

坡地果園振動採收機之研究—索引式

振動採收機設計及採梅試驗研究

A Study on Cable Shaker Design for Harvesting Prunus Mume on Slope Land

國立臺灣大學農機系副教授

劉 昆 揚

Kun-yang Liu

Summary

A convenient tiny Cable Branch Shaker was designed for harvesting Prunus Mume. It can solve some special problems in slopeland. It consists some performances as follows:

1. Shaking operation time is limited within 20 sec.
2. Effect frequency of Cable Shaker for harvesting Prunus Mume is between 400 rpm and 500 rpm.
3. The profit of Cable Saker for harvesting Prunus Mume is 26 times the profit of man hand harvesting (\$15 per kg. basis)

摘 要

1. 坡地果園振動採收機採收青梅，以索引式振動採收機所需工時最少，其能克服坡地地形障礙，最具發展潛力。
2. 索引式振動採收機之最有效頻率在400~500 rpm之間。採收率高達95%以上。
3. 索引式振動採收機之最有效加振時間為20秒，可採以95%可採收之果實，超過20秒將浪費工時與油料。
4. 如以索引式振動採收機採收本省青梅，其需要量達千部以上。
5. 以索引式振動採收機採以本省青梅，如梅價15元/公斤，則每天有26,438元之淨收益為人工採收之26倍。

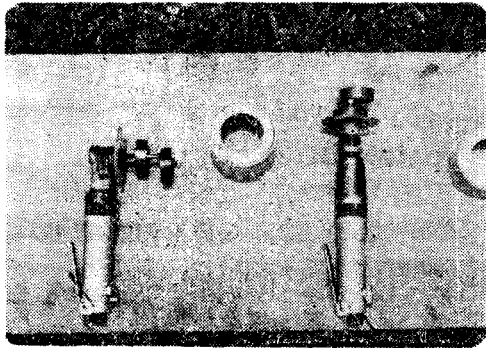
一、前 言

本省坡地宜農牧利用之面積約有四十五萬公頃，佔全省可耕地面積一百一十餘萬公頃之百分之四十，就臺灣農業而言，坡地農業應甚具發展潛力，尤其近年來人口之膨脹，工商業之更形發達，坡地農業之利用，更形重要，坡地農業中，果樹栽培在臺灣過去，一直是坡地農業中重要的一環，如柑橘、芒果、龍眼、荔枝、桃、李、梨與梅等等，而其中梅之栽培，由於採收困難，栽培面積一度減少，直至民國69年起，因梅價上升，而告增加至70年有4,500公頃⁽¹⁾之種植面積。

坡地果樹機械採收之困難乃在於機械之行走裝置與活動空間之限制，大型水果還比較容易採收，小型果實如梅等，採收期因青梅與梅葉同色，不易辨別，採收更是問題重重，傳統採梅法乃是以竹竿敲打梅樹，而以帆布收集青梅，其效率甚低，乃有梅果農與採收工對分之舉。

梅樹之栽培甚具發展潛力，青梅可製成陳皮梅、梅乾與製作酸梅湯等食品加工之材料，梅樹栽培最大障礙乃在於採收，如能機械採收，梅果將是未來食品界之一大生力軍。梅果採收方法中，振動採收機應是最可行的方法，而振動採收機中，索引式振

動採收機應是坡地梅園採收中，最具開發希望之一種，筆者自民國68年度開始，陸續發展開發出(1)摩擦輪式振動機如照片(一)，(2)往復式振動採收機如照片(二)，(3)不平衡環式振動採收機如照片(三)，與(4)索引式振動採收機如照片(四)。本文除將陸續說明索引式振動採收機之原理，與其他各型採收機之比較，與採梅試驗情形外，將作經濟效益分析。



照片一 摩擦輪式振動採收機
(A.)平行支柱型 (B.)垂直支柱型



照片二 往復式振動機自動懸掛情形



照片三 不平衡環式振動採收機操作情形、採收青梅)



照片四 索引式振動採收機操作情形(採收青梅)

二、果實採收方法之探討

最原始亦沿用至今的果實採收法為以人手直接採收果實，其優點為果實採收時無機械損傷，果實成熟度較一致，採收果實品質較佳且較一致。然而其採收效率較差，為達到以人手採收的目的發展出半人工採收機，其目的在減少工人之非採收時間，增加採收效率的人力定位機協助人體收穫作業，此類採收機有單人操縱定位機，多層式摘果機，階梯式摘果機等。此類裝置之最大缺點是價格不便宜，人力之調節甚小，在人力嚴重短缺情況下，無多大意義。

以機械力採收果實則為近代果樹果實採收之創舉，以機械力採收果實方法可分成兩大類，其一直接以物體脫落果實，或帶果實之結果小枝；其二間接脫落果實；前者發展之採收機有章魚爪式採收機、敲擊式採收機，後者發展之採收機有機械振動採收機、風力採收機、水力採收機等。前者對著生於果樹外緣之大型果實如梨、芒果等將是有效，但是對小型果實如梅、李等將無用之地，後者之中，水力採收機受地形限制，風力採收機需較大馬力之動力，均不甚經濟，而機械振動採收機中，往復式振動機需較重之加重物，不平衡環式振動機則需複雜之懸掛系統，摩擦輪式振動採收機則僅產生有限之振動力，因此均不適宜於坡地果樹採收之用，索引式振動採收機因其特殊之懸掛系統，於複雜之坡地地形中甚是有利亦復有效，其採梅效果比較於(四)節中。

三、索引式振動採收機設計原理

當我們以繩索一頭固定於樹枝，另一頭以特定週期拉力時，我們即將發現樹枝開始擺動，由小而大，索引式振動採收機之設計原理乃是利用引擎子

以特定轉速，使振動機對樹枝產生額定拉力，再加上果實之慣性，若拉力所產生之加速度(a)與果實之質量(m)乘積大於果實果蒂之斷點強度(s)，則果實自然掉落，以圖號表示即 $ma > s$ ；理論上，在樹枝擺動過程中，其速度以振幅中央為最大，兩端最小，如能於擺動中間部份施以與擺動方向相反之外力，使樹枝對應產生額外之加速度 \bar{a} ，則果實所獲得之加速度，將增加為 $\bar{a} + a$ ，對果實之採收率，將可大為提高；其次，當振動機拉樹，樹亦拉振動機，振動機本身若無足夠的重量或固定力，雖有足夠的振動力，亦因本身被樹枝拉動而失去振動傳遞之效果，因此在索引式振動採收機設計上，首先考慮振動頻率範圍與振幅大小，其次考慮採收機之固着方法，再其次因繩索傳遞振動力，本身承受極大之拉力，繩索兩端接頭，必須考慮其強度夠振動機之拉力，亦復易於裝拆。

四、果樹樹枝振動模擬

果樹樹枝如圖 1 之情形，我們可以視為懸臂樑之運動，如圖 2 分叉樹枝對主枝之影響為重量 $F(x)$ 與對分叉點所形成之扭力 $M(x)$ 。

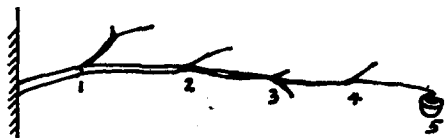


圖 1. 樹枝與果實分佈略圖

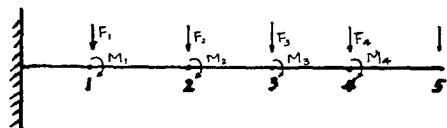


圖 2. 樹枝系統之懸臂樑運動模擬圖

以有限元素乃來解此種問題，應最恰當不過，以矩陣圖號表示為

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = \{f(t)\} \dots (1)$$

其中

$[M]\{\ddot{y}\}$ 係表示由彎力所造成之內力
(Internal force)

$[C]\{\dot{y}\}$ 係表示由阻尼產生之阻尼力
(Damping force)

$[K]\{y\}$ ：係表示由彈性體產生之彈性力
(Spring force)

$\{f(t)\}$ ：係表示外力 (external force)

如以圖 1 為例，吾人可由節點移動來模擬可為

$$F_{1K} = K_{11}\delta_1 + K_{12}\delta_2 + K_{13}\delta_3 + K_{14}\delta_4 + K_{15}\delta_5$$

$$F_{2K} = K_{21}\delta_1 + K_{22}\delta_2 + K_{23}\delta_3 + K_{24}\delta_4 + K_{25}\delta_5$$

$$F_{3K} = K_{31}\delta_1 + K_{32}\delta_2 + K_{33}\delta_3 + K_{34}\delta_4 + K_{35}\delta_5$$

$$F_{4K} = K_{41}\delta_1 + K_{42}\delta_2 + K_{43}\delta_3 + K_{44}\delta_4 + K_{45}\delta_5$$

$$F_{5K} = K_{51}\delta_1 + K_{52}\delta_2 + K_{53}\delta_3 + K_{54}\delta_4 + K_{55}\delta_5$$

$$\text{或 } [F_K] = [K]\{\delta\}$$

F_K ：彈性力， K ：彈性係數 δ ：位移
同理可得

$$[F_C] = [C]\{\delta\} \quad (\text{阻尼力})$$

$$[M_M] = [M]\{\delta\} \quad (\text{內力})$$

$$[F_t] = [F(t)] \quad (\text{外力})$$

根據上述方式推衍，梅樹基本頻率在 400 轉每分至 600 轉每分之間。其推衍另文說明之

五、採收試驗

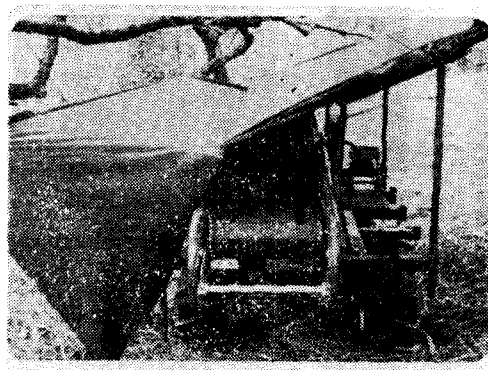
A. 試驗材料

1. 可變振幅索引式振動採收機乙臺，振幅範圍 0 公分至 30 公分。

2. 振動機動力：義大利製樂馬力廠出品 5.5 匹馬力高速迴轉柴油引擎 (3300 rpm) 乙臺。

3. 懸掛系統：以中碳鋼製 3/8 英吋口徑之卡夾做為接頭，以 3/4 英吋口徑麻繩做為振動傳遞。

4. 收集系統：(a) 做有水土保持系統之果園以果實收集機。〔如照片(五)所示〕收集，(b) 未做有水土保持系統之果園，則以帆布鋪放地面收集。



照片五 果實收集機之全貌

B. 試驗方法

B. 1 試驗種類

1. 試驗各種不同頻率對採收效率之關係。
2. 試驗各種不同頻率對果實採收損傷之關係。
3. 試驗特定頻率振動時間對採收效率之關係。

4. 試驗振動採收工時分佈。

B. 2 試驗步驟

以轉速計測定振動機振動軸轉速，以加速計置放於果實着生位置，測定對應加速度，再經放大器，記錄儀記錄結果，另以碼錶記錄操作時間。

六、試驗結果與討論

A. 不同振動頻率與果實採收率之關係，有如圖3，當振動時間限定於10秒鐘時，頻率增加至380轉/分採收率即提高至80%，當繼續增加頻率，採收率也繼續增加，至480轉最佳平均97%其後，採收率下降，至600轉以上，因僅繩索弦振動，樹枝不振動而告無效。

B. 不同振動頻率與採收果實夾雜物重率，帶蒂

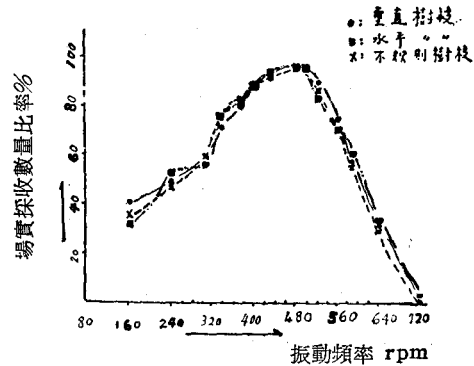


圖3. 振動機振動頻率與採收果實數量百分比之關係圖振動時間10秒

表1. 振動頻率對採收結果一覽表，振幅為 2.5mm

項目	比率					
	≈ 200	≈ 300	≈ 400	≈ 500	≈ 600	≈ 700
帶蒂青梅	12%	24%	25%	26%	17%	1%
不帶蒂青梅	26%	36%	60%	72%	42%	0.2%
夾雜物重	2%	2.3%	2.3%	2.3%	6%	2.3%
青果裂傷	0%	0.1%	0.1%	0.2%	0.1%	0.01%
青果輕傷	1.2%	1.2%	1.3%	1.3%	1.2%	0.01%
未採收青梅	62%	40%	15%	2%	41%	98.8%
備註	實際振頻 180 rpm	實際振頻 320 rpm	實際振頻 395 rpm	實際振頻 480 rpm	實際振頻 600 rpm	振落雜 物大部份為樹葉

青梅，不帶蒂青梅之影響，有如表1，帶蒂青梅所佔比率大部份係在低頻率採收時發生，高頻率範圍可採收不帶蒂之青梅，而夾雜物重比率，在超過600 rpm 後，有嚴重增加之現象，至於採收果實之損傷率，幾乎是一定的，其原因是果實掉落，互相碰撞之機會，大致是相等的，因此其損傷率幾乎是定值。

C. 振動頻率固定 (480 rpm)，振動振幅固定

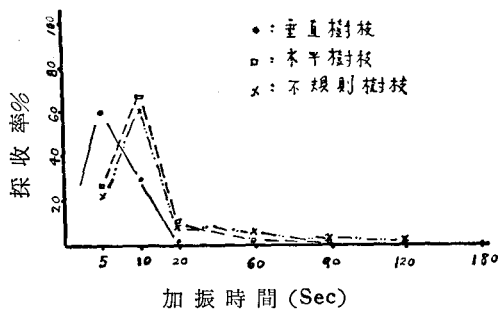


圖2. 加振時間不同與果實採收率之關係

(25 mm)，加振動時間變動時，其採收效率，有如圖2，在前10秒內，大部果實已經掉落，在垂直樹形，在加振5秒時已振落60%之果實，至加振10秒後已振落95%之果實，在水平樹枝情形與不規則樹枝情形，加振5秒時，僅振落30%，至加振10秒時，方達90%，其後之加振亦不及10%，因此，加振時間10秒至20%應已足夠，其後之加速應屬無效之加振，可予以忽略。

D. 各型振動機採收青梅效率，工時分佈有如表2，採收效率以不平衡環式振動機與索引式振動機最為有效，高達98%，而採收之不帶蒂青梅比率以不平衡環式最高，達85%，然而在搬運時間與懸掛振動機時間上，索引式振動機遠小於不平衡環式振動採收機。如樹枝愈多，其差距更大，以每樹3枝幹而言不平衡環式加搬運需1080秒，索引式需300秒，其平均差距780秒，亦即13分鐘，如在陡坡地，懸掛時間差距更大。

表2. 各型振動採收機振動採收效率與工時分佈關係

	最主採收率	不帶蒂採果比率	有效頻率	(樹與樹)搬運時間(秒)	每次懸掛時間(秒)	加振時間	所需人工
摩 擦 輪 式	10%	50%	~	120	120	10	2
往 復 式	75%	55%	400~600	180	300	20	2
不 平 衡 環 式	98%	85%	450~600	180	300	20	2
索 引 式	98%	70%	400~500	120	60	20	2

七、索引式振動採收機經濟效益分析

梅樹栽培，每公頃平均種植 400 棵。每棵梅樹平均產量40公斤，（最高產量有達 200 公斤者），每公斤青梅產地價格15元，（目前價格24元/公斤）；人工採收每人每天平均可採 100 公斤亦即人工採收淨收益

$$P_H = 15 \text{元} \times 100 - 500 \text{元} = 1000 \text{元} / \text{天}$$

而索引式振動採收，其需 2 人工，每10分鐘可採一棵，每天可採48棵，其採收量為1920公斤，機械成本，固定成本，振動機售價約 50,000元，每小時所耗柴油24元/小時，採收期 1 個月，機械壽命 10 年，則每小時機器固定成本 $50,000 \text{元} / 10 / 30 / 8 = 20.8 \text{元} / \text{小時}$ ，加上利息成本，總計 22 元/小時亦即每天約180元，其採收淨收益

採收收入 - 固定成本 - 油料費 - 採工資(技術工)

$$P_M = 15 \text{元} \times 1920 - 180 \text{元} - 192 \text{元} - 1200 \text{元} = 27,228 \text{元}$$

其中，若青梅價格低落至每公斤 5 元時，其淨收入

$$P_{M2} = 5 \text{元} \times 1920 - 180 \text{元} - 192 \text{元} - 1200 \text{元} = 8,028 \text{元}$$

若技術工資提高至1,000元/天，梅價15元時，其收益有2,6428元，梅價 5 元時，其淨收益仍有7,228元，以採收期30天而言，其淨收益已足以償還索引式振動採收機之購價。

而索引式振動採收機每天可採收約50棵梅樹，每公頃 400 棵梅樹，亦即 8 天可採 1 公頃，以臺灣 4,000 公頃之梅園，其完全機械化之採收機將需 1,000 部以上之索引式振動採收機。

八、結論與建議

1. 坡地果園振動採收機中，以索引式振動採收機採收青梅所需工時最少，其能克服坡地地形障礙，最具發展潛力。

2. 索引式振動採收機之振動 頻率在 400~500

rpm之間最為有效，採收率在95%以上。

3. 索引式振動採收機之有效加振時間為20秒，可採收95%可採收之果實。超過20秒，將浪費工時與油料。

4. 以索引式振動採收機之效率言，本省梅果採收全面機械化所需機械達千部以上具有開發價值。

5. 以索引式振動採收機採收青梅，其淨收益每天可有 26,428 元（每公斤梅價15元計）比較人工採收淨收益之 1,000 元/天，為人工淨收益之 26 倍，如每公斤梅價為 5 元時，人工採收，已無利潤可言，而機械採收，仍有7,228元之淨收益。

6. 索引式振動採收機之研究改良，使之更方便，效率更高，應是今後發展之方向。

誌 謝

本研究承農發會資助，編號 71- 農建 -4-1 源 -35(5)，完成本研究過程中，承陳順福先生，賴建洲先生之協助試驗，在此謹以致謝。

參 考 資 料

1. 臺灣省政府農林廳“臺灣農業年報” p. 184 (71)
2. 劉昆揚“坡地果園振動採收機之初步研究—小型果實機械振動採收機之設計試驗 (1)” 農業工程學報26卷第 2 期 p. 81~88 (69)
3. 劉昆揚“坡地果園振動採收機之初步研究(二)—振動採收機夾頭對果樹造成損傷之研究” 農業工程學報27卷 2 期 p. 48~p.53.
4. Daniel T. Seamount "Evaluating Productivity of Tree-Fruit Harvesting" Trans. of ASAE 24. p. 605~607 (69)
5. Miller. M. William Charles T. M. "Vibrational Characterization of the Apple-Stem System with Respect to Stem Separation" Trans. of ASAE 13 (3) p. 409~411. 416 (70)
6. Phillips A. L.; T. R. Hutchinson and R. B. Fridley. "Formulation of Forced Vibrations of Tree Limbs with Secondary Branches" Trans. of ASAE p. 138~p. 142 (70)
7. Tuck C. R. and E. R. Brown "Dynamics of a Torsional Type Inertia Shaker" J. Agric. Engng. Res. 19. 213~225 (74)