

椪柑機械損傷特性之研究(二)

壓縮損傷特性之測試

Study on the Mechanical Damage Characteristics of Ponkan Fruit (II)

Testing on Compression Damage Characteristics

國立中興大學農機系副教授

陳 俊 明

Jiunn-Ming Chen

Abstract

The effects of static loads and stack heights to compression damage characteristics of ponkan fruit were studied in this paper. The method to observe the level of compression damage of ponkan fruit was to measure the amount of freeflowing juice of broken juice sacs and the CO₂ respiratory rate.

Have static load over 1 kg to L-sized ponkan, the juice sacs are possibly been broken in 1 minute. In case the static load is over 5 kg, the damage to juice sacs will be obviously caused only in 1 second. When loading 0.5 kg is given in 60 hours and loading 0.3 kg is given in 120 hours, breaking of juice sacs will be the same. From the experiment, we see that when the stacking height is over 40 cm, the deformation will be clearly getting greater. When static loads were exerted on stacked fruits for a 10-day period of time, the allowable load seemed not to exceed 0.55 kg to a fruit. So that the allowable stack height of L-sized fruits was about 30 cm.

一、前 言

作者前曾對椪柑撞擊損傷特性進行研究探討，本文續對椪柑壓縮損傷特性進行測試，主要目的在建立椪柑壓縮損傷特性之基本資料，以供研製椪柑分級等處理機械之參考。

二、試驗材料、裝置和方法

(一)試驗材料：本試驗研究所採用的椪柑，其性質與

處理方法，均與撞擊損傷特性測試時所採用者相同。

(二)試驗裝置：本試驗研究所使用之儀器裝置如下：

1. 靜壓荷重損傷測試裝置：本研究係採用 Nelson⁽¹⁾所發展的測試裝置予以測試。
2. 準靜負荷損傷測試裝置：

(1)壓縮測試機：

其型式為 WF 10051 型，負荷限界 5000 公斤，具有 30 個壓縮速率範圍 (7.62~0.0006

mm/min)，電源 110 伏特，單相，60 週。壓縮之負荷以黏貼應變計的壓力鋼圈 (proving ring) 感應而以 Servogor 210 t-y 記錄器記錄之。

(2) 壓力鋼圈：

由高拉力鍛鋼製成，能量 100 KGF，靈敏度 0.02 KGF/0.002MM，其型式為 WF 14100 型。為求提高其靈敏度及達到自動記錄目的，在上述鋼圈左右兩邊內外圈面上加貼四個相互平行的應變計 (strain gauge)，應變計黏貼方向與圈環平行，使用之應變計型式為 KYOWA KFC-5-C1，其電阻 120Ω，gage factor 2.1。

(3) Servogor 210 t-y 記錄器：

記錄壓力鋼圈上之應變計所感應之負荷—時間關係，其型式為 Servogor 210 型。靈敏度範圍由 1 mv/cm 至 10v/cm，紙速分 1, 2, 5, 10, 30, 60, 120, 240mm/min 八種。

(4) 數字式穩壓直流電源供應器：供應壓力鋼圈上之四個應變計所需電源；其型式為 D 3022 型，係數字顯示式，輸出電壓 0~30V，輸出電流 0~2A。

3. 二氧化碳呼吸率測試裝置：其裝置與撞擊損傷特性測試時所使用者相同。

4. 砂囊破壞汁液溢出量測定裝置：使用精密稱量天平及吸墨紙 (blotting paper sheet) 測試之。

(二) 試驗方法：

1. 靜壓荷重損傷測試法：利用靜壓荷重損傷測試裝置測之。

實驗(1)不同等級椪柑，3 公斤靜壓荷重一小時，觀察果實變形與砂囊 (juice sac) 破壞情況：利用 Nelson 所發展之靜壓荷重損傷測試裝置分別對 S, M, L, 2L, 3L, 4L 果實加以測試。並以果實硬度計 (Magness-Taylor pressure tester) 測其硬度。砂囊破壞汁液溢出量則以精密稱量天平及吸墨紙測之。首先將試驗過後之椪柑，小心地把皮剝離，然後以手輕壓瓢囊 (segment) 兩端，再以吸墨紙 (blotting paper sheet) 吸出所溢出之汁液，吸墨紙所增加之重量，即為砂囊破壞所溢出之汁液重⁽⁶⁾。

實驗(2)果實變形量對砂囊破壞情況觀察：將 L

級椪柑負荷至不同之變形量，觀察變形量對砂囊破壞之情況。

實驗(3)不同之靜壓荷重及處理時間對砂囊破壞情況觀察：將 L 級椪柑各別以 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2, 3, 5, 7, 10 公斤之重量靜壓之，觀察靜壓時間對砂囊破壞之情況。

實驗(4)堆高損傷試驗：以 L 級椪柑測之。直立 (果梗直立) 與側立 (果梗橫向) 堆置各別測之，堆高層數分 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 12 八種，以探討堆高對底層果實之損傷影響。

實驗(5)靜壓及靜壓滾轉對椪柑呼吸率變化影響之測試：②將 L 級椪柑各別在 20°C 及 10°C 室溫下，以 0.5~3 公斤靜壓荷重 3 小時及 10 天，再利用呼吸率測試裝置測其二氧化碳呼吸率^(2,3)。呼吸率測試法與撞擊損傷特性測試者相同。③將 L 級椪柑在 20°C 室溫下荷重 1.5 公斤，並各別對其滾轉 2, 4, 6, 8 回次，以觀察定負荷下滾轉回數對椪柑呼吸率之影響，呼吸率之測試法與撞擊損傷特性測試者相同。

2. 準靜負荷測試法：以準靜負荷損傷測試裝置測之，壓縮速率採用 7.6mm/min，而椪柑採用 L 級者，以探討椪柑之壓縮損傷機械性質。

三、結果與討論

(一) 靜壓荷重損傷測試結果：

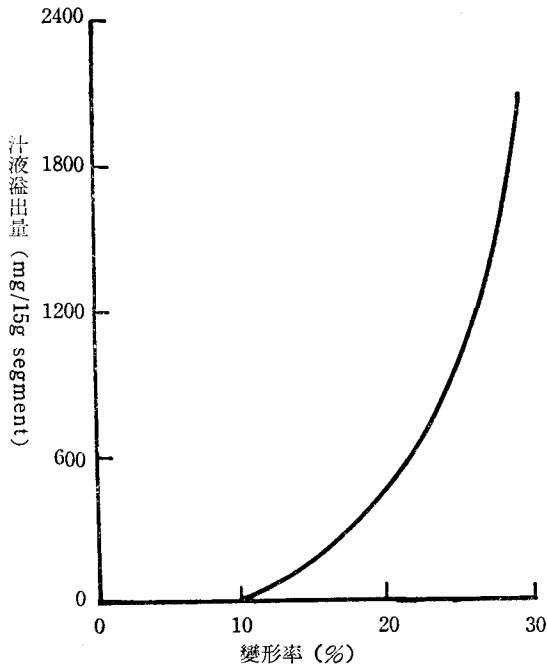
(1) 不同級別之果實其硬度、果皮率、果皮厚，以及對靜壓荷重之變形，砂囊破壞之程度，如表一所示。果實大者其果皮率、果皮厚及果實硬度亦大。而變形率以 S, M 級最大，果實愈大者，變形率有愈小之傾向。砂囊破壞汁液溢出量亦以 S, M 級者最大，2L, 3L 最小。

表一 靜壓荷重下，椪柑大小對砂囊破壞及果實變形之影響。

Loading: 3kg/fruit/hour					
級別	平均果重 (g)	果皮重量百分比 (%)	果皮厚 (mm)	果實硬度 (kg)	砂囊破壞汁液溢出量*
S	83.3	21.6	1.73	2.25	188.8
M	129.3	23.6	2.07	2.86	61.2
L	155	28.6	2.8	2.39	12.1
2L	179	29.7	2.95	2.50	4.8
3L	235.7	26.2	2.78	2.54	0.2
4L	273.3	32.3	3.6	3.49	5.4

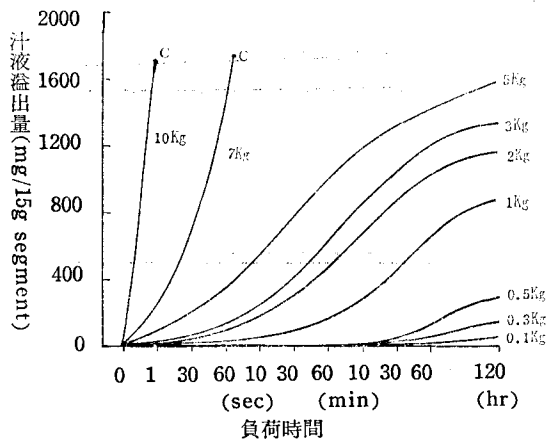
* 由砂囊溢出之汁液重(mg/15g segment)

(2) 靜壓荷重下，椪柑變形率與砂囊破壞關係如圖一所示。荷重愈大，變形率愈大，汁液溢出量亦愈大，當變形率在10%以上時，砂囊破壞程度開始顯著增加。



圖一 靜壓荷重下，果實變形率與砂囊破壞之關係 (靜壓荷重處理後立即測量)。

(3) 椪柑在不同之靜壓荷重及處理時間下，對砂囊破壞之關係如圖二所示。L級椪柑靜壓荷重1kg以上，在1分鐘內砂囊即有可能引起破壞



圖二 靜壓荷重對砂囊破壞汁液溢出量之影響。
C：果實發生破裂

。5kg以上之荷重，只需1秒鐘，砂囊即引起顯著之破壞。1~3kg荷重者，隨處理時間之增長，砂囊破壞隨著增大，60小時過後即漸趨緩和。而荷重0.5kg 60小時其砂囊破壞程度約與荷重0.3kg 120小時者相當。

(4) 椪柑堆積高度對底層果實變形及砂囊破壞情況如表二所示。而其荷重情況如圖三所示。由於堆積10天後再測砂囊汁液溢出量，長時間堆積結果，使得早先溢出之汁液已凝固，因此所測得之汁液重偏低。而果梗直立與橫向堆積試驗結果，發覺直立方式堆積，所造成之砂囊破壞較小。其可能之原因為果梗着生部位，果皮與果肉間空氣層產生緩衝作用之結果。因此顯然直立方式堆置包裝較有利。

由試驗結果得知，堆積高度在40cm以上時，變形量顯著增大，而果梗橫向堆積38cm高度，砂囊破壞汁液溢出量顯著增大，因此椪柑在較長時間之安全堆積高度不宜超過30cm。而在較長時間之靜壓荷重下，其安全限界應在0.55kg左右。惟椪柑若貯藏時間稍長，以便產季結束後再行銷售時，為避免失水軟化過速，於一般之貯藏情況下貯藏時尚需套袋，每箱最多僅排放二或三層，以免椪柑經長時間貯藏後軟化而遭上層果實壓傷，其貯藏情況如圖四所示。

據山下重良諸學者對溫州密柑進行堆積試驗結果⁽⁷⁾，建立堆高與底層果實荷重之關係可由下式表示：

$$L = T \cdot \frac{W}{D} \quad (\text{kg})$$

式中L：荷重 (kg)

T：堆積高度 (cm)

W：果實一個平均重量 (kg)

D：果實平均直徑 (cm)

以L級椪柑之情況，即果實一個重157g，果徑6.8cm (短徑) ~7cm (長徑)，平均6.9cm，最底層每一果實容許荷重限度0.55kg

$$\text{代入上式，則堆積高度 } T = \frac{0.55 \times 6.9}{0.157} + D,$$

若最底層每一果徑為6.9cm，則堆積高度應為31cm。與前述試驗結果相當吻合。可見此一公式，亦可適用於椪柑。

表二 堆高對砂囊破壞及果實變形之影響

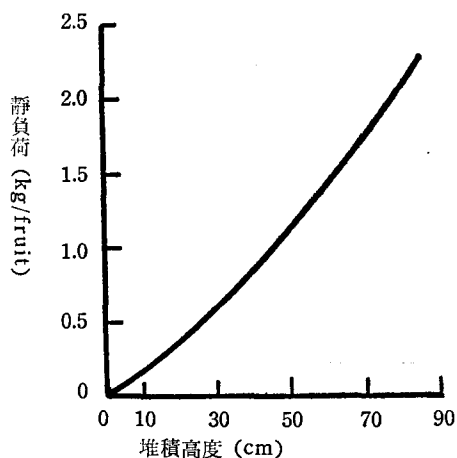
層數	柑堆積高度		最底層果實之變形量		最底層果實之荷重		砂囊破壞*	
	高度 (cm)		(mm)		(kg)		(mg)	
	U	S	U	S	U	S	U	S
2	14	15	3	3	0.18	0.17	0	10
3	21	23	4	3	0.385	0.403	0	30
4	28	29	3	3	0.573	0.54	0	50
5	36	38	3	4	0.81	0.82	0	88
6	41	44	6.5	5.5	0.95	0.95	0	91
7	49	53	6.5	4.5	1.20	1.22	0	97
9	62	68	4.5	8	1.56	1.57	7.2	93
12	79	90	5.5	8.5	2.10	2.17	22	94

* 由砂囊滲出之汁液重 (mg/15g segment)

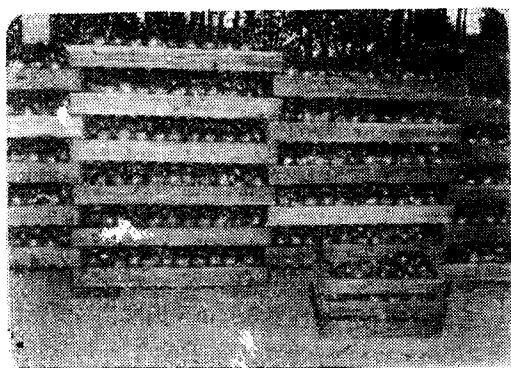
U: 果梗直立堆積

S: 果梗橫向堆積

堆積10天。

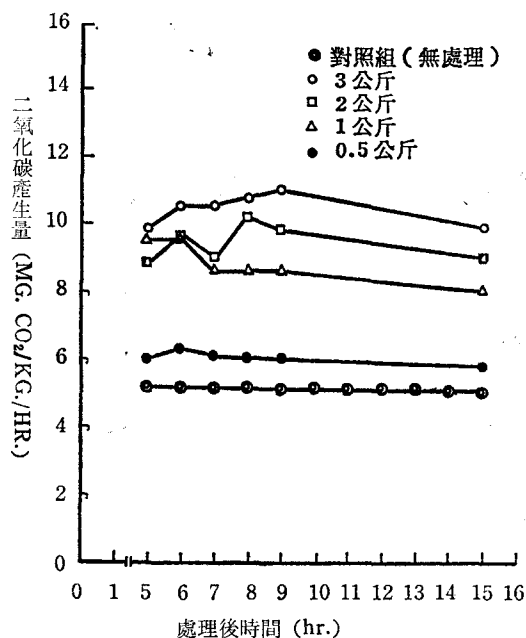


圖三 堆高與最底層柑承受之靜壓荷重關係 (堆積後立即測量負荷值)



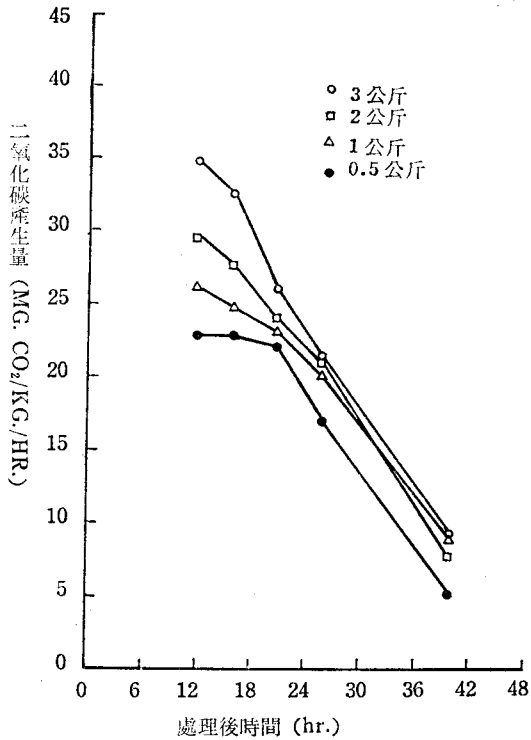
圖四 柑長時間貯藏時之套袋處理與理想之堆置情況

(5) 靜壓荷重對柑果實呼吸率之影響如圖五、六所示，由試驗結果得知，負荷愈大，二氧化碳產生量亦愈大，亦即表示果實損傷愈大。

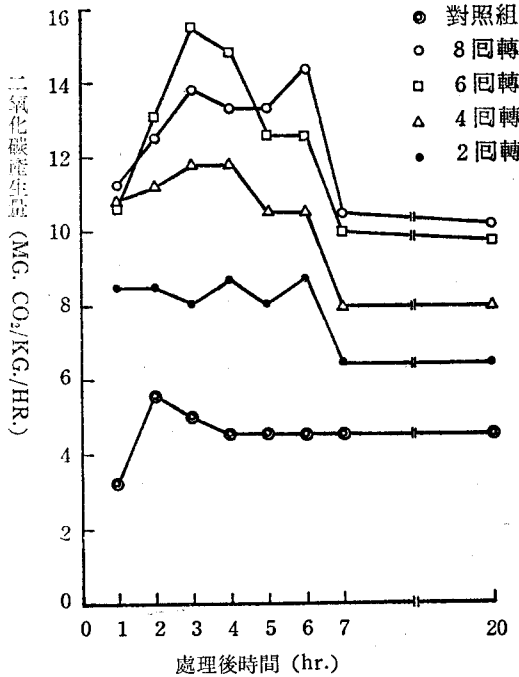


圖五：柑在20°C恒溫下，以0.5~3公斤靜壓荷重3小時，對二氧化碳呼吸率之影響。

(6) 在定負荷下滾轉回數對柑呼吸率之影響如圖七所示。定負荷下滾轉回數愈多，則二氧化碳



圖六：極柑在10°C 恒溫下，以0.5~3公斤靜壓荷重10天，對二氧化碳呼吸率之影響。



圖七：極柑在20°C恒溫下，荷重1.5公斤，滾轉回數對呼吸率之影響。

產生量愈大，亦即表示損傷程度愈大。
2. 極柑在7.6mm/min 等位移率下準靜負荷之測試結果：

極柑機械性質最有意義的測量為其應力—應變或負荷—變形之關係，由此一關係可以瞭解極柑在負荷下之變形特性，並由此計算有關極柑之機械性質，據以瞭解極柑遭受外力時的抵抗能力和破壞情況。

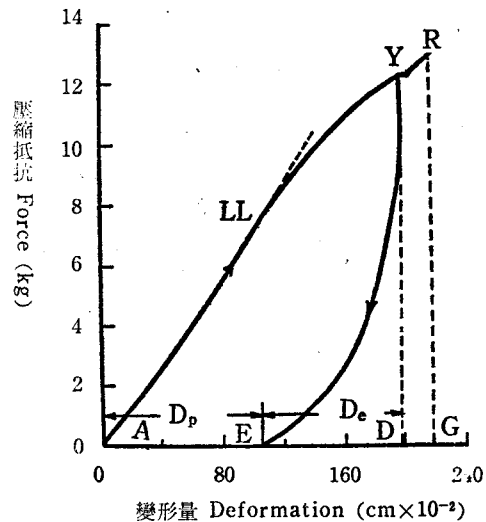
極柑在7.6mm/min 等位移率壓縮下之負荷—變形曲線如圖八、圖九所示。

圖中：

- A—Y—R：負荷曲線 (loading curve)
- Y：生物降伏點 (bioyield point)
- R：破壞點 (rupture point)
- Y—D：降伏力 (force to yield)
- R—G：破壞力 (force to rupture)
- A—D：降伏變形 (deformation to yield)
- A—G：破壞變形 (deformation to rupture)

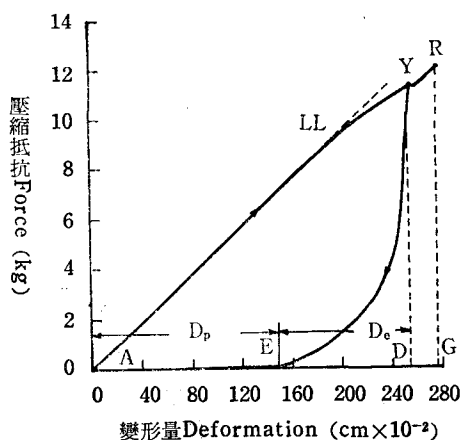
面積A—Y—D：降伏功 (work to yield)

面積A—Y—R—G：破壞功 (work to rupture)



圖八 極柑縱方向壓縮下，負荷與變形量關係。
曲線 AYE：極柑縱方向壓縮下，以二平行板連續壓縮至生物降伏點然後立即釋放負荷（壓縮速率7.6mm/min.）
曲線 AYR：極柑縱方向壓縮下，以二平行板連續壓縮至表皮破壞（壓縮速率7.6mm/min.）

- A—LL斜率 : 彈性係數 (*stiffness or modulus of elasticity: from slope of A—LL*)
- E—D : 彈性變形 (*De; elastic deformation*)
- A—E : 塑性變形 (*Dp; plastic deformation*)
- A—Y—E : 遲滯環 (*hysteresis loop*)
- E—Y—D : 彈性能 (*elastic resilience*)
- $\frac{De}{Dp+De}$: 彈性度 (*degree of elasticity*)
- LL : 比例限界 (*proportional limit*)



圖九 椪柑橫方向壓縮下，負荷與變形量關係。

- 曲線 AYE：椪柑橫方向壓縮下，以二平行板連續壓縮至生物降伏點然後立即釋放負荷（壓縮速率7.6mm/min.）
- 曲線 AYR：椪柑橫方向壓縮下，以二平行板連續壓縮至表皮破壞（壓縮速率7.6mm/min.）

曲線之Y點稱為生物降伏點，乃椪柑之細胞構造經壓縮開始破壞之指標，生物降伏點猶如工程材料上之降伏點，其意義 Mohsenin 等學者已予詳細討論^(4,5)。當負荷繼續超越生物降伏點時，果皮開始破裂。

曲線的直線部份乃椪柑的剛性 (stiffness) 或椪柑在負荷下變形率的指標；生物降伏點下曲線的

面積乃產生降伏所需之功，代表開始破壞椪柑的細胞構造所需的能量。破壞點下之整個曲線面積乃果皮和果肉組織的韌性 (toughness) 指標。

壓縮功 (compression work) 和伸縮功 (retraction work) 之差所代表的環 (loop) 稱為遲滯環 (hysteresis loop) 此環的大小為彈性性質的量度，環愈小，彈性愈佳，此環亦代表椪柑受壓後，吸收和儲藏能量而不致超越降伏變形的能力。

由圖八、九可求得椪柑在 7.6mm/min 等位移率平板壓縮下之機械性質，如表三所示。

表三 椪柑在 7.6 mm/min. 等變形率平板壓縮下之機械性質

機械性質	壓縮方式	縱方向壓縮 橫方向橫縮	
		平均 7.43 (Average)	平均 4.82 (Average)
剛性 (Stiffness) (kg/cm)		7.43	4.82
產生降伏之力 (Force to yield) (kg)		12.43	11.51
產生降伏之變形 (Deformation to yield) (cm)		2.00	2.67
產生降伏之能量 (Work to yield) (cm-kg)		13.40	15.57
產生破壞之力 (Force to rupture) (kg)		13.10	12.43
產生破壞之變形 (Deformation to rupture) (cm)		2.17	2.78
產生破壞之能量 (Work to rupture) (cm-kg)		15.53	18.20
彈性變形 (Elastic deformation) (cm)		0.95	1.02
塑性變形 (Plastic deformation) (cm)		1.05	1.49
彈性度 (Degree of elasticity) (%)		47.00	40.00
遲滯環 (Hysteresis loop) (cm-kg)		10.80	13.43
彈性能 (Elastic resilience) (cm-kg)		2.60	2.14
比例限界力 (Proportional limit force) (kg)		7.70	9.10
比例限界能 (Energy to proportional limit) (cm-kg)		4.04	8.59
能量回復比 (Percent energy return) (%)		19.40	13.70

由表三可知，椪柑在7.6mm/min.等位移率平板壓縮下，產生破壞（即果皮開始龜裂）之能量，縱壓為15.53cm-kg，橫壓為18.20cm-kg。而不論縱壓或橫壓，果皮龜裂方向均與荷重方向平行。

四、摘 要

本文對於靜壓荷重及堆積高度對椪柑所造成之壓縮損傷進行測試，而其壓縮損傷結果，則利用砂囊破壞程度及二氧化碳產生量測定之。

L級椪柑靜壓荷重1kg以上，在1分鐘內砂囊即有可能引起破壞。5kg以上之荷重，只需1秒鐘，砂囊即引起顯著之破壞。而荷重0.5kg 60小時時其砂囊破壞程度約與荷重0.3kg 120小時者相當。由試驗結果得知，椪柑在10天長時間堆積下，當堆積高度在40cm以上時，變形量顯著增大，而最底層果實其安全荷重限界在0.55kg時，其安全堆高應為30公分，理論計算結果與實驗結果吻合。

五、參考文獻

1. Nelson, C. W. and N. N. Mohsenin, 1968. Maximum allowable static and dynamic loads and effect of temperature for mechanical injury in apples. J. Agric. Engng. Res. 13 (4): 305-317.
2. Claypool, L. L., and Keefer, R. M., 1942. A Colorimetric method for CO₂ determination in respiration studies. Proc Amer. Soc. Hort. Sci. 40: 117-186.
3. Eaks, I. L., 1961. Techniques to evaluate injury to citrus fruit from handling practice. Amer. Soc. Hort. Sci. Vol. 78: 190-196.
4. Mohsenin, N. N. and Göhlich, H. Techniques for determination of mechanical properties of fruits and vegetables as related to design and development of harvesting and processing machinery. Jr. of Agr. Eng. Res. 7: (4) 300-315, 1962.
5. Mohsenin, N. N., Goehlich, H., and Tukey, L. D., Mechanical behavior of apple fruits as related to bruising. Proceedings of the American Society for Horticultural Science 81: 66-77, 1962.
6. 山下重良、北野欣信、八田茂嘉、和田年裕、宇田擴，1979，溫州ミカンの選果荷造過程における損傷要因と損傷防止に関する研究(第1報)，外力による果實組織の破壊様相と選果荷造工程における果皮の損傷，園學雜。(J. Japan. Soc. Hort. Sci.) 48(2): 231-241.
7. 山下重良、森本純平、宇田擴，1979，溫州ミカンの選果荷造過程における損傷要因と損傷防止に関する研究(第4報)果實に對する靜壓荷重と堆積厚さの許容限界，園學雜。(J. Japan. Soc. Hort. Sci.) 48(3): 367-373.

(上接第54頁)

際測試結果，證實其準確性良好，故可提供將來模型製作時參考使用。

2. 電動控制閘門由於每一部運轉皆可獨立控制，操作上並極為簡便、迅速，對於運轉試驗中，同一試驗條件於閘門開度不同組合下流況之探討，甚為適宜。

3. 電動控制閘門之開度，只須經由控制箱中計數器之設定，即可達到正確之位置，除了操作簡便外，由於此閘門開度與計數器開度的率定關係，已經過水準儀之測定校正，故其精確度甚高。

4. 溢洪道閘門形狀因各水庫而各有所異，製作上無法使其適用於任一模型。但控制箱內之所有結

構則一致，故控制箱一經製作，即可適用於往後任一模型試驗中。

5. 電動控制閘門由於操作簡便、迅速、準確度高，又節省人力，因此，模型試驗若改以電動閘門控制，必可大大提高試驗效率，並縮短試驗時間。

誌 謝

本文研究期間，承蒙臺灣大學水工試驗所主任王如意教授及林延郎技士給予技術上之指導及各方面的協助，特此致謝。又試驗中溢洪道電動控制閘門研究之製作經費，亦蒙水工試驗所之鼎力支助，使本文得以順利完成，謹此一併致謝。