖維含量三者亦相當接近，因此若以利用率或經濟性而言選擇中粒果較佳。

二、椰子存放 10 天期間測試其含水率變化情形觀之，中果皮水份下降趨勢變化較小，顯示其保水性相當好，若作為農園作物栽培利用介質實為相當良好之質材。

三、若以 10 天為基準測試果皮破壞力，發現外果皮破壞力隨著含水率下降有逐漸增大現象；中果皮破壞力與含水率多寡則無直接關係，但與纖維條數、厚度有密切關係。

四、依物性分析結果所設計以拉扯方式破壞椰皮確實需較大的作用力，且容易將硬殼破壞造成汁液外溢，若以盤刀切削方式進行椰皮的破壞則可得到較佳的剝除效果，盤刀角度在 18° 時剝殼率最高可達 57.3%，所剝除椰皮成細屑或條狀，可直接作栽培介質或其他用途，不需再作二次粉碎。

參考文獻

1. 柯立祥。1980。農作篇(二)。農藝作物(果樹)117-118。台灣農家要覽。梁鶚主編。豐年社出版。
2. 王忻譯。1965。可可椰子栽培法。徐氏基金會出版。1-2。
3. 農業統計年報。2000。行政院農業委員會編印。12-13。
4. 張甘棠。1981。機工學。三文出版社。P290-p291。

A study on the basic characteristic and the design of de-husk mechanism for coconuts

Shu-Wen Chen¹

Abstract

Traditionally, coconut juice is served by firstly cutting the upper part of a coconut by manual way. Remainders of coconuts were discarded which do result in serious environment problems. Therefore, a new product, frozen husked coconuts are promoted in the market. A husked coconut is an inner hard shell produced by peeling the outer shell of a coconut. By crashing the outer shells to pieces, they can be used as cultural medium to grew plants for environment purpose. In this paper, fundamental physical properties of coconuts were studied and the mechanism of a sheller was developed. The results of physical property showed that the destructive stress was increased as water content in epicarp was decreased. No correlation between them in mesocarp was made, but related to the thickness of fibers. Accordingly, a cutter assembly was designed to tear strip the epicarp of a coconut with a 57.3% husking rate, and a high speed steel wire wheel was used to polish the shelled coconut.

Key words: coconut, physical property, husking, mechanism

¹Assistant researcher, Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station, COA.