

# 柑橘果梗機械物性之分析

## A Study on the Mechanical Properties of Citrus Fruit-Stem System

臺灣省農業試驗所農機系助理研究員

陳 加 忠

Chia-Chung Chen

### Summary

For citrus is the main product of Taiwan slopeland, the study aims at determining the mechanic property of the fruit-stem system of citrus for the purpose of developing a fruit shaker.

The citrus in the study can be classified into four varieties. The chief process of experiment is arranged to determine detachment force, detachment torque, modulus of elasticity and shear modulus of elasticity. The study has a long-term experiment with sinesis and tankan to observe the difference of detachment characteristics during the period of maturity.

The results of experiment showed that, in these four varieties of citrus, the detachment force and the weight of fruits, the detachment torque and the inertia of rotation of fruits, are strongly directly correlated. The detachment force of sinesis and that of tankan decrease as they are maturing, while the detachment torques don't change much. The weight of fruits and the inertia of rotation of fruits remained almost unchanged during the period of maturing.

### 一、引 言

以農業機械取代大量勞力可解決農村勞力不足之問題。近年來水稻機械幾近完成，但在坡地機械方面，除為管理與輸送已有適當機械外，收穫機械尚未發展，成為坡地農業生產有待突破的瓶頸。

坡地農產主要以柑橘主，而振動採收為一可行方式，在設計果實收穫機械時，果梗與果實之分離性質，果梗之彈簧常為應考慮的基本條件。

利用振動使果實分離時，主要的方式有拉力與扭矩。若機械振動賦於果實的加速度或角加速度，產生拉力或扭矩大於果實分離所需的拉力與扭矩，

果實即分離，由此可知果梗系統分離特性為設計水果收穫機的重要因子。

在機械振動時，果梗之頻率，振幅與傳遞特性是其主要特性，正確的估求彈性係數和剛性係數可做為收穫機設計之用。

本文所研究的柑橘果梗分離性質，彈性係數與剛性係數可作為設計柑橘收穫機的基本資料。

### 二、文 獻 探 討

(一)分離特性

Coppock, Hedden 與 lenker 氏 (1969)

利用歪變儀對柑橘類四種品種加以試驗，分離速率爲 10 lb/sec，結果發現三種品種隨成熟時間增加而降低分離力，而另一品種恰好相反。

Rumsey 與 Barnes 氏 (1970) 對於柑橘實驗中，利用彈簧拉力計實驗分離力，發現二品種分離力隨成熟度而降低，而另一種隨時間先降低而後增加。

Aeper 與 Foux 兩氏 (1976) 利用 Instron Testing Machine 與一系列配件對於柑橘各種分離情況加以研究。實驗結果顯示分離力因成熟度而降低，平均值爲 6 kg，與果實重兩者並無關係。彎曲力距離對分離作用的影響極小，在各種環境下並無多大差異。扭矩隨成熟度而增大，但分離角減小，分離速率與分離力成對數函數關係，在分離速率不大時，產生之差異極小。

山本博昭氏 (1976) 對溫州柑橘加以研究，分離速率爲 5 mm/min 與 10 mm/min，發現並無多大差異。分離力與果實重量有直線正迴歸關係，並隨成熟度而降低，其範圍爲 2~10 kg。分離扭矩與果實直徑成直線正迴歸關係，其範圍爲 0.5~2.0 kg-cm。

由上述試驗報告中可知品種，收穫時間對於分離性質影響極大，臺灣所產柑橘中主要的品種有柳橙、椪柑、桶柑、金柑，其分離性質實有研究比較之必要。

#### (一) 果梗彈性係數與剛性係數

測定彈性係數時

$$\Delta F = K \Delta X$$

$$K = AE/l$$

$$\therefore E = \frac{Kl}{A} = \frac{l}{A} \frac{\Delta F}{\Delta X}$$

$\Delta F$ ：拉力 (kg)。

$\Delta X$ ：變形量 (cm)。

$K$ ：果梗拉力彈簧常數 (kg-cm)。

$l$ ：果梗長度 (cm)。

$A$ ：果梗截面積 (cm<sup>2</sup>)。

$E$ ：果梗彈性係數 (kg/cm<sup>2</sup>)。

測得拉力，變形量，果梗長度與截面積，即可求算彈性係數。

測定剛性係數時

$$\Delta T = K_{\theta} \Delta \theta$$

$$K_{\theta} = JG/l$$

$$G = \frac{l}{J} \frac{\Delta T}{\Delta \theta}$$

$$[J = \frac{\pi}{64} ab(a^2 + b^2)]$$

$\Delta T$ ：扭矩 (kg-cm)

$K_{\theta}$ ：果梗扭轉彈簧常數 (kg-cm/rad)

$\Delta \theta$ ：扭轉角度 (rad)。

$J$ ：果梗截面積慣矩 (cm<sup>4</sup>)。

$l$ ：果梗長度 (cm)。

$a$ ：果梗截面短徑 (cm)。

$b$ ：果梗截面長徑 (cm)。

$G$ ：果梗剛性係數 (kg/cm<sup>2</sup>-rad)。

知曉果梗長度，截面積慣矩，扭矩、扭轉角，即可求得剛性係數。

Gnate 與 Rohrbach 兩氏 (1975) 對於越橘加以實驗，實驗結果顯示彈性係數因果梗直徑增加而減少，而與成熟期間無關。剛性係數與果梗直徑無關，與成熟期亦無關係。

### 三、實驗材料與裝置

#### (一) 實驗材料

本實驗研究所用椪柑爲苗栗卓蘭產，採集時多留果梗，果葉，儘量保持田間同樣狀況，並以海棉個別包裝，以避免運輸碰撞之影響，自採集地至實驗室約六小時。

金柑爲宜蘭員山產長實金柑，俗稱金棗。搬運處理如椪柑，所需時間約四小時。

柳橙俗稱柳丁，臺北深坑產，自採集至實驗室約半小時。

桶柑爲臺北木柵產，自採集至實驗室約一小時。

#### (二) 實驗裝置

本實驗之測定裝置包括動應變增幅器 (dynamic strain amplifier), X-Y 記錄器 (X-Y Recorder), 粘質物性測定機 (rheo-meter) 與一系列配件。

動應變增幅器型式爲 DSG/MTH。X-Y 記錄器其型式爲 WX-435 型。粘質物性測定機型式爲 FuDOH NRM-3200 D 型，負荷界限於 0~0.2 kg 與 0~2 kg 兩種，用以做爲拉力之測定。

爲測定分離力，分離扭矩，彈性係數與剛性係數而分別製作一系列配件，分述如下：

(1) 拉力測定器

拉力測定器之施力桿為一扭轉 90° 之扁鐵，受力桿為四分之一吋之光圓鐵，以固定臂為支點，由鉚釘相聯，抓爪底端成工型以置放果實，如圖 1 所示。

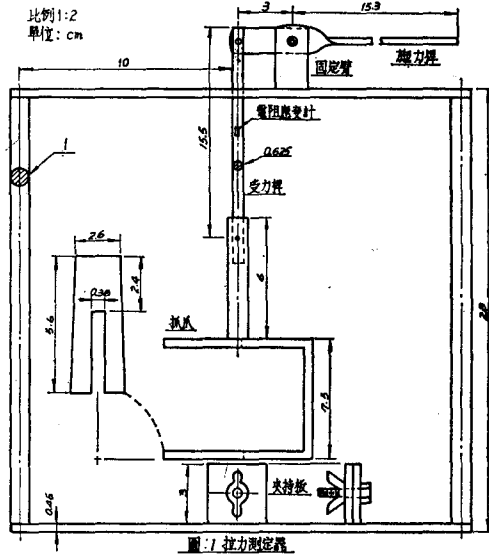


圖 1 拉力測定器

電阻應變計貼於受力桿上，受力後訊號經過應變增幅器放大，在 X-Y 記錄器上記錄。

此裝置用以測定椪柑、柳橙、桶柑之分離力。

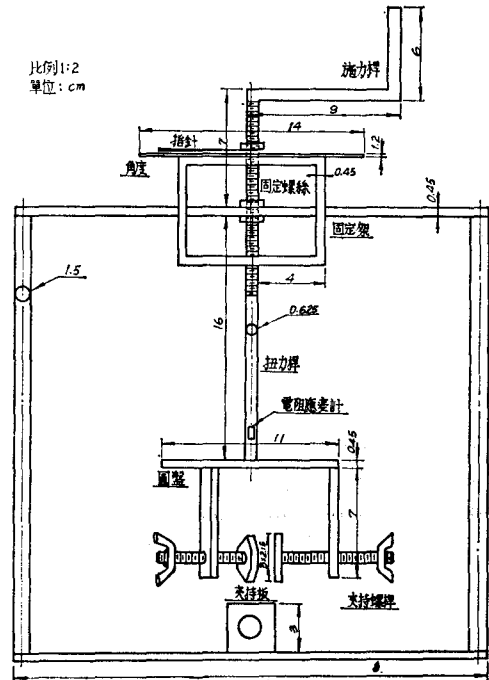


圖 2 扭力測定器

金柑之分離力自粘質物性測定機測出。

(2) 扭矩測定器

在扭矩測定器中以四分之一吋光圓鐵為扭力桿，於上扁處鐸接固定架以保持扭力桿垂直。施力桿以螺紋固定於扭力桿施加扭矩。

於扭力桿下端焊接圓盤以增加扭矩。圓盤側銲有三扁鐵，各成 120 度，扁鐵末端各有夾持螺桿用以夾持果實。此裝置如圖 2 所示。

在扭力桿上加裝角度盤和指針，用以測定剛性係數。

電阻應變計貼於扭力桿底部，接至應變增幅器放大後在 X-Y 記錄器上記錄出。

(3) 應變測定器

由於果梗受力之伸長量極小，無法自直尺上讀出，故製作應變測定器加以測定。

此測定器以鐵板為固定底座，光圓鐵為垂直導桿，直徑稍大於光圓鐵之鋼管為套管，以在垂直導桿上滑動調整高低。L 型扁鐵銲於套管上而以螺絲固定懸臂鋸片。此裝置如圖 3 所示。

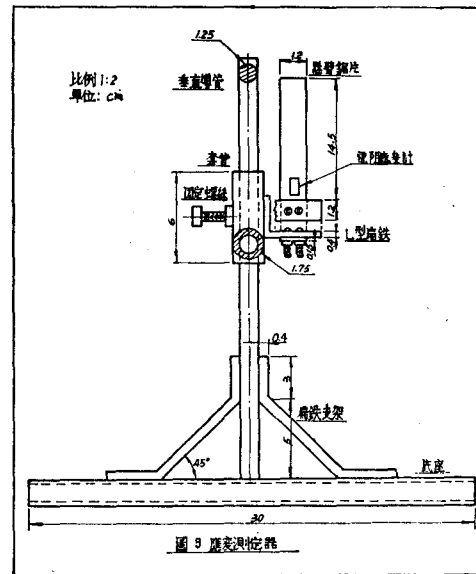


圖 3 應變測定器

鋸片末端貼有電阻應變計，在因變形而改變電阻時，訊號經放大而在 X-Y 記錄器上顯出。此裝置用以測定彈性係數。

四、實驗步驟

(1) 果實分離力

將果梗去除多餘枝葉，留取 2 cm 果梗，果

實置於抓爪部分，果梗以蝶型螺絲固定。

將受施力桿下壓依槓桿原理使受施力桿受分力而分離果實，所受應力因應變計之變化在 X-Y 記錄器上劃出。

椪柑在採收期進行一次實驗，柳橙與桶柑進行長期觀察。

#### (2) 果葉分離力

將果葉固定於粘質物性測定機上，施力速率固定於 0.2cm/min，由記錄器畫出分離力。

#### (3) 分離扭矩

調整扭矩測定器之扭矩桿高度，使三個夾持螺絲固定於果實之中心位置，果梗固定於夾板中，並以蝶型螺絲固定。

以手緩慢旋轉施力桿，避免分離速率之誤差，所受扭矩於記錄器上劃出。

#### (4) 彈性係數

將均勻之果梗固定於物性測定機之上下夾板。應變測定器置於旁側，調整懸臂鋸片與夾板成水平方向，果梗受力變形時，變形量經此應變測定器在 X-Y 記錄器之 X 軸劃出。所施拉力於 X-Y 軸之 Y 軸劃出。

實驗時往復拉伸果梗三次以消除殘存應力，實驗後以遊標尺量度果梗長度與截面積。

#### (5) 剛性係數

扭矩如同分離扭矩之測定，於 X-Y 記錄器上劃出，角度自角度盤上直接讀出。

果實之固定如分離扭矩之測定。在固定夾板上端留持一定長度之果梗，與扭力桿成同一直線。扭轉時果梗得純扭矩。

實驗前預先扭轉三次以消除殘存扭矩，儀器調整平衡後緩慢轉動，扭轉角度為 30 與 60 度。

實驗後量取果梗長度與截面面積。

## 五、實驗結果及討論

### (一) 分離力

#### 1. 果葉分離力

在 X-Y 記錄器所劃出之果葉分離曲線中，分離力最初作用曲線為不規則，而逐漸成線性關係，達到極值分離後成虛線回復平衡位置，表示在彈性限度內分離。

椪柑果葉分離力與重量關係如圖 4 所示。

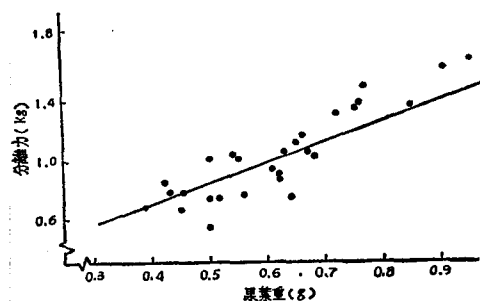


圖 4 椪柑果葉分離力

由圖所示建立直線迴歸方程式：

$$F = -0.0336 + 1.70W \quad F: \text{分離力 (kg)}$$

$$R^2 = 0.83 \quad W: \text{重量 (g)}$$

金柑、柳橙、桶柑之果葉分離實驗中，發現也有類似之直線迴歸關係：

金柑：

$$F = 0.0135 + 2.027W, R^2 = 0.87$$

柳橙：

$$F = -0.0253 + 2.216W, R^2 = 0.83$$

桶柑：

$$F = 0.012 + 1.919W, R^2 = 0.86$$

四種柑橘果葉分離力有關數據如表一所示。

表 1. 果葉分離力比較

品 種	分 離 力 (kg)			葉子重量 (g)			比 值 (F/W)		
	最 小	最 大	平 均	最 小	最 大	平 均	最 小	最 大	平 均
椪 柑	0.675	0.631	1.031	0.39	0.93	0.626	1287.5	1961.9	1636.4
金 柑	0.488	1.216	0.411	0.24	0.56	0.394	1783.7	2644.8	2066.4
柳 橙	0.639	1.767	1.147	0.29	0.91	0.531	1716.7	2862.2	2154.7
桶 柑	0.547	1.944	1.158	0.21	0.92	0.597	1544.4	2299.5	1942.7

#### 1. 果實分離力

椪柑、柳橙、桶柑的分離作用完全彈性限度之內，而金柑的分離作用有塑性現象產生。

典型的果實分離力與重量關係圖如圖 5 所示。

在四種柑橘中，重量與分離力皆有直線迴歸關係，典型之迴歸方程式如下：

(1) 椪柑

$$F = -1.74 + 0.055W \quad F: \text{分離力 (kg)}$$

$$R^2 = 0.57$$

$$W: \text{果實重 (g)}$$

(2) 金柑

$$F = 0.481 + 0.047W \quad R^2 = 0.63$$

(3) 柳橙

柳橙之分離力測定依時間間隔共進行 15 次

實驗，典型之方程式為

$$F = 0.593 + 0.060W \quad R^2 = 0.78$$

(4) 桶柑

桶柑之分離力依時間間隔共有九次試驗，典

型之迴歸方程式為

$$F = 0.377 + 0.0342W \quad R^2 = 0.79$$

四種果實分離力，重量，F/W 值範圍與平均值列於表 2。

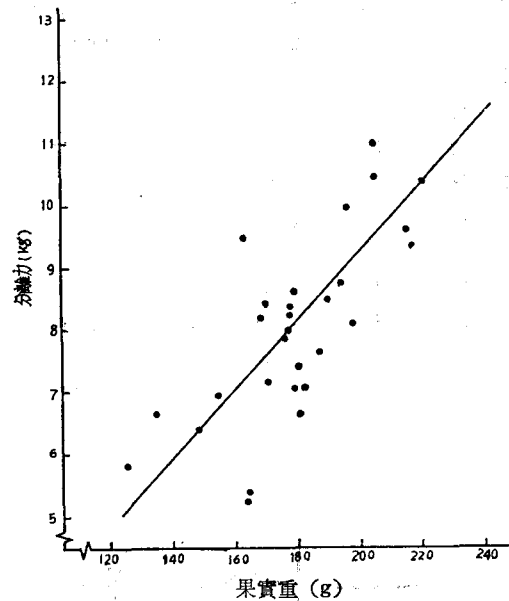


圖 5 椪柑果實分離力

表 2. 果實分離力之比較

品 種	分離力 (kg)			果實重 (g)			比值 (F/W)		
	最 小	最 大	平 均	最 小	最 大	平 均	最 小	最 大	平 均
椪 柑	5.220	12.54	8.195	124.5	220.3	180.9	31.7	58.2	45.3
金 柑	0.949	2.758	1.782	8.56	20.86	14.97	81.8	160.6	121.0
柳 橙(1)	3.278	7.857	5.560	54.2	105.6	82.47	58.0	75.2	66.58
桶 柑(2)	2.336	9.015	4.470	68.9	209.5	119.6	26.0	50.3	37.85

註：(1) 12 月 30 日實驗值

(2) 2 月 4 日實驗值

### 3. 果葉與果實分離力之比較

由牛頓定律  $F = ma$   $F$ : 分離力

$$a = F/m \quad m: \text{質量}$$

$a$ : 加速度

故  $F/m$  之比值可用以比較加振分離所需加速度，由表一，表二中以柳橙為例，果葉  $F/W$  值為 2154.7，果實  $F/W$  值為 66.6，兩者比例約為 32:1，由此可知機械加振時，果葉分離所需慣性

加速度為果實三十倍以上，落葉問題並不嚴重。

### 4. 柳橙分離與成熟時間

為研究成熟期前後分離性質之變化，以柑農多年經驗可以採收上市的日期 12 月 9 日，日期  $n$  為 1，1 月 11 日柳橙開始隨風落下 ( $n=34$ )，至 1 月 19 日 ( $n=42$ ) 幾乎完全落果。

分離力，重量， $F/W$  值在成熟期間範圍與平均值如表 3 所示。

表 3. 柳橙成熟未間分離力性質之變化

實 驗 日 期	時 間 間 隔	分離力 (kg)			重 量 (g)			F/W 值			
		最 高	最 低	平 均 值	最 高	最 低	平 均 值	最 高	最 低	平 均 值	
11	15	-23	6.570	14.48	10.188	54.64	113.5	82.42	109.2	164.2	128.5
12	9	1	7.598	12.70	9.475	65.90	103.8	80.66	100.3	130.5	118.1
12	18	10	6.263	11.37	8.134	65.60	118.1	86.66	80.9	106.6	94.7
12	24	16	5.495	10.24	7.098	59.6	104.2	79.55	72.0	102.1	89.13

12	30	22	3.278	7.857	5.56	46.2	105.6	82.47	58.0	75.2	66.58
1	3	26	3.770	8.742	5.99	67.0	119.2	91.07	55.3	78.9	64.04
1	7	30	2.773	8.371	5.368	40.3	122.4	50.68	47.7	73.0	59.7
1	11	34	3.169	7.649	4.694	50.07	109.2	76.74	51.1	74.8	60.9
1	13	36	2.192	6.038	4.287	39.4	125.6	79.7	40.7	67.4	49.1
1	14	37	2.730	5.154	3.824	46.7	110.2	80.6	36.2	58.4	48.03
1	15	38	2.045	5.960	3.303	39.6	124.2	73.2	33.9	55.6	44.05
1	16	39	2.459	5.218	3.492	65.7	119.8	88.1	32.2	45.63	40.24
1	17	40	2.390	4.234	3.469	58.4	115.2	85.5	30.9	45	39.4
1	18	41	2.186	4.688	2.989	67.3	115.4	84.78	24.5	45.6	34.8
1	19	42	1.706	4.289	2.51	59.9	117.4	84.38	20.1	38.0	30.8

成熟期間柳橙重量與分離力之變化如圖 6 所示

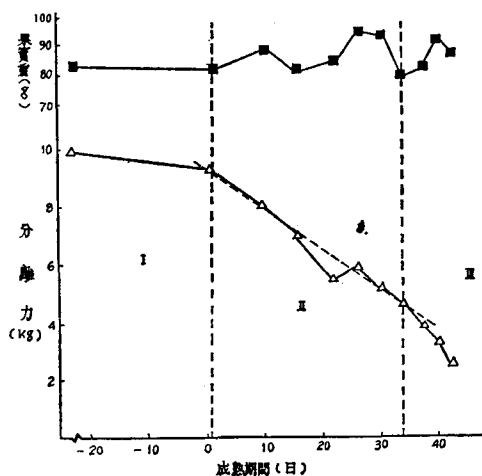


圖 6 柳橙成熟期間分離力與重量之變化

在長期實驗中分離性質的變化分為三階段觀察，第一階段 11 月 15 日 (n=23) 至 12 月 9 日 (n=1)，第二階段 12 月 9 日至 1 月 11 日 (n=34)，第三階段 1 月 11 日至 1 月 16 日 (n=42)。由圖可知，果實重在成熟期間變化量極微，而分離力隨成熟間而降低。在三階段中分離力減少的斜率為 0.035, 0.144, 1.249，比例約為 1:4:8。F/W 值之減少斜率極為類似。

#### 5. 桶柑分離力與成熟時間

以開始實驗日期 12 月 10 日為 1，農民採收日期為 2 月 4 日 (n=57)，因風吹落日期為 2 月 17 日 (n=70) 重量，分離力，F/W 分離力，值成熟期間之變化列於表 4。

表 4. 桶柑成熟期間分離力性質之變化

時 間	月 日	間 隔	分 離 力 (kg)			重 量 (g)			F/W		
			最 大 值	最 小 值	平 均	最 大 值	最 小 值	平 均	最 大 值	最 小 值	平 均
12			5.222	12.391	8.01	83.5	175.3	126.14	52.1	81.2	63.84
12	18	9	3.558	12.157	7.017	62.2	177.5	123.22	49.4	73.23	57.47
12	25	16	5.171	9.116	7.025	100.2	191.5	140.33	37.7	60.2	49.39
12	31	22	3.385	9.268	6.075	82.9	171.8	124.63	36.6	56.2	47.78
1	3	30	3.743	8.469	5.993	106.1	182.5	144.1	34.6	51.8	41.6
1	15	37	2.568	7.93	5.542	74.8	191.9	129.47	27.1	58.9	42.66
1	22	44	3.319	8.687	5.399	67.8	183.5	119.43	32.2	62.1	45.59
1	28	50	2.335	12.95	5.845	63.9	239.6	126.07	33.0	63.8	46.32
2	4	57	2.336	9.015	4.47	68.9	209.5	119.6	26.0	50.3	37.85

落果日期 2 月 19 日 (n=70)

桶柑重量，分離力在成熟時間之變化如圖 7 所示。

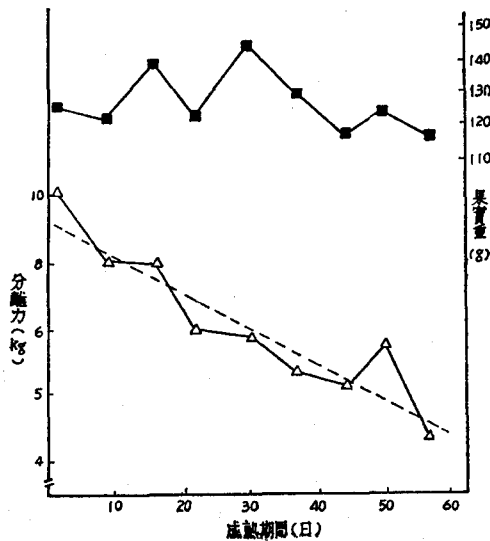


圖 7 桶柑成熟期重量與分離力之變化

由圖可知桶柑重量在成熟時間幾乎無變化，分離力則隨成熟時間逐漸減少。分離力的減少斜率為 0.048，F/W 值的減少斜率為 0.338，比柳橙較小。

(二)、分離扭矩

1. 果實分離扭矩

在 X-Y 記錄器上劃出之分離扭矩圖形得知四種柑橘扭轉分離作用完全在塑性現象中產生。

在決定分離扭矩與轉動慣量之關係時，果實的轉動慣量設為質量與最大截面半徑平方的乘積。

典型柑橘轉動慣量 (I) 與分離扭矩 (T) 之相關圖形如圖 8 所示。

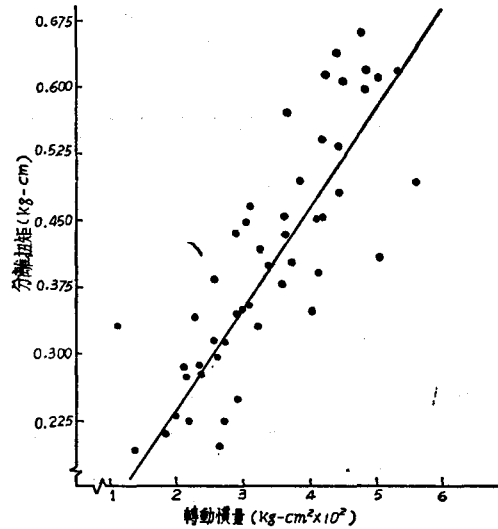


圖 8 金柑分離扭矩

在四種柑橘分離扭矩與轉動慣量皆有直線迴歸關係，其迴歸方程式分述如下：

$$T = 0.047 + 0.377 I$$

T：分離扭矩 (kg-cm)

$$R^2 = 0.57$$

I：轉動慣量 (kg-cm<sup>2</sup>)

(2) 金柑

$$T = 0.027 + 10.89 I \quad R^2 = 0.74$$

(3) 柳橙 (12 月 30 日實驗值)

$$T = 0.072 + 1.851 I \quad R^2 = 0.90$$

(4) 桶柑 (2 月 4 日實驗值)

$$T = 0.696 + 0.306 I \quad R^2 = 0.55$$

四種柑橘分離扭矩之比較於表 5。

表 5 果實分離扭矩性質之比較

品 種	分離扭矩 (kg-cm)			轉動慣量 (kg-cm <sup>2</sup> )				比 值		
	最 小	最 大	平 均 值	最 小	最 大	平 均 值	最 小	最 大	平 均 值	
極 柑	0.591	1.546	1.041	1.653	3.559	2.667	0.301	0.556	0.399	
金 柑	0.121	0.218	0.396	0.0139	0.0599	0.0344	7.30	15.59	11.78	
柳 橙(1)	0.637	2.137	1.092	0.297	1.991	0.551	1.714	2.647	1.992	
桶 柑(2)	0.685	1.592	1.034	0.578	2.695	1.211	0.493	1.725	0.985	

註：(1) 12 月 30 日實驗值

(2) 2 月 4 日實驗值

由表 5 得知，分離扭矩除金柑較低外，極柑、柳橙、桶柑幾乎相等，轉動慣量金柑亦最低，而以極柑、桶柑較高。T/I 比值以金柑最高，極柑最

小，此性質影響果實扭矩振動分離之難易。

2. 柳橙分離扭矩與成熟時間

分離扭矩在成熟時期之變化以三階段加以比

較。在成熟期間分離扭矩，轉動慣量與 T/I 值之範圍和平均值如表 6 所示。

表 6 柳橙成熟期間分離扭矩性質之變化

實日	驗期	時 間	分離扭矩 (kg-cm)			轉動慣量 (kg-cm <sup>2</sup> )			比 值			
			最 小	最 大	平均 值	最 小	最 大	平均 值	最 小	最 大	平均 值	
11	15	-23	0.730	1.979	1.236	0.393	0.718	0.533	1.989	2.777	2.341	
12	9	1	0.817	1.885	1.423	0.389	1.095	0.633	1.898	3.049	2.283	
12	18	10	0.804	2.165	1.215	0.323	1.073	0.568	1.764	2.811	2.280	
12	24	16	0.802	2.703	1.294	0.319	1.101	0.531	1.990	2.765	2.461	
12	30	22	0.637	2.137	1.092	0.297	1.091	0.551	1.715	2.645	1.992	
1	3	28	0.665	2.059	1.191	0.323	0.963	0.638	0.661	2.059	1.856	
1	7	30	0.481	2.252	1.334	0.237	1.230	0.710	1.491	2.438	1.910	
1	11	34	0.476	1.536	0.977	0.229	0.807	0.499	1.379	2.545	2.002	
1	13	36	0.419	1.780	1.078	0.246	0.845	0.574	1.577	2.488	1.875	
1	14	37	0.531	1.767	0.977	0.277	0.996	0.550	1.381	2.280	1.834	
1	15	38	0.506	1.662	1.055	0.37	0.965	0.619	1.325	2.100	1.718	
1	16	39	0.478	1.850	1.140	0.348	0.827	0.593	1.130	2.462	1.936	
1	17	40	0.570	1.505	0.959	0.392	0.848	0.811	1.553	2.267	1.866	
1	18	41	0.471	1.629	0.929	0.360	0.871	0.597	1.025	2.146	1.544	
1	19	42	0.367	1.955	1.138	0.371	1.034	0.622	1.193	2.431	1.782	

成熟期間轉動慣量，分離扭矩，T/I 值之變化如圖

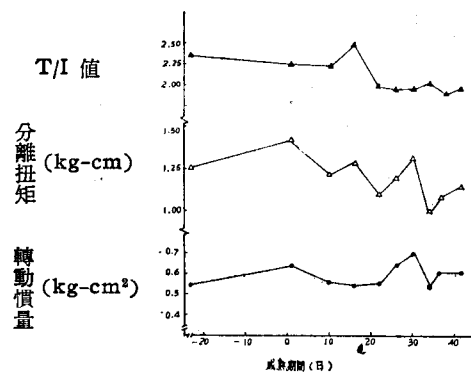


圖 9 柳橙成熟期間分離扭矩性質之變化

由圖得知，在成熟期間轉動慣量差異性極小，可視為無變化性。分離扭矩與時間之變化並無相關性，T/I 值於第二階段有減少趨勢，但變動範圍不大 (2.00~2.25)。由此可知柳橙分離扭矩之性質受成熟時間之影響極小。

### 3. 桶柑分離扭矩與成熟期間

桶柑成熟期間分離扭矩，轉動慣量，T/I 值的範圍與平均值列於表 7。

桶柑成熟期間轉動慣量，分離扭矩與 T/I 值的變化如圖 10 所示。

表 7. 桶柑成熟期間分離扭矩性質之變化

實日	驗期	時 間	分離扭矩 (kg-cm)			轉動慣量 (kg-cm <sup>2</sup> )			比 值			
			最 小	最 大	平均 值	最 小	最 大	平均 值	最 小	最 大	平均 值	
12	10	1	0.796	1.761	1.189	0.657	1.746	1.112	0.867	1.436	1.093	
12	18	9	0.462	1.945	0.997	0.586	2.942	1.222	0.653	1.159	0.840	
12	25	16	0.571	1.739	0.956	0.730	2.071	1.223	0.594	2.240	0.799	
12	31	22	0.370	1.486	0.948	0.477	2.359	1.292	0.529	0.854	0.727	
1	8	30	0.472	1.956	1.156	0.870	2.362	1.518	0.500	0.914	0.740	



1	15	37	0.375	1.674	1.008	0.813	2.288	1.384	0.461	1.014	0.792
1	22	44	0.312	1.348	0.985	0.481	2.083	1.338	0.499	1.086	0.734
1	28	50	0.402	1.635	0.909	0.704	1.935	1.123	0.535	1.126	0.798
2	4	57	0.685	1.592	1.034	0.578	2.695	1.211	0.493	1.725	0.985

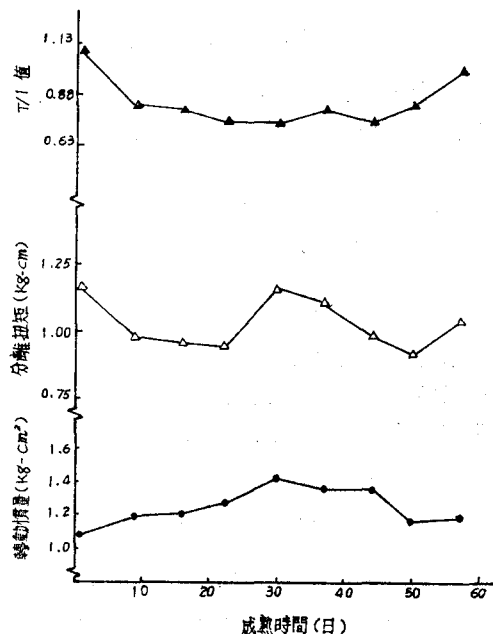


圖 10 桶柑成熟期間分圓扭矩性質之變化

由圖可知轉動慣量與成熟時間無相關性，變化範圍微小，分離扭矩亦無一定的變化關係，T/I 值隨成熟期間先減少後增加，變化範圍不大 (0.88~1.33)，由此可知成熟期間對分離扭矩無一定關係可言。

### (三) 彈性係數

典型果梗拉力與位移變形如圖 11 所示。

在拉力初期，曲線成不規則形狀上升，而後成直線增加，此直線斜率即為拉力彈簧常數，由果梗長和截面積可求算彈性係數。

#### 1. 椪柑

彈性係數範圍：(0.347~1.314)

$\times 10^4 \text{ kg/cm}^2$

平均值：8537.7  $\text{kg/cm}^2$

標準差：2769.1

#### 2. 金柑

彈性係數範圍：(0.413~0.700)

$\times 10^4 \text{ kg/cm}^2$

平均值：5392.6  $\text{kg/cm}^2$

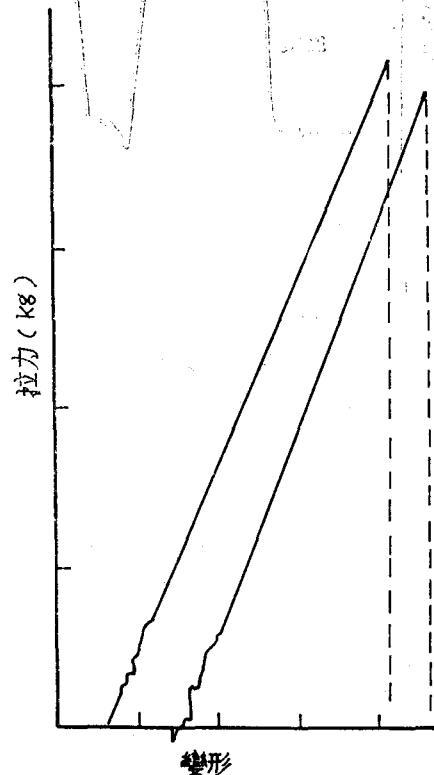


圖 11 果梗拉力與變形關係圖

標準差：725.1

#### 3. 柳橙

彈性係數範圍：(0.626~1.594)

$\times 10^4 \text{ kg/cm}^2$

平均值：11359.9  $\text{kg/cm}^2$

標準差：2475.8

#### 4. 桶柑

彈性係數範圍：(0.611~1.539)

$\times 10^4 \text{ kg/cm}^2$

平均值：10786.5  $\text{kg/cm}^2$

標準差：2391.8

### (四) 剛性係數

典型的扭矩與扭轉角關係圖如圖 12 所示。

由扭矩與扭轉角比值以得扭轉彈簧常數，再由果梗長度與截面極損矩可得剛性係數。

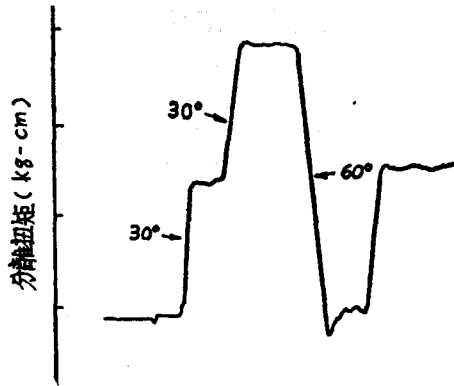


圖 12 果梗扭矩與扭轉角關係

#### 1. 椪柑

剛性係數之範圍：

204.5~1603.3 kg/cm<sup>2</sup>-rad

平均值：720.5 kg/cm<sup>2</sup>-rad

標準差：306.6

#### 2. 金柑

剛性係數之範圍：

970.4~3079.9 kg/cm<sup>2</sup>-rad

平均值：1744.6 kg/cm<sup>2</sup>-rad

標準差：498.7

#### 3. 柳橙

剛性係數之範圍：

(382.5~2381.8) kg/cm<sup>2</sup>-rad

平均值：858.9 kg/cm<sup>2</sup>-rad

標準差：354.4

#### 4. 桶柑

剛性係數之範圍：

227.2~1112.4 kg/cm<sup>2</sup>-rad

平均值：548.7 kg/cm<sup>2</sup>-rad

標準差：198.6

### 六、結 論

依實驗結果，可得以下之結論

1. 四種柑橘中，分離力與果實重量，分離扭矩與果實轉動慣量有直線正相關關係。

2. 四種柑橘果實與果葉振動分離所需慣性加速度相差極大，因此振動收穫的落葉問題並不嚴重。

3. 柳橙在長時間之實驗觀察中，果實重量與轉動慣量無明顯變化。分離力與 F/W 值隨成熟度而減小，而降低的斜率隨成熟度逐次增大。分離扭矩與 T/I 值在第二階段有減少趨勢，在第一、三階

段變化很小。

4. 桶柑成熟期間果實之重量與轉動慣量無多大差異，分離力與 F/W 值隨成熟度而降低，分離扭矩與 T/I 值有先減少後增加之現象，但變化範圍不大。

### 七、今後工作之建議

1. 柑橘物性分析中，含水率，分離速率對於物性之影響，果梗拉力與扭轉的阻尼常數應加以測定。

2. 果梗與果實加振振動模式應有更進一步研究以建立多自由度振動模式。

### 八、致 謝

本文蒙承吾師劉昆揚先生的指導鼓勵，張漢聖、彭添松、王康男教授的熱心修正與建議，陳順福先生實驗設備之協助製作，得以順利完成，謹在此致以衷心的謝忱。

### 九、參 考 文 獻

1. Mohsenin, N. N. 1970. Physical Properties of Plant and Animal Material s. Vol. 1.
2. Mohsenin, N. N. 1963. A Testing Machine for Determination of Mechanical and Rheological Properties of Agricultural Products, The Peunsy lvania State University.
3. G. E. Coppack, S. L. Hedden and D. H. Lenker. 1969. Biophysical Properties of citrus Fruit Related to Mechanical Harvesting Trans. of the ASAE 12:561-563.
9. James W. Rumsey and Kenneth K Barns. 1970. Detachment Characteristics of Desert-Growth Oranges and Grapt fruit. Trans. of the ASAE. 13:528-530.
7. Y. Alper, A. Foux. 1976. Serength Properties of Orange Fruit-Stem Joints. Trans. of the ASAE 19:412-417.
8. 土屋功位・赤瀬 章・上出順一，1974，果實の機械收穫にする關研究（第二報），農機誌 36 (1): 126-131.
9. 山本博昭，1976，柑橘の機械收穫に關基礎研究（第一報）。農機誌 37 (4):577-586.