

菊切花花苞黏彈特性研究¹

何榮祥 陳俊明²

摘 要

本試驗在探討本省輸日菊花，在現行包裝儲運過程中，菊花花苞在受壓縮變形後之黏彈特性，以期改善菊花輸日品質。試驗利用物性試驗機(Rheo-Meter)，探討菊花花苞之黏彈特性。試驗結果顯示，菊花花苞具有黏彈性物質之特性，其負荷鬆弛特性可用三個並聯的一般化馬克斯威爾模式(Generalized Maxwell Model)來預估，潛變特性亦可用 Burgers 四元件模式來預估。在包裝紙箱之改進方面，紙箱內部高度最小應為26.8 cm，較原紙箱高度增加21.8%。

關鍵字：菊花苞、黏彈特性。

前 言

台灣地區地狹人稠，可耕地有限，近年來經濟快速發展，農地不斷移作他用，農業人口逐漸外移、老化，農業生產成本逐年提高，在國際貿易自由化的衝擊之下，原本為國家賺取大量外匯的農產品，漸漸的喪失競爭力，如何調整農業生產結構，成為政府重要施政重點之一。

花卉為一兼具高生產技術與資本密集之產業，而台灣氣候溫和，雨量充沛、日照充足，自然環境極適合花卉生長，為發展花卉產業的良好地區。1994年台灣地區花卉總栽培面積為9,401 ha，總產值約新台幣74.2億元，其中菊花生產面積1,860 ha，產值約新台幣19.1億元，約佔整體花卉總產值之25.7%，主要產區在彰化縣田尾鄉與永靖鄉一帶，每年十二月到次年三月間大量外銷。外銷菊花採收後經整理、分級，浸泡保鮮劑等預措手續後以200支包裝為一箱，冷卻至5℃左右，以冷藏貨櫃經海運輸日。由於200支菊花之自然堆積體積大於包裝紙箱之容積，所以封箱時必需用力壓緊方能封箱，以後經8~12天的儲運過程，菊花品質逐漸劣化，導致重大損失，為有效的改善輸日菊花之品質，有必要先瞭解其基本物理性質，避免菊花在收穫、儲存、運輸、加工過程中造成不必要的損耗，本試驗即在探討菊花花苞受壓縮後之負荷鬆弛與潛變現象，以控制花苞之變形量，求取最佳之包裝紙箱尺寸，作為改善輸日菊花包裝之依據，以期改善菊花輸日品質。

¹ 臺中區農業改良場研究報告第 0408 號。

² 臺中區農業改良場助理研究員、國立中興大學農業機械工程學系教授。

材料與方法

試驗儀器及設備

一、黏彈性物質測定機(Rheo-Meter)

本機為FUDOH NRM-2020J-CW型，其驅動速度有2、5、6和30 cm/min四段，負荷界限0~200 gm、0~2 kg及0~20 kg計三種。可用於壓縮、拉伸、剪斷、負荷鬆弛等試驗，可連續上下或定時往復運動，具定負荷及定位停止裝置等。

二、X-Y記錄器

本機為FUDOH KOGYO R-52DX型。紙帶速度2~120 cm/min，共十段，輸入電壓0.1~5 V，共六段，可記錄時間與負荷之關係。

三、PORTABLE DATA LOGGER

本機為TOKYO TDS-301型。可量測溫度、應變、電壓等，量測速度0.08 sec/channel，列印速度0.2 sec/line。

四、標準平台、針盤量錶、標準砝碼等。

試驗材料

本試驗用菊花為外銷規格之"黃秀芳"品種。所有樣本皆取自田尾鄉花卉包裝場，由許仍亮先生所契約耕作農戶供應之外銷菊花，花苞直徑2.3至2.5 cm。試驗前均經浸水12 hr以上。

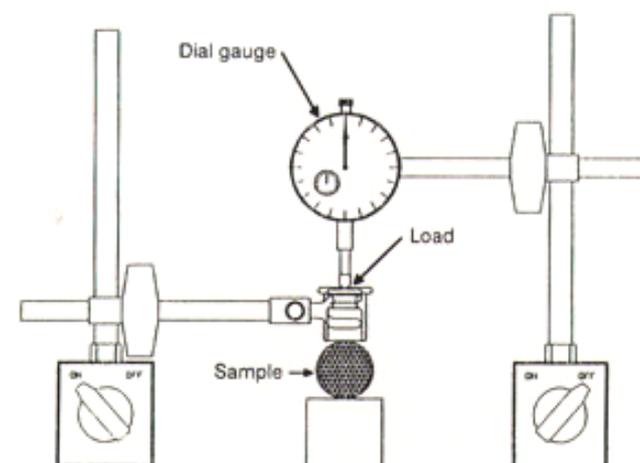
試驗方法

一、菊花花苞之負荷鬆弛特性

以FUDOH NRM-2020J-CW型Rheo-Meter，進行花苞壓縮試驗，壓縮變形量為0.15、0.5、0.85及1.0 cm共四級，每次試驗前並做零點校正，壓縮速度6與30 cm/min共兩級，每處理40重覆，每重覆壓縮時間除變形量為0.15 cm之處理為2 min外，其餘各組為20 min，試驗期間以FUDOH KOGYO R-52DX X-Y記錄器與TOKYO TDS-301 data logger並聯，由FUDOH KOGYO R-52DX X-Y記錄器，繪出連續曲線，TOKYO TDS-301 data logger以每秒一次之速度，列印相對應之負荷數值，試驗所得之數值經與FUDOH KOGYO R-52DX X-Y記錄器繪出之連續曲線校正後，提供計算求其負荷鬆弛特性曲線。記錄器輸出之最大值，壓縮變形量0.15 cm時為200 gm，壓縮變形量0.5 cm時為1 kg，壓縮變形量0.85 cm及1.0 cm時為2 kg。

二、菊花花苞之潛變特性

試驗中對每一花苞加壓之負荷係模擬目前花農包裝，係以紙箱中最底層花苞可能承受之負荷範圍為基準，共分40、50、60 g三級，每級各8重覆，試驗於3~5°C相對濕度95%冷藏庫中進行，試驗時間為14天。試驗設備配置如圖一，菊花置於標準平台上，花苞以上述重量之標準砝碼加壓，砝碼經由固定在磁石座上之滑槽控制，以確保垂直於台面並與花苞之中心線對正，加壓後花苞之高度變化則利用針盤量錶(dial gauge)定時讀取，所得結果再提供做為計算潛變特性曲線使用。



圖一、菊花花苞潛變試驗設備配置圖。

Fig. 1. The creeping behavior test device.

結果與討論

生物材料的特性

幾乎在所有的農業操作過程，如播種、移植、收穫.....等，農產品都不可避免的會受到外力的作用，而"力"之作用又伴隨著"變形"的發生。力的大小隨著作業的不同而改變，有時需要大到將產品切斷或撕裂，有時又需小到不對農產品造成損害，故每一農產品所能承受之拉、壓、剪等機械特性，就成為上述操作的重要依據。

農產品基本上仍然是具有生命的個體，其組成成份，水分含量，質地結構，隨著其生長狀況與成熟度，甚至儲存條件之不同而變化，質地反應亦受溫度、水分含量、氧氣、氮素等供給而異，伴隨而來，其力學反應也隨之不同。大多數農產品之所以被視為黏彈性物質，主要是農產品乃由許多細胞組成，細胞壁是由一些纖維所構成，而纖維具有相當彈性，細胞內之細胞質則為液狀之物質，其作用有如黏性物質，當受到外力作用時，細胞產生變形，細胞質亦產生流動與重分配等現象，此等現象隨時間之改變而改變，此即農產品之黏彈特性^(7,9)，也就是說，農產品在受到外力作用時所產生之變化，除了一般材料所產生之應力與應變關係外，另外還加上一個時間因素，也就是農產品的彈性模數是一個時間函數，這也就是流變學中所討論的時間效應。

菊花花苞之負荷鬆弛模特性

一、負荷鬆弛模式

黏彈性物質在瞬間承受快速負荷而產生一固定變形量，維持此一固定變形量之下，所需的負荷與時間關係曲線，稱為負荷鬆弛曲線。有關負荷鬆弛模式其相關之數學模式有凱文模式(Kelvin Model)、馬克斯威爾模式(Maxwell Model)與一般化之馬克斯威爾模式(Generalized Maxwell Model)，而其中又以一般化之馬克斯威爾模式(Generalized Maxwell Model)最能有效描述物質之負荷鬆弛現象^(1,2,5,6,7,8,9)。在固定變形量下，一般化馬克斯威爾模式其總負荷方程式為：

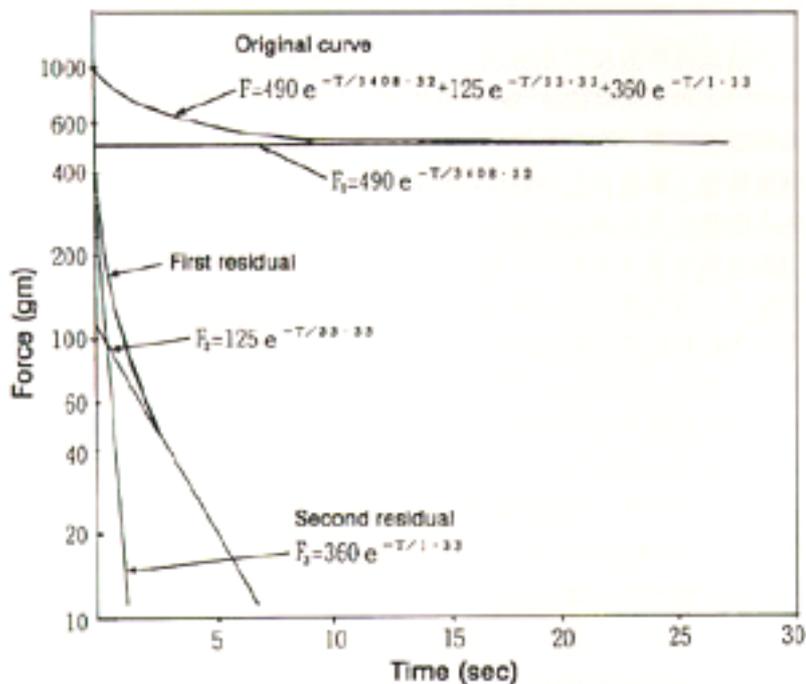
$$F = F_1 + F_2 + F_3 + \dots$$

$$= A_1 e^{-t/T_1} + A_2 e^{-t/T_2} + A_3 e^{-t/T_3} + \dots (1)$$

其中 T_1, T_2, T_3, \dots 為模式中各元件相對應的鬆弛時間，至於需要多少個並聯之馬克斯威爾元件(Maxwell Model element)則需經試驗分析其負荷鬆弛曲線決定。模式中各元件相對應的鬆弛時間可以連續殘差法(Successive Residual Method)求得。

二、負荷鬆弛模式參數值決定法

鬆弛時間的求法如下：將負荷鬆弛試驗所得之實測值以負荷之對數值為縱座標時間為橫座標，繪於半對數座標紙上，是為原始曲線。將原始曲線的直線部份延伸交於縱座標軸，縱軸上的截距為第一指數項的係數(方程式(1)的 A_1 值)，而直線部份之斜率即為此指數項的鬆弛時間(方程式(1)的 T_1 值)。 A_1 和 T_1 求出後，即得到第一指數項 $A_1 e^{-t/T_1}$ 部份。其次將原始曲線與此直線部份的差點繪於同一半對數座標紙上，此曲線稱為第一次殘差曲線(First Residual)，延伸第一次殘差曲線的直線部份交於縱軸上，再由直線在縱軸上的截距和斜率求出 A_2 和 T_2 部份。再將第一次殘差曲線與此部份的直線相減，因而得到第二次殘差曲線，從而再求得第三指數項。重複此過程直到殘差曲線為直線為止(圖二)。在本試驗研究中主要以計算機求解，以連續殘差法所求得之值僅作為非線性回歸計算之啟動值。



圖二、菊花花苞應用連續殘差法求得之負荷鬆弛曲線。

Fig. 2. The force relaxation curve solved by successive residual method.

三、花苞之負荷鬆弛特性

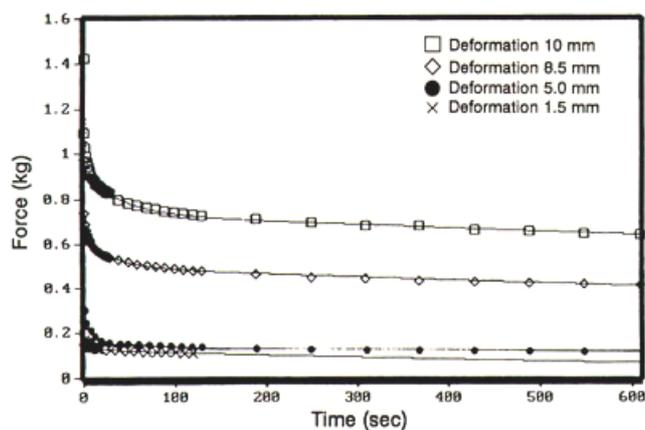
將壓縮試驗所得數值，經校正後各處理取其平均值，並將所得數值繪於半對數座標紙上，再以連續殘差法求得各處理之迴歸啟動值，結果菊花花苞之負荷鬆弛特性，可用三個馬克斯威爾元件並聯，所組成之一般化馬克斯威爾模式來預測，各處理及其相對應各元件之迴歸啟動值如表一。

表一、菊花花苞之負荷鬆弛特性，使用電子計算機解法試驗各處理其相對應各元件之迴歸啓動值表
Table 1. The initial values of Maxwell model element for computer caculated

Compression rate (cm/min)	Deformation (mm)	A1*	T1**	A2	T2	A3	T3
30	1.5	125.00	1000.00	25.00	16.67	75.00	1.25
30	5.0	137.00	3125.00	40.00	28.57	120.00	1.54
30	8.5	495.00	3333.33	125.00	33.33	360.00	1.33
30	10.0	735.00	4545.45	190.00	40.00	500.00	2.00
6	1.5	60.00	833.33	13.00	11.76	25.00	1.25
6	5.0	150.00	2631.58	45.00	14.29	60.00	1.25
6	8.5	470.00	4545.45	135.00	22.73	178.00	1.33
6	10.0	680.00	3333.33	160.00	33.33	260.00	1.82

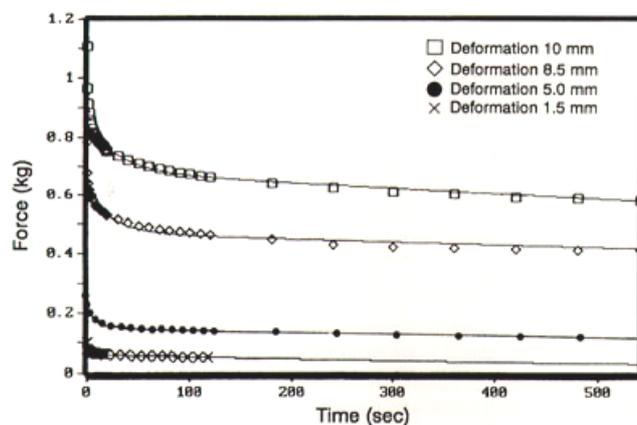
*,** A1, A2, A3, T1, T2, T3: Coefficient and relaxation time corresponding to various elements in the model.

將連續殘差法求得各處理之迴歸啓動值，利用SAS統計套裝軟體，以非線性迴歸模式計算各處理之迴歸方程，並將其負荷鬆弛特性曲線繪出如圖三及圖四。菊花花苞負荷鬆弛特性，試驗各處理之負荷鬆弛特性曲線方程式如表二。



圖三、菊花花苞在 30 cm/min 之壓縮速度下之負荷鬆弛特性曲線。

Fig. 3. The force relaxation curve of Chrysanthemum bud nuder 30cm/min compression rate.



圖四、菊花花苞在 6 cm/min 之壓縮速度下之負荷鬆弛特性曲線。

Fig. 4. The force relaxation curve of Chrysanthemum bud nuder 6cm/min compression rate.

表二、菊花花苞之負荷鬆弛特性曲線方程式表

Table 2. The force relaxation equations of Chrysanthemum cut flower bud

Compression rate (cm/min)	Deformation (mm)	Force relaxation equations
30	1.5	$F=125e^{-t/873.21}+25e^{-t/16.56}+75e^{-t/1.25}$
30	5.0	$F=137e^{-t/2803.48}+40e^{-t/28.51}+120e^{-t/1.54}$
30	8.5	$F=490e^{-t/3408.32}+125e^{-t/33.33}+360e^{-t/1.33}$
30	10.0	$F=735e^{-t/4545.46}+190e^{-t/40}+500e^{-t/2}$
6	1.5	$F=60e^{-t/826.21}+13e^{-t/11.75}+25e^{-t/1.25}$
6	5.0	$F=150e^{-t/2314.28}+45e^{-t/14.3}+60e^{-t/1.25}$
6	8.5	$F=475e^{-t/3094.06}+140e^{-t/28.46}+170e^{-t/1.43}$
6	10.0	$F=680e^{-t/3133.81}+160e^{-t/33.33}+260e^{-t/1.82}$

在使用一般化馬克斯威爾模式，來描述農產品之負荷鬆弛特性時，其變形量之產生應為一階梯函數，但在實際試驗中，受限於儀器設備，無法於瞬間內，達到所設定之變形量，故儀器之壓縮速度成爲影響其負荷之因子。在本試驗中，以儀器之最高壓縮速度30 cm/min，模擬階梯函數，並以較低之壓縮速度6 cm/min爲對照，結果在相同之變形量下，其對應之負荷均較高，顯示，壓縮速度較低時，菊花之花苞能藉由調整本身結構，以避免本身遭受傷害。對照表二，其中第三個馬克斯威爾元件之鬆弛時間，各處理均小於兩秒，顯示菊花花苞，在受到外力擠壓時，均能快速的調整本身結構，以抵抗外力。

菊花花苞之潛變特性

一、潛變模式

有關物質潛變特性模式方面，Burgers四元件模式爲已知機械模式中最好者，此一模式是由一個Maxwell模式和一個Kelvin模式串聯組成，已被廣泛使用於預測物質的潛變特性(5,7,9)。Burgers四元件模式在等負荷情況下潛變特性之機械方程式。

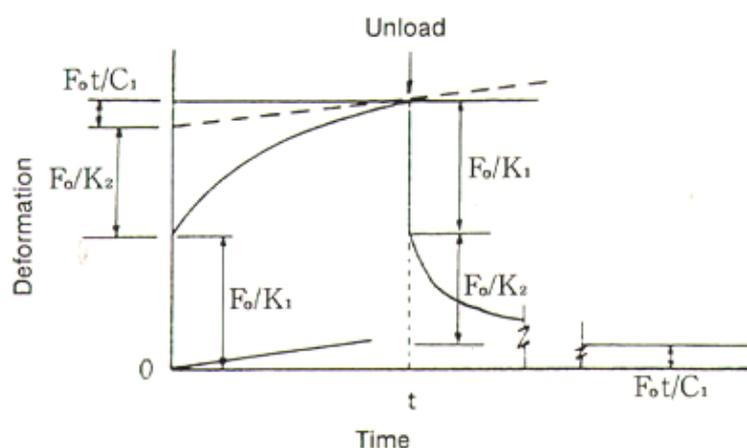
$$X(t) = \frac{F}{K_1} + \frac{F}{K_2}(1 - e^{-t/T_{ret}}) + \frac{Ft}{C_1} \quad (15)$$

二、潛變模式參數值決定法

黏彈物質之潛變測試典型的變形-時間曲線示於圖五，由圖五減緩彈性參數 K_2 可由 F_0/K_2 計算。點線乃變形曲線達穩定狀態後，卸荷時間之曲線斜率。當時間 $t \rightarrow \infty$ ，黏性流參數 F_0t/C_1 可由卸荷曲線變成平衡後求出，只要等負荷 F_0 及潛變時間 t 曉得， C_1 即可由實驗值 F_0t/C_1 求出。其求法如下：

$$X(t) = K_1 + K_2 * t - K_3 * e^{-K_4 t}$$

當負荷瞬間加上時，彈簧 K_1 之變形量爲 F_0/K_1 ，已知 F_0 ， K_1 值即可由瞬間初變形計算出。經過時間 t 後，負荷潛變曲線達穩定狀態，即可由穩定狀態後曲線的斜率求出 F_0/K_2 及 F_0t/C_1 的變形值，並可求出 K_2 和 C_1 。已知 K_1 ， K_2 ， C_1 後，任選個一時間 t ，由實驗可求得一對應變形值，將此等值代入方程式(15)中，即可求得 T_{ret} 。又 $T_{ret} = C_2/K_2$ ，已知 K_2 ，則 C_2 亦可求出。因此只要實驗之平均潛變曲線曉得，即可用上述過程可求出模式中之 K_1 ， K_2 ， C_1 ， C_2 四個參數值。



圖五、Burgers 四元件模式典型之潛變與回復曲線

Fig. 5. Typical creep and recover curve in a viscoelastic material.

三、花苞之潛變特性

將潛變試驗所得數值，各處理取其平均值，並將所得數值繪出其潛變趨勢圖，再以圖解法求得各處理之迴歸啓動值，利用SAS統計套裝軟體，以非線性迴歸模式計算各處理之迴歸方程，為便於計算首先將Burgers四元件模式之潛變方程式改寫成

計算結果Burgers四元件模式各項參數如表三，菊花花苞之潛變特性方程式如表四，此變形量乃儲存期間，上層菊花重量對下層菊花壓實作用所致，故在計算花苞合理之初始壓縮量時，應考慮其潛變因素，自其可容許之最大變形量中先行扣除。

表三、菊花花苞在 5°C 恒溫下荷重 14 天之 Burgers 四元件模式各項參數值

Table 3. The coefficients of Chrysanthemum cut flower bud's creeping behavior model*

Load	40 g	50 g	60 g
K_1	357.143	130.890	90.909
K_2	333.333	316.456	131.579
C_1	14156.285	14692.918	8888.889
C_2	574.666	1808.230	230.790
T_{ret}	1.724	5.714	1.754

* Under 5°C, 95 RH%, 14 days.

表四、菊花花苞在等負荷下荷重 14 天之潛變特性方程式

Table 4. The creeping behavior equations of Chrysanthemum cut flower bud*

Load	Force relaxation equations
40 g	$X(t)=0.29+0.003532t-0.15e^{-0.58t}$
50 g	$X(t)=0.54+0.003403t-0.158e^{-0.175t}$
60 g	$X(t)=0.93+0.005625t-0.38e^{-0.57t}$

* Under 5°C, 95 RH%, 14 days.

現行包裝方式之改善

輸日菊花由個別農戶自行整理、包裝，以每把10枝為一把送交集貨場進行處理後包裝。預措完成之菊花經人工裝箱後，以自動封箱機貼上封箱膠帶，此時由於菊花經極大的壓縮，其內部產生之反作用力極大，紙箱離開封箱機後膠帶經常會再度蹦開，干擾包裝作業程序。

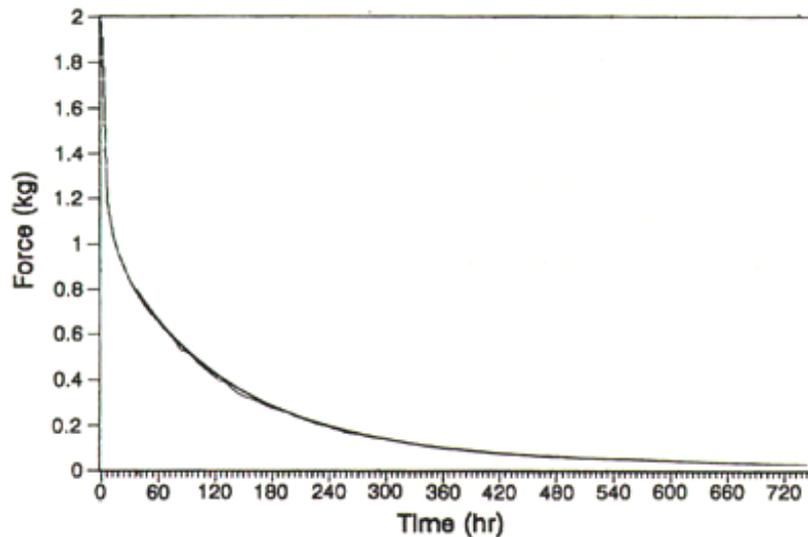
根據表二顯示，鬆弛曲線中第三個馬克斯威爾元件之鬆弛時間，各處理均小於兩秒，經計算結果(表五)顯示，保持在一定變形量下經兩秒鐘後，壓縮速度為30 cm/min之四個處理，其負荷總平均衰減率為27.6%，壓縮速度6 cm/min之四個處理，其負荷總平均衰減率為19.3%，因此若能配合封箱膠帶之特性在封箱後繼續保持加壓數秒，如此可以避免紙箱在使用膠帶封箱後再度繃開，使包裝作業更為順暢。

表五、菊花花苞負荷鬆弛時間與衰減速率

Table 5. The relaxation time and force decreasing rate

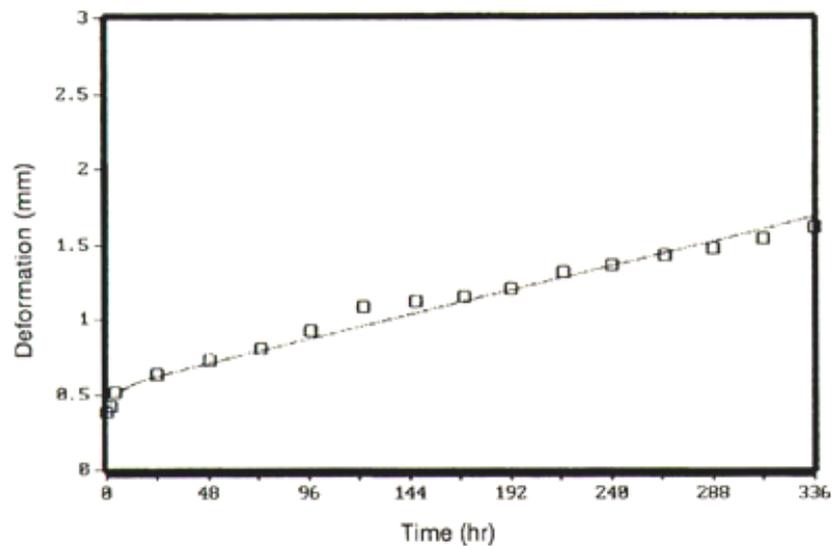
compression rate (cm/min)	Deformation (mm)	1st T_{ret} (sec)	decrease rate after 2 sec (%)	time of $F \approx 0$ (hr)
30	10.0	4545.46	0.23	15.0
30	8.5	3408.32	0.30	10.7
30	5.0	2803.48	0.30	8.8
30	1.5	873.21	0.28	2.8
6	10.0	3131.81	0.17	11.0
6	8.5	3094.06	0.18	10.0
6	5.0	2314.28	0.21	7.6
6	1.5	826.21	0.22	2.2

在包裝紙箱大小改進方面，為避免造成貨櫃裝載之困擾，本試驗僅就紙箱高度進行檢討，根據本試驗所抽取之全數樣本，經剔除45 g以下之級外品，其餘樣本平均重量約62 g，每支菊花葉片數為26片，枝條直徑約7 mm，花花苞直徑為30 mm。今假設菊花花苞直徑為30 mm，枝條直徑為7 mm，以現行之包裝方式200支菊花其花苞部份不經壓縮之最小堆積高度為29.6 cm⁽⁴⁾，若以目前之紙箱內部實際有效高度22 cm計算，則每一朵菊花之花苞於裝箱時最大初始變形為9.5 mm方能封箱。而根據研究顯示在不過份影響切花品質下，菊切花花苞在冷藏儲存12天後可容許之最大變形量為5 mm⁽⁴⁾，但菊花花苞容許之最大變型量，應包含減積操作時之壓縮變型與儲存期間因潛變因素所導致之變型量兩者之總和。又根據本試驗中各處理所得之負荷鬆弛特性方程式預測(表二)，在本試驗所進行之8個處理，經過15 hr以後，其花苞內部負荷均趨近於“零”(表五)，此一結果經以30 cm/min壓縮速度在變形量10 mm下驗證，結果在12.5 hr後在FUDOH KOGYO R-52DX型X-Y記錄器顯示之負荷值即趨近於“零”(圖六)，亦即此一變形量將成為塑性變形。而此一時間相較於輸日菊花儲運所需之時間8~12天為期甚短，故菊花裝箱時因減積操作所導致之初始變形將成為永久變形，也就是裝箱時為求順利裝箱所進行之減積操作所導致之初始變形量，在經過8~12天之儲存運輸期後將成為永久變形。在潛變所造成之變型方面，今以本試驗所抽取之菊花樣本，單支平均重量62 g為參考基準，選擇第二級55~65 g之菊花，以其平均重量60 g為準，並假設其重量在紙箱內為平均分佈，進行計算，則最下層每一菊花花苞所受平均負荷約為50 g，再對照圖七菊花花苞之潛變特性曲線，儲存12天後，菊花花苞因潛變因素所導致之變形量為1.52 mm，因菊切花在冷藏儲存12天後，花苞可容許之最大變型量為5 mm⁽⁴⁾，因此在裝箱時菊花花苞因減積操作所導致之最大可容許壓縮變形量應為3.48 mm，因此紙箱內部高度最小應為26.8 cm，較原紙箱高度增加21.8%。



圖六、菊花花苞在 30 cm/min 之壓縮速度與 10 mm 變型量下之負荷鬆弛特性曲線。

Fig. 6. The force relaxation curve of Chrysanthemum bud under 30 cm/min compression rate and 10mm deformation.



圖七、菊花苞在 50 g 定壓下之潛變特性曲線圖。

Fig. 7. The creeping curve of Chrysanthemum bud under 50g constant load.

參考文獻

1. 陳俊明、王康男 1982 椗柑負荷鬆弛機械性質之研究 中國農業工程學報 28(2):99~105。
2. 陳俊明 1980 椗柑機械性質之基礎研究 國立台灣大學農業工程研究所機械組碩士論文。
3. 臺灣省農業年報 1995 臺灣省政府農林廳編印。
4. 何榮祥、陳俊明 1995 菊切花儲存品質之探討臺中區農業改良場研究彙報46:47~57。
5. ASAE Standard S368.2. 1990. Compression Test of Food Materials of Convex Shape. Agricultural Engineers Yearbook. P.390-394.

6. Mohsenin, N. N. and J. Zaske. 1976. Stress Relaxation and Energy Requirements in Compaction of Unconsolidated Materials. *Jr. Agr. Eng. Res.* 21:193-205.
7. Mohsenin, N. N. 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. New York: Gordon and Breach Science Publisher Inc.
8. Pitt, R. E. 1982. Models for the Rheology and Statistical Strength of Uniformly Stressed Vegetative Tissue. *Trans. of the ASAE* 25:1176-1784.
9. Sitkei, G. 1986. *Mechanics of Agricultural Materials*. Akademiai Kiado, Budapest Hungary.

The Visoelasticity Properties of Chrysanthemum Cut Flower Buds¹

Jung-Hsiang Ho and Jiunn-Ming Chen²

ABSTRACT

The results showed that the force relaxation property and the creeping behavior of chrysanthemum cut flower was predicted by a Generalized Maxwell model which consisted of three parallel Maxwell elements and Burgers four element model. According to an equation of chrysanthemum cut flower force relaxation, it was predicted that in the condition of 10mm deformation, the relaxation force of chrysanthemum cut flower buds would become 0 after 15 hours.

Thus, the beginning deformation would become permanent. Therefore, for the lower layer packages of chrysanthemum cut flower, its allowable amount of deformation should be the added value of the beginning deformation and its deformation during the saving period caused by its creeping behavior. In the case of chrysanthemum cut flower with an average weight of 60 g, its deformation was 1.52mm after saving for 12 days. Since the allowable deformation for chrysanthemum buds was 5mm, the beginning deformation should be less than 3.84mm. So, for a package of 200 pieces of chrysanthemum cut flower, the best height of its package should be 26.8cm.

Key words: Chrysanthemum cut flower, visoelasticity.

¹ Contribution No. 0408 from Taichung DAIS.

² Assistant Engineer of Taichung DAIS and Professor, Dept. of Agricultural Machinery Engineering, National Chung Hsing University, respectively.