

椪柑果皮張力強度之測試

Study on the Strength of Ponkan Skin under Tensile Loading

國立中興大學農機系副教授

陳 俊 明

Jiunn-Ming Chen

Abstract

The strength of ponkan skin under tensile loading at 2 cm/min. constant displacement rate was studied in this paper. Based on the information obtained from load vs. time curves, it was found that a three-element or a four-element Burgers model might be used to predict tensile properties of ponkan skin under smallish tensile loading satisfactorily.

一、前 言

Mohsenin等學者^(7,8,9,10)曾以工程方法分析蘋果的物理性質，發現蘋果對外界傷害的抵抗能力主要以果皮為主。根據筆者對椪柑物理性質測試結果，發現椪柑抵抗外界傷害的能力亦以果皮為主⁽¹⁾，尤其椪柑果皮內遍佈脆弱的油胞非常容易遭受破壞，因此如欲以機械代替手工，進行對椪柑之採收、分級、包裝及貯運等作業，勢須先對椪柑果皮因遭受外力作用所引起損傷變形之反應充分瞭解。否則如果以機械處理椪柑所引起之損傷太顯著，則利用機械處理所節省之時間與勞力，終將被嚴重的品質損失所抵消。本研究主要目的即在於利用等位移率拉張測試，以探討椪柑果皮之機械性質，並據此提供適合模擬椪柑果皮在等位移率拉張下之特性模式，以作為將來實際應用機械處理椪柑時，提供設計此類機械的基本資料。

二、實驗裝置、材料和方法

(一)本研究所使用之測試儀器，如粘質物性測定機(rheometer)、WATANABE X-Y 記錄器、動

應變增幅器(dynamic strain amplifier)及應變計(strain gage)等之性能規格與參考文獻(2)(3)所使用者相同。

(二)供試椪柑之材料性質、測試前之處理以及果皮測試樣品之切取等，與參考文獻(3)(4)所使用者相同。

(三)等位移率拉張測試法

將果皮樣品以夾定裝置適當夾緊後，調節粘質物性測定機之位移速率至 2cm/min，開機後果皮樣品即以 2cm/min 之等速率被拉張，直到果皮被拉斷。拉力與變形之關係曲線，則利用粘質物性測定機之 load cell 及自製之應變計感應出而以 WX 432X-Y 記錄器自動記錄之，果皮樣品分縱切(平行果瓣者)及橫切(垂直果瓣者)兩種，各別在 2cm/min 之等速率下重複測試 18 次。

三、椪柑果皮等位移率拉張特性模式之探討

(一)三元件模式：

三元件模式可用以近似描述椪柑果皮在等位移率下之現象，其操縱方程式為：

$$F = A + Be^{-t/Tb} + (TbK_2/Ta) \dot{X}t \dots\dots\dots(1)$$

式中 $Ta = C_2/K_1$, $Tb = C_2/(K_1 + K_2)$

將由鬆弛特性所求出之參數值⁽⁴⁾

$$K_1=1.058\text{kg/cm},$$

$$K_2=2.894\text{kg/cm}, C_2=14.82\text{kg-sec/cm}$$

代入(1)式，得：

$$F=A+Be^{-t/3.75}+0.775\dot{X}t \dots\dots\dots(2)$$

位移率及初始條件已知，常數A和B即可決定，當位移率等於2cm/min=0.0333cm/sec時，方程式(2)變為：

$$F=0.0918(1-e^{-t/3.75})+0.0285t \dots\dots\dots(3)$$

方程式(3)即為卓蘭產極柑果皮在等位移率2cm/min拉力下之三元件模式方程式。

(二)Burgers四元件模式：

Burgers 四元件模式亦可應用在等位移率(constant displacement rate)之測試問題，其操縱方程式為⁽⁵⁾：

$$\ddot{F} + (K_1/C_1 + K_1/C_2 + K_2/C_2)\dot{F} + (K_1/C_1)(K_2/C_2)F = K_1\ddot{X} + (K_1K_2/C_2)\dot{X} \dots\dots\dots(4)$$

當極柑果皮以等位移率進行拉張測試，加速度必為零即 $\ddot{X}=0$ ，代由潛變特性所求出之參數值⁽³⁾ $K_1=1.087\text{kg/cm}$ ， $K_2=2.128\text{kg/cm}$ ， $C_1=1167\text{kg-sec/cm}$ ， $C_2=27.03\text{kg-sec/cm}$ 入(4)式，得：

$$\ddot{F} + 0.1199\dot{F} + 0.00007F = 0.0856\dot{X} \dots\dots\dots(5)$$

此微分方程式之解為：

$$F(t) = Ae^{-0.000587t} + Be^{-0.119313t} + 1222.86\dot{X} \dots\dots\dots(6)$$

位移率及初始條件已知，常數A和B即可決定，當位移率等於2cm/min時，(6)式變為：

$$F(t) = -40.56e^{-0.000587t} - 0.20e^{-0.119313t} + 40.76 \dots\dots\dots(7)$$

方程式(7)即為卓蘭產極柑果皮在等位移率2cm/min 拉張下之四元件模式特性方程式。

四、實驗結果與討論

Burgers四元件模式及三元件模式均可用以描述極柑果皮在等位移率拉張下之受力特性，其代表之特性方程式各別為：

四元件模式：

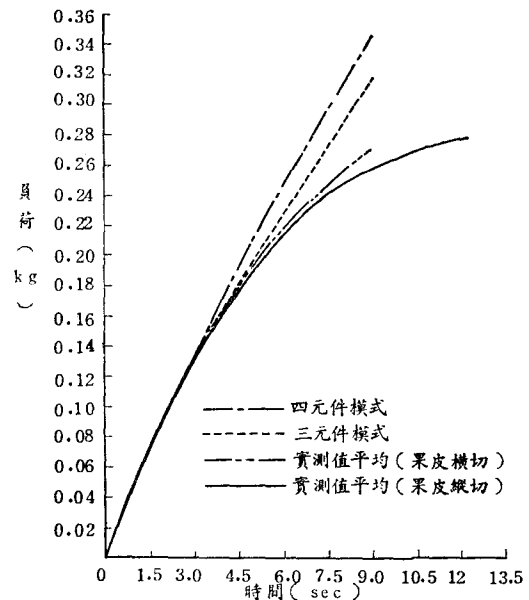
$$F(t) = -40.56e^{-0.000587t} - 0.20e^{-0.119313t} + 40.76$$

三元件模式：

$$F(t) = 0.0918(1 - e^{-t/3.75}) + 0.0258t$$

將上述之模式方程式各別點繪於等位移率拉力曲線圖上，指出由潛變試驗所獲得的四元件模式資料可用以預測極柑果皮在等位移率拉力下之機械性

質。由圖一可看出當果皮接近破壞點時，存在有塑性性質，而使實驗曲線偏離模式曲線。而由負荷鬆弛試驗所獲得的三元件模式資料亦可應用以預測果皮在等位移率拉力下之機械性質，其預測結果較四元件模式者為佳。但不論是三元件模式或四元件模式其所表現之性質，均較極柑果皮實際之性質存在一較大的彈性度(degree of elasticity)。一般而言，雖然不論是三元件模式或四元件模式均無法用以準確預測在所有負荷情況下之性質，但極柑果皮在較低拉力負荷下，其性質可以成功地用機械模式近似模擬。

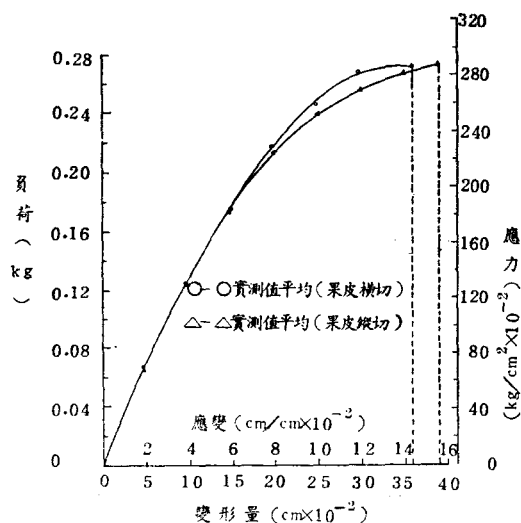


圖一 卓蘭產極柑果皮在2cm/min等位移率下，張力測試之特性曲線

Fig 1 Comparison of formulated Burgers model to actual skin subjected to 2cm/min constant displacement rate.

由實驗之結果，並可獲得極柑果皮機械性質之基本知識；從張力強度測試結果，指出極柑果皮縱切者其張力強度較橫切者稍大，但其初彈性係數(initial elastic moduli)實際上完全相同，縱切者平均最大張力強度2.88kg/cm²，其相對之平均應變量0.156cm/cm，橫切者平均最大張力強度2.84kg/cm²，其相對之平均應變量0.144cm/cm，對於此一現象之解釋，係由於果皮橫向組織展性較差較脆弱的緣故⁽⁶⁾。最大張力強度及其他有關資料如

圖二所示。



圖二 卓蘭產椪柑果皮在2cm/min等位移率下，拉張測試之實驗平均曲線

Fig 2 Force-deformation curves of ponkan skin under tensile loading at 2cm/min constant displacement rate

五、摘 要

本文對椪柑果皮之張力強度進行測試。由實測之負荷~時間關係曲線，顯示在等位移率拉張下，椪柑果皮在較低張力負荷下，其機械性質可用 Burgers三元件模式或四元件模式予以預測。

六、參考文獻

1. 陳俊明1980，椪柑機械性質之基礎研究。國立臺灣大學農業工程學研究所機械組碩士論文。

2. 陳俊明，王康男1982，椪柑負荷鬆弛機械性質之研究。農業工程學報第28卷第2期：99~105。

3. 陳俊明1984，椪柑果皮張力性質之研究(一)。國立中興大學農林學報第33卷第1期：1~8。

4. 陳俊明1984，椪柑果皮張力性質之研究(二)。國立中興大學農林學報第33卷第1期：9~16。

5. 陳俊明1981，椪柑壓縮機械性質之研究。國立中興大學農林學報第30卷：141~157。

6. Fridley, R. B. 1976. Texture, Firmness, and Strength, Prepared for presentation at the proceedings second tomato quality workshop. University of California, Davis.

7. Fletcher, III, S.W. Mohsenin, Nuri N., Hammerle, James R., and Tukey, Loren D. 1965. Mechanical behavior of selected fruits and vegetables under fast rates of loading. Transactions of the ASAE 8:(3)324-326,331.

8. Mohsenin, N. N. Cooper, H. E. and Tukey L. D. 1963. Engineering approach to evaluating textural factors in fruits and vegetables. Transactions of the ASAE 85-88,92.

9. Mohsenin, N. N. and Gohlich, H. 1962. 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.

10. Mohsenin, N. N., Goehlich, H., and Tukey, L. D., 1962. Mechanical behavior of apple fruits as related to bruising. Proceedings of the American Society for Horticultural Science 81:66-77.

專營一般土木、水利、建築營造工程

家慶營造有限公司

負責人：藍 振 富

地 址：宜蘭市神農路 39 巷 9 號

電 話：(039) 5 4 0 5 3 2