

糙米之負荷鬆弛性質

The Force-Relaxation Properties of Brown Rice

國立臺灣大學農業機械工程學系助教

國立臺灣大學農業機械工程學系教授

葉 仲 基

王 康 男

Chung-kee Yeh

Kang-nang Wang

摘 要

本文主要探討糙米之負荷鬆弛性質，其各種負荷鬆弛現象之獲得方法為先將各種不同品種及含水率之單粒糙米平置於粘彈性物質測定機試驗臺上，然後分別以不同之驅動速度及初負荷進行壓縮負荷鬆弛試驗。

糙米負荷鬆弛特性之模式及參數初值係根據一般化之馬克斯威爾模式將獲得之實驗數據重繪於半對數紙上，利用連續殘差法求得。其準確之參數值係以此初值為原始值，再輸入電子計算機使用非線性迴歸曲線配合程式而求得。由此過程得知糙米適用兩個並聯之馬克斯威爾元件表示其負荷鬆弛特性，即

$$F(t) = A_1 e^{-t/T_1} + A_2 e^{-t/T_2}$$

其中 A_1 和 A_2 為第一和第二指數項係數， T_1 和 T_2 為第一和第二指數項鬆弛時間。

由實驗知上式之鬆弛時間 T_1 有如下之特性：(1) 含水率、設定初負荷及驅動速度任一條件數值增加而其他兩條件不變時，鬆弛時間會減短，反之則鬆弛時間會增長；(2) 以品種而言，在相同含水率、設定初負荷和驅動速度條件下，臺農糯育 2 號鬆弛時間最短，臺農 67 號次之，而臺農 14 號最長；(3) 品種、含水率、設定初負荷及驅動速度四項條件以含水率對鬆弛時間的影響最大。

Abstract

This study discusses the force-relaxation properties of brown rice. For this study, a single kernel of brown rice was set on the plate of Rheo-meter. With the help of Rheometer, the kernel was compressed to a given load at a fixed driving-speed and the decay of load as a function of time was observed.

According to the generalized Maxwell Model, the resulting curves of experiment were analyzed and replotted on the semi-log paper. By means of the successive residual method, the initial parameters of model were found and by use of the computer program to revise these initial values, the accurate parameters of model were obtained. The force-relaxation model of brown rice was found to adapt to a two-parallel Maxwell element, i. e.

$$F(t) = A_1 e^{-t/T_1} + A_2 e^{-t/T_2}$$

where A_1 and A_2 are the 1st and 2nd exponential coefficients.

T_1 and T_2 are the 1st and 2nd exponential times of relaxation.

From this experiment, the time of relaxation has the following

properties: (1) time of relaxation always decreased with increasing moisture contents, initial loadings and driving speeds. (2) From the point of varieties of brown rice, the shortest time of relaxation is Tai-Nung Waxy Yu No. 2, the longest is Tai-Nung Sen No. 14 and the time of relaxation of Tai-Nung No. 67 is between TN Waxy Yu No. 2 and TN Sen No. 14. (3) In above four factors (variety, moisture content, initial loading and driving speed), the moisture content has most effect on the time of relaxation.

一、前言

過去對於稻米性質的研究，多偏重於如平衡含水率、摩擦係數、熱膨脹係數、比熱和電介常數等之探討，而對於其負荷鬆弛性質：在一定的變形量之下，稻米所受到的負荷會隨着作用時間的增長而減少的現象，則研究甚少、資料欠缺。而事實上，稻米在機械的處理與加工過程中，常承受一系列的靜態與動態的負荷，其品質常受到甚大之影響，因此負荷鬆弛性質可作為稻米在收穫、乾燥、運搬與加工等機械設計及分析上的一項重要指標，有加以深入研究探討之必要。

基於此，有關整粒稻穀之負荷鬆弛特性在美國已有學者研究過，而米粒胚乳圓柱形試片之負荷鬆弛性質在日本亦有學者研究過，惟對於去殼後完整糙米之負荷鬆弛特性則仍未見有研究報告，而此種糙米之負荷鬆弛現象之研究為瞭解糙米在磨穀和精米等加工處理過程中，受到機械影響的基礎，故本文以剝殼後的完整糙米之負荷鬆弛為研究對象。

本文研究的目的是在於：(一)探討糙米之負荷鬆弛現象及其模式；(二)研究不同品種、含水率、設定初負荷和驅動速度等條件對於糙米負荷鬆弛時間的影響。

二、負荷鬆弛理論之探討

(一)馬克斯威爾模式 (Maxwell Model)：馬克斯威爾模式如圖 1 所示，在誘導馬克斯威爾模式之機械方程式時，須假設理想的彈簧符合虎克定律，理想的緩衝筒符合牛頓液體定律。在此前提下，若 F = 負荷

X = 變形量

\dot{X} = 變形率 (X 上面的 \cdot 代表對時間的微分)

t = 時間

K = 理想彈性體之彈簧常數 (彈性係數)

C = 理想粘性體之緩衝筒常數 (粘性係數)

s = 註標，代表彈簧

v = 註標，代表緩衝筒

m = 註標，代表馬克斯威爾模式

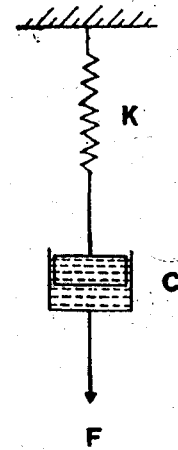


圖 1. 馬克斯威爾模式

則從圖 1 的馬克斯威爾模式中可知，

$$\text{對於彈簧而言，} F_s = KX_s \quad (1)$$

$$\text{而對於緩衝筒而言，} F_v = C\dot{X}_v \quad (2)$$

由於馬克斯威爾模式之彈簧及緩衝筒為串聯，總變形量應為彈簧和緩衝筒變形量之和，

$$\text{即 } X_m = X_s + X_v$$

$$\text{微分上式，得 } \dot{X}_m = \dot{X}_s + \dot{X}_v$$

在彈簧和緩衝筒串聯的情況下，兩者所受的負荷相同，即 $F_s = F_v = F$

則方程式變為：

$$\dot{X}_m = \frac{\dot{F}}{K} + \frac{F}{C} \quad (3)$$

如果此模式是在等變形量的情形下， $X_m = \text{常數}$ ，則

$$\dot{X}_m = 0$$

假定 C 和 K 的比值以 $T_{r.01}$ 代替， $T_{r.01}$ 稱為鬆弛

時間 (Time of Relaxation) , 即

$$T_{r.e.1} = \frac{C}{K} \quad (4)$$

則方程式(3)可變成

$$\dot{F} + \frac{F}{T_{r.e.1}} = 0$$

積分上式得：

$$F = Ae^{-t/T_{r.e.1}} \quad (5)$$

(二)負荷鬆弛方程式

並聯無限個馬克斯威爾模式則成爲一般化馬克斯威爾模式 (Generalized Maxwell Model) , 一般化馬克斯威爾模式通常用來代表一般性的負荷鬆弛現象, 若當時間 $t = 0$ 時, 模式受到等變形量之作用, 則模式之總負荷爲：

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

其負荷鬆弛方程式變成

$$F = A_1e^{-t/T_1} + A_2e^{-t/T_2} + A_3e^{-t/T_3} + \dots \quad (6)$$

其中 T_1 、 T_2 、 T_3 ……爲模式中各元件相對應的鬆弛時間 ($T_{r.e.1}$)。鬆弛時間的物理意義是使負荷值減少到原來設定值的 $1/e$ 倍或者是36.8%所需要的時間。換言之, 在等變形量時, 馬克斯威爾元件以指數速率鬆弛, 而此速率的大小決定於 $T_{r.e.1}$ 。

(三)負荷鬆弛模式參數值之決定法

粘彈性物質之負荷鬆弛現象均可利用一般化馬克斯威爾模式來表示, 但是需要多少個並聯馬克斯威爾元件數及係數, 一般可使用連續殘差法 (Successive Residual Method) 分析其負荷鬆弛曲線來確定。而連續殘差法之方法可說明如下: 由方程式(6)可知負荷鬆弛與時間的關係爲一指數關係, 將負荷鬆弛對於時間的曲線繪於半對數紙上, 以負荷爲縱座標 (對數值) 而以時間爲橫座標。將原

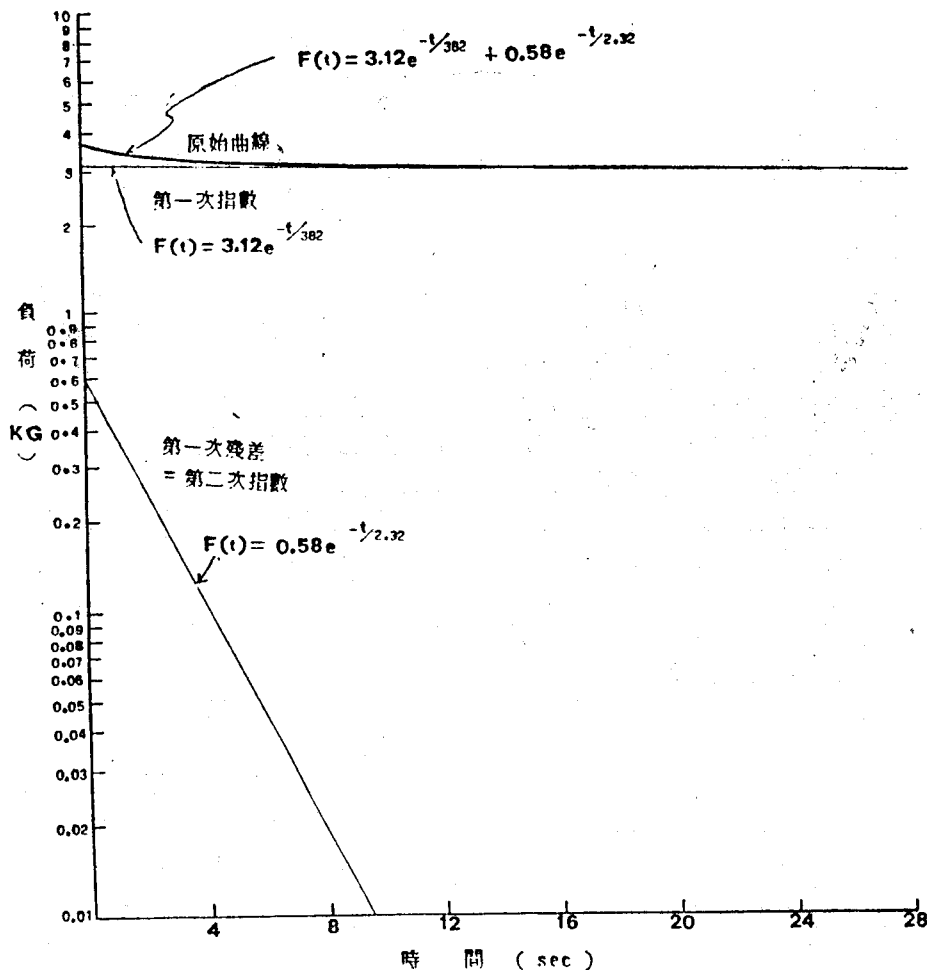


圖 2. 應用連續殘差法分析負荷鬆弛曲線之實例

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(6)的 A_1 值），而直線斜率的倒數取負值即為此指數項的鬆弛時間（方程式(6)的 T_1 值），以公式表示鬆弛時間的求法如下：

$$T_{rel} = \frac{t_2 - t_1}{\ln F_1 - \ln F_2} \quad (7)$$

A_1 和 T_1 求出來後，亦即得到第一指數項 $A_1 e^{-t/T_1}$ 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 值，得到第二指數項 $A_2 e^{-t/T_2}$ 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成為直線為止，其方法

如圖 2 所示。

經由連續殘差法所得之負荷鬆弛模式各指數項係數(A)和鬆弛時間(T)可再使用非線性迴歸曲線配合程式 (Non-linear Estimation with Steepest Descent Program) 於 CDC CYBER 170-825 Nos 2.0 大型電子計算機中加以修正而得到更準確的數值。

三、實驗儀器設備、材料、方法與程序

(一)儀器設備

本實驗所用之儀器設備，計有(1)粘彈性物質測定機 (Rheo-Meter)，(2)X-t 記錄器，(3)調壓器，(4)針盤量規和游標尺，(5)恆溫控制箱及(6)赤外線水份測定計。

(二)實驗材料

本實驗所使用的材料如表 1 所示：

表 1. 負荷鬆弛試驗所用之材料

品 種	含水率(濕基)	平均尺寸(長向×橫向×厚度)
臺農67號(粳米)	25%	5.321 ^{mm} ×3.267 ^{mm} ×2.052 ^{mm}
臺農67號(粳米)	13%	5.179 ^{mm} ×2.938 ^{mm} ×1.897 ^{mm}
臺農秈14號(秈米)	25%	6.999 ^{mm} ×2.401 ^{mm} ×1.800 ^{mm}
臺農秈14號(秈米)	13%	6.621 ^{mm} ×2.331 ^{mm} ×1.700 ^{mm}
臺農糯育 2 號(圓糯米)	25%	4.692 ^{mm} ×2.899 ^{mm} ×2.076 ^{mm}

本實驗之材料均採自七十二年第二期作，臺農 67 號取自於桃園區農業改良場，其含水率 25% (濕基) 的濕穀係以恆溫控制箱儲存，使其含水率維持不變；其含水率 13% (濕基) 的乾穀是由濕穀使用日曬法日曬二、三天直到含水率達到 13% 為止而獲得。臺農秈 14 號取自於嘉義縣朴子鎮，其含水率 25% 濕穀亦儲存在恆溫控制箱，而含水率 13% 的乾穀亦是日曬法獲得。臺農糯育 2 號取自於臺北縣淡水，本品種已在農家用日曬法乾燥到含水率 13%。

(三)實驗方法和程序

粘彈性物質測定機的驅動速度分別設定為 2、6 和 30 CM/MIN，而其設定之初負荷為 3.6KG 和 5.4KG，測試的時間為半分鐘。在測定前須將粘彈性物質測定機及其記錄器至少先開機一小時，使儀器暖機進入備用狀態，並且在測試前先予以校準。

將單粒糙米平置於測定機試驗臺上，首先設定壓縮之初負荷，再設定驅動之速度，然後進行壓縮負荷鬆弛試驗。在開動測定機進行鬆弛試驗之同時並開動記錄器，由於在試驗期間內糙米受壓縮之變形量維持一定，如此即可將負荷對時間之鬆弛曲線描繪出來。在品種、含水率、設定初負荷及驅動速度相同條件下共重複八次試驗，由於記錄器所繪出之圖形僅為一般座標圖，故須將各組負荷對於時間的數據再整理出來，以求取其平均值。然後將求得之平均值重繪於半對數座標紙上，利用連續殘差法找出模式之參數值（即所需之並聯指數項數及各指數項的係數及鬆弛時間）。模數參數值求得後，再以此參數值為原始值，輸入 CDC CYBER 大型電子計算機內，利用非線性迴歸曲線配合程式將模式參數值加以修正，直到獲得最準確之參數值為止。

實測平均值	模式理論曲線	設定初負荷	含水率	驅動速度	
■	-----	A 1	5.4 (KG)	13% (WB)	2 (CM/MIN)
◇	- · - · -	A 2	"	"	6
□	- - - - -	A 3	"	"	30
●	-----	A 4	"	25 %	2
⊗	-----	A 5	"	"	6
▲	- · - · -	A 6	"	"	30
□	- - - - -	A 7	3.6 (KG)	13 %	2
○	-----	A 8	"	"	6
⊗	-----	A 9	"	"	30
○	- · - · -	A 10	"	25 %	2
x	-----	A 11	"	"	6
△	-----	A 12	"	"	30

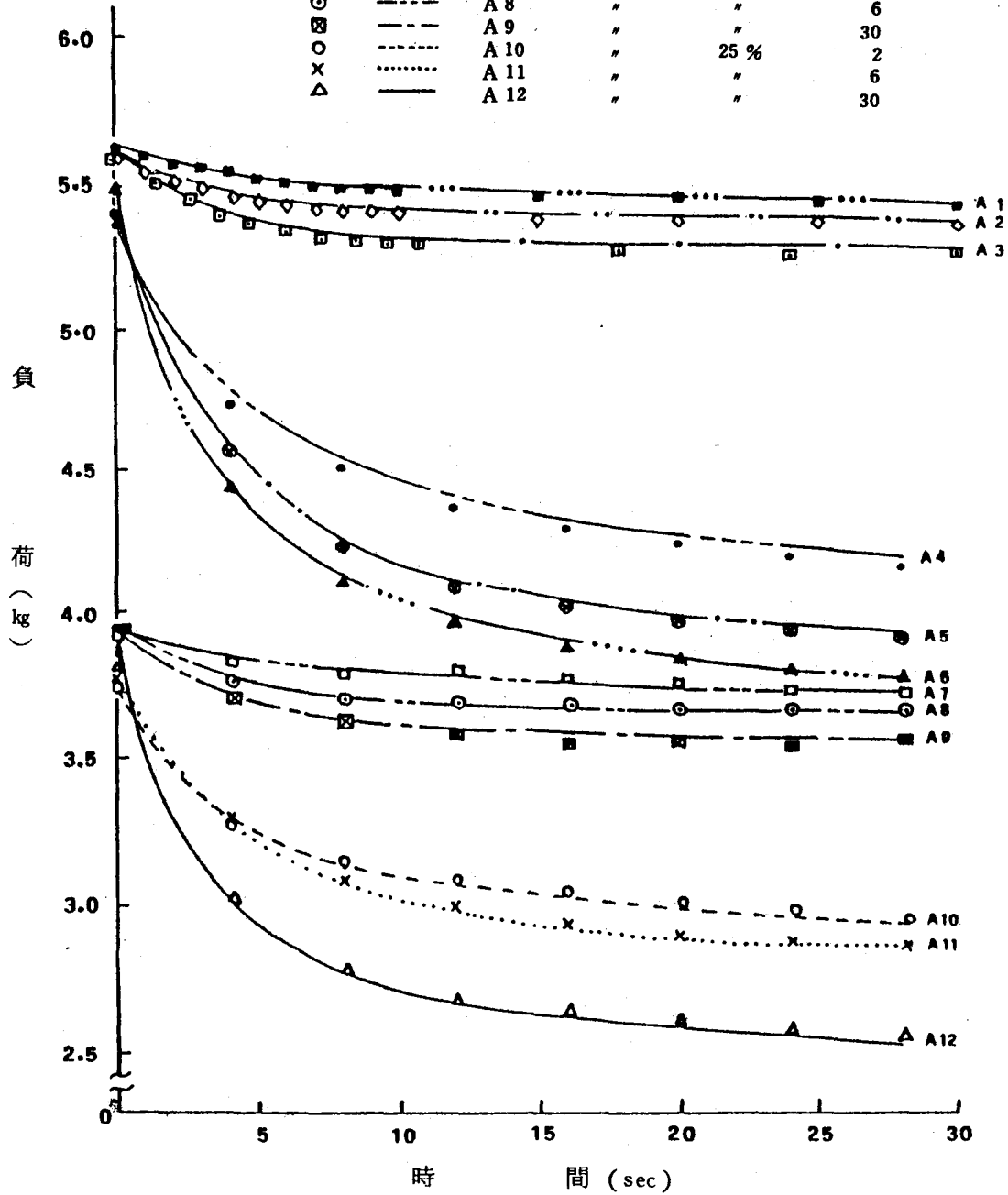


圖3. 台農67號糙米在不同設定初負荷、含水率及驅動速度條件下，負荷鬆弛模式理論曲線與實測值之比較

實測平均值	模式理論曲線	設定初負荷	含水率	驅動速度	
■	— · — ·	B1	5.4 (KG)	13% (WB)	2 (CM/MIN)
◇	— · — ·	B2	"	"	6
□	— · — ·	B3	"	"	30
●	— · — ·	B4	"	25 %	2
⊗	— · — ·	B5	"	"	6
▲	— · — ·	B6	"	"	30
□	— · — ·	B7	3.6	13 %	2
○	— · — ·	B8	"	"	6
⊗	— · — ·	B9	"	"	30
○	— · — ·	B10	"	25 %	2
x	— · — ·	B11	"	"	6
△	— · — ·	B12	"	"	30

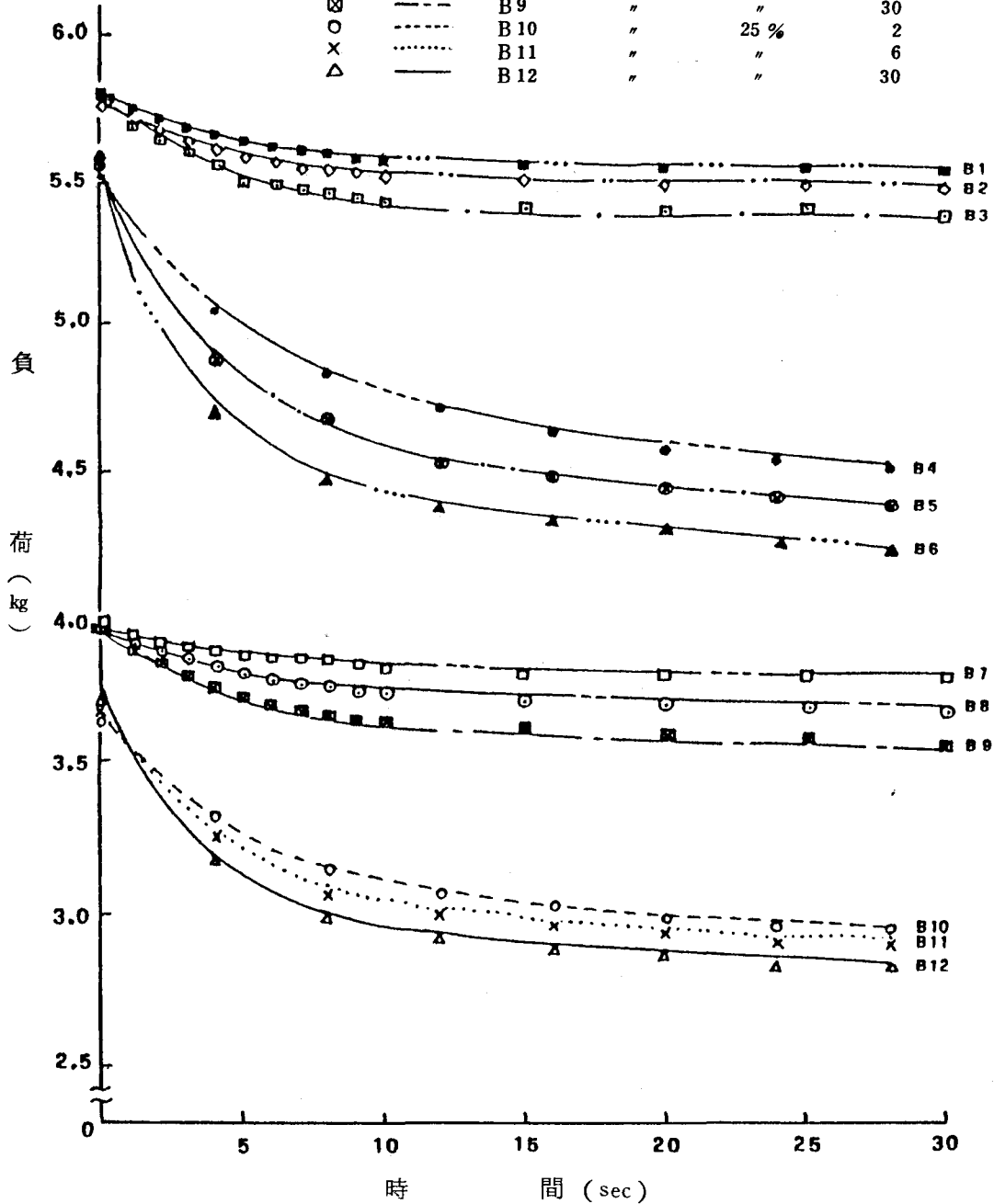


圖4. 台農秈14號糙米在不同設定初負荷、含水率及驅動速度條件下，負荷鬆弛模式理論曲線與實測值之比較

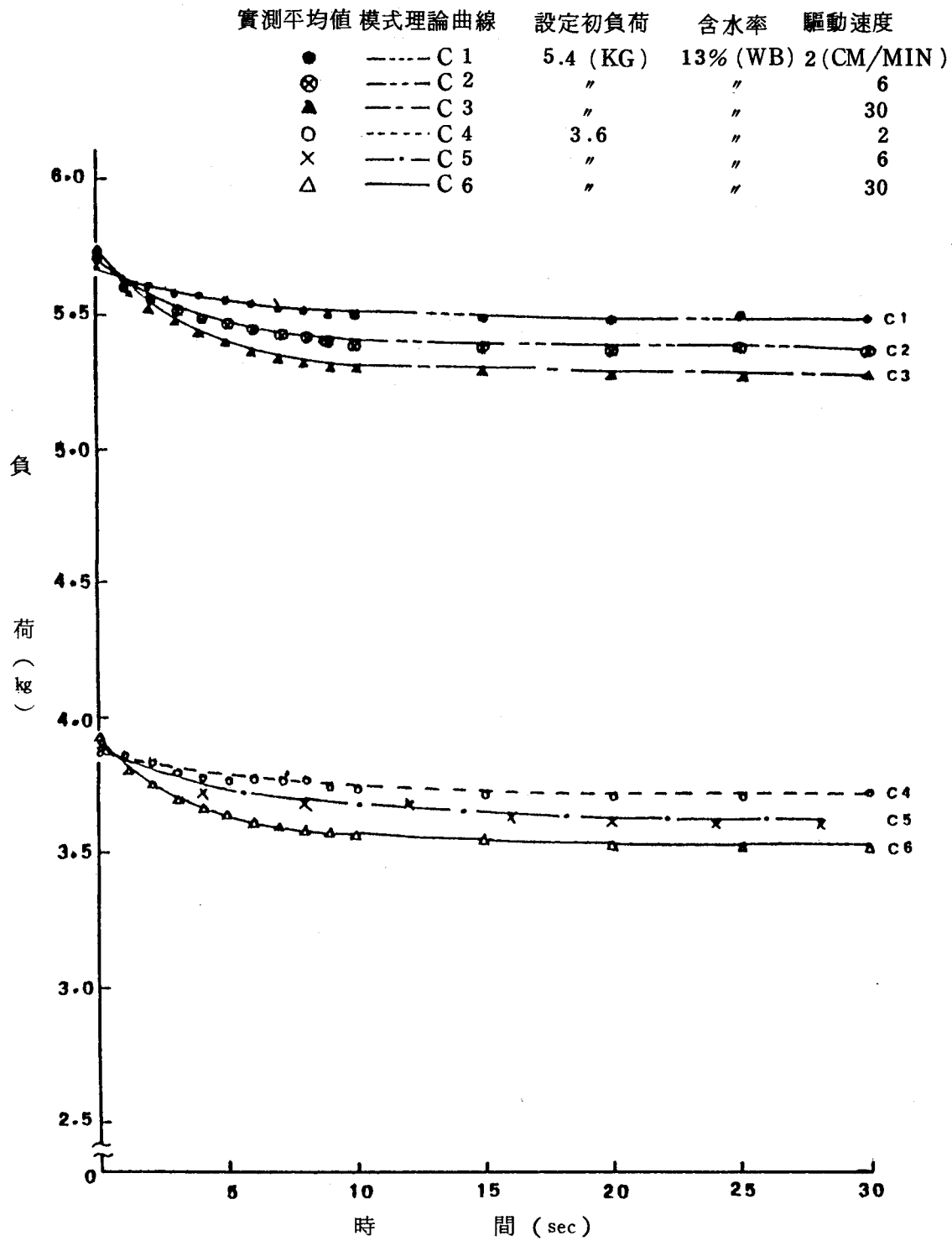


圖 5. 台農糯育 2 號糙米在不同設定初負荷及驅動速度條件下，負荷鬆弛模式理論曲線與實測值之比較

四、結果與討論

(一) 糙米之負荷鬆弛特性

在不同品種、含水率、設定初負荷和驅動速度條件下進行糙米負荷鬆弛試驗，得到圖3~圖5之結果。這些結果均顯示糙米之負荷受到時間的影響且隨着作用時間的增長而減少，此種現象表示糙米具有負荷鬆弛的特性。

將圖3~圖5之實驗結果用前述之連續殘差法分析及計算機解法修正參數值後，其理論值與實測值顯示甚為接近，且得知本省糙米之負荷鬆弛特性可適用兩個並聯的馬克斯威爾模式，如方程式(8)及圖6所示，其模式與參數值各列於表2~4，而此模式之各相對應負荷鬆弛理論曲線亦描繪於圖3~

圖5。

$$F = A_1 e^{-t/T_1} + A_2 e^{-t/T_2} \quad (8)$$

其中 T_1 和 T_2 為對應第一和第二指數項之鬆弛時間， A_1 和 A_2 為對應第一和第二指數項之係數。

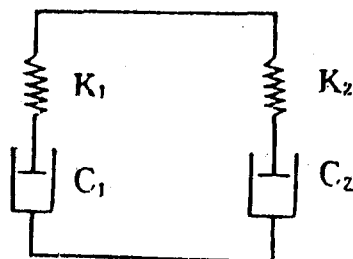


圖6. 代表糙米負荷鬆弛現象之兩個並聯馬克斯威爾模式

表2. 糙米之負荷鬆弛方程式 (品種：臺農67號)

含水率 (濕基)	設定初負荷 (KG)	驅動速度 (CM/MIN)	負荷鬆弛性質之模式方程式 (F:KG, t:sec)
25%	3.6	2	$F = 3.108e^{-t/377.9} + 0.591e^{-t/2.899}$
	3.6	6	$F = 3.160e^{-t/347.3} + 0.597e^{-t/2.305}$
	3.6	30	$F = 3.195e^{-t/308.35} + 0.665e^{-t/2.218}$
	5.4	2	$F = 4.157e^{-t/341.09} + 1.343e^{-t/2.494}$
	5.4	6	$F = 4.256e^{-t/323.5} + 1.394e^{-t/2.296}$
	5.4	30	$F = 4.349e^{-t/272.9} + 1.580e^{-t/1.901}$
	3.6	2	$F = 3.617e^{-t/2561} + 0.1028e^{-t/2.839}$
	3.6	6	$F = 3.804e^{-t/2228} + 0.1057e^{-t/2.735}$
	3.6	30	$F = 3.812e^{-t/1868} + 0.1154e^{-t/4.894}$
13%	5.4	2	$F = 5.369e^{-t/2144} + 0.1517e^{-t/0.9018}$
	5.4	6	$F = 5.490e^{-t/2015} + 0.1899e^{-t/1.568}$
	5.4	30	$F = 5.501e^{-t/1664} + 0.1193e^{-t/1.317}$

表3. 糙米之負荷鬆弛方程式 (品種：臺農利14號)

含水率 (濕基)	設定初負荷 (KG)	驅動速度 (CM/MIN)	負荷鬆弛性質之模式方程式 (F:KG, t:sec)
25%	3.6	2	$F = 3.080e^{-t/535.5} + 0.5001e^{-t/2.049}$
	3.6	6	$F = 3.092e^{-t/490.9} + 0.6580e^{-t/2.097}$
	3.6	30	$F = 3.124e^{-t/454.4} + 0.6756e^{-t/2.175}$
	5.4	2	$F = 4.807e^{-t/420.1} + 0.6822e^{-t/2.330}$
	5.4	6	$F = 4.832e^{-t/388.6} + 0.7683e^{-t/1.586}$
	5.4	30	$F = 4.955e^{-t/344.2} + 0.8440e^{-t/2.444}$

13%	3.6	2	$F=3.639e^{-t/2949}+0.08458e^{-t/4.044}$
	3.6	6	$F=3.852e^{-t/2649}+0.08729e^{-t/2.239}$
	3.6	30	$F=3.894e^{-t/2315}+0.1020e^{-t/1.066}$
	5.4	2	$F=5.544e^{-t/2712}+0.06590e^{-t/3.203}$
	5.4	6	$F=5.601e^{-t/2276}+0.09409e^{-t/2.060}$
	5.4	30	$F=5.708e^{-t/2073}+0.1001e^{-t/0.8823}$

表 4. 糙米之負荷鬆弛方程式 (品種：臺農糯育 2 號；含水率：13% (濕基))

設定初負荷 (KG)	驅動速度 (CM/MIN)	負荷鬆弛性質之模式方程式 (F:KG, t:sec)
3.6	2	$F=3.581e^{-t/1905}+0.09423e^{-t/2.689}$
3.6	6	$F=3.793e^{-t/1817}+0.1203e^{-t/2.452}$
3.6	30	$F=3.815e^{-t/1657}+0.1486e^{-t/1.346}$
5.4	2	$F=5.415e^{-t/1826}+0.09524e^{-t/2.408}$
5.4	6	$F=5.550e^{-t/1629}+0.1407e^{-t/1.648}$
5.4	30	$F=5.619e^{-t/1863}+0.1800e^{-t/0.6082}$

(二) 驅動速度對鬆弛時間的影響

比較圖 3 中的 A1~A3、A4~A6、A7~A9 及 A10~A12，圖 4 之 B1~B3、B4~B6、B7~B9 和 B10~12，圖 5 之 C1~C3 及 C4~C6。各組之三線驅動速度分別為 2、6 和 30 CM/MIN，由三圖中可看出在驅動速度較大時之鬆弛現象比在驅動速度較小時的鬆弛現象來得顯著。

一般常以鬆弛時間之長短作為比較負荷鬆弛現象顯著與否的基準，由於糙米的負荷鬆弛模式是由兩個馬克斯威爾元件（即兩個指數項）所組成，所以有兩個鬆弛時間，但從表 2 至表 4 的模式方程式可看出，第二指數項的鬆弛時間和係數比第一指數項的鬆弛時間和係數均小甚多，所以第一指數項對整個負荷鬆弛模式具有決定性之影響，因而以第一鬆弛時間作為各種條件間的比較基準。

由表 5 至表 7 的關係可得知，在相同的品種、含水率和設定初負荷的條件之下，驅動速度增大時鬆弛時間減短而驅動速度減小時鬆弛時間增長。此種現象原因可解釋為由於驅動速度的大小與糙米的衝擊能量和變形量有關係，當驅動速度較小時，糙米所受的衝擊能量少，同時細胞組織變形的情形不嚴重，再加上壓縮糙米到設定初負荷的時間較長，此段時間內可能已在散發所受的衝擊能量，因此到

達設定初負荷時所開始呈現的鬆弛現象並不顯著；但是在驅動速度較大時，糙米所受的衝擊能量多，而且細胞組織的變形較大，再加上壓縮糙米到設定初負荷的時間較短，此段時間所能散發的衝擊能量非常少，因而到達設定初負荷時須以較快速率散發所受的衝擊能量以避免細胞組織的變形而遭破壞，所以鬆弛現象比較顯著，亦即鬆弛時間較短。

表 5. 驅動速度對於鬆弛時間的影響 (品種：臺農 67 號)

含水率 (濕基)	驅動速度 (CM/MIN)	設定初負荷 (KG)	鬆弛時間, 1 (sec)
25%	2	3.6	377.9
	6	3.6	347.3
	30	3.6	303.35
	2	5.4	341.03
	6	5.4	323.5
	30	5.4	272.9
13%	2	3.6	2,561
	6	3.6	2,228
	30	3.6	1,868
	2	5.4	2,144
	6	5.4	2,015
	30	5.4	1,664

表 6. 驅動速度對於鬆弛時間的影響 (品種: 臺農和14號)

含水率 (濕基)	驅 動 速 度 (CM/MIN)	設 定 初 負 荷 (KG)	鬆 弛 時 間, 1 (sec)	
25%	2	3.6	535.5	
		6	490.9	
		30	454.4	
	6	5.4	420.1	
		6	388.6	
		30	344.2	
	13%	2	3.6	2,949
			6	2,649
			30	2,315
6		5.4	2,712	
		6	2,276	
		30	2,078	

表 7. 驅動速度對於鬆弛時間的影響 (品種: 臺農糯育2號)

含水率 (濕基)	驅 動 速 度 (CM/MIN)	設 定 初 負 荷 (KG)	鬆 弛 時 間, 1 (sec)
13%	2	3.6	1,905
		6	1,817
		30	1,657
	6	5.4	1,826
		6	1,629
		30	1,363

(三) 設定初負荷對於鬆弛時間的影響

比較圖 3 中的 A1A7、A2A8、A3A9、A4A10、A5A11 和 A6A12，圖 4 之 B1B7、B2B8、B3B9、B4B10、B5B11 及 B6B12，圖 5 之 C1C4、C2C5 和 C3C6。各組二線之設定初負荷分別為 5.4 KG 及 3.6 KG，由這些關係可看出在設定初負荷較大時之鬆弛現象比在設定初負荷較小時之鬆弛現象來得顯著。

表 8 至表 10 為不同的設定初負荷對於鬆弛時間的影響。當含水率和驅動速度不變時，相同品種的糙米在設定初負荷較小時鬆弛時間較長，而設定初負荷較大時鬆弛時間較短。此原因可解釋為當壓縮

糙米到達設定初負荷時，變形量即維持恒定，但負荷仍會隨着時間而減小。故當設定初負荷較小時，糙米所受到的負荷也較小，細胞組織變形的情況不嚴重，所以鬆弛現象比較緩和，因而鬆弛時間較長；但當設定初負荷較大時，糙米相對地所受到的負荷也較大，細胞組織變形程度大，因而以較快的速率散發儲存能量以避免細胞組織遭受變形而破壞，使得鬆弛時間會較短。

表 8. 設定初負荷對於鬆弛時間的影響 (品種: 臺農67號)

含水率 (濕基)	設 定 初 負 荷 (KG)	驅 動 速 度 (CM/MIN)	鬆 弛 時 間, 1 (sec)	
25%	3.6	2	377.9	
		2	341.03	
	5.4	6	347.3	
		6	323.5	
	3.6	30	303.35	
		30	272.9	
	13%	3.6	2	2,561
			2	2,144
		5.4	6	2,228
			6	2,015
		3.6	30	1,868
			30	1,664

表 9. 設定初負荷對於鬆弛時間的影響 (品種: 臺農和14號)

含水率 (濕基)	設 定 初 負 荷 (KG)	驅 動 速 度 (CM/MIN)	鬆 弛 時 間, 1 (sec)
25%	3.6	2	535.5
		2	420.1
	5.4	6	490.9
		6	388.6
	3.6	30	454.4
		30	344.2

13%	3.6	2	2,94
	5.4	2	2,712
	3.6	6	2,649
	5.4	6	2,276
	3.6	30	2,315
	5.4	30	2,078

表10.設定初負荷對於鬆弛時間的影響(品種：臺農糯育2號)

含水率 (濕基)	設定初負荷 (KG)	驅 動 速 度 (CM/MIN)	鬆弛時間, 1 (sec)
13%	3.6	2	1,905
	5.4	2	1,826
	3.6	6	1,817
	5.4	6	1,629
	3.6	30	1,657
	5.4	30	1,363

四含水率對於鬆弛時間的影響

比較圖3中的 A1A4、A2A5、A3A6、A7 A10、A8A11 和 A9A12，圖4之 B1B4、B2 B5、B3B6、B7B10、B8B11 及 B9B12。各組二線之含水率分別為13% (濕基) 和25% (濕基)，由這些關係可發現在含水率25%時之鬆弛現象比含水率13%時之鬆弛現象來得顯著。

表11和表12為不同的含水率對於臺農67號和臺農秈14號鬆弛時間的影響。驅動速度和設定初負荷一定的相同品種，含水率較高時鬆弛時間較短，但含水率較低時鬆弛時間會較長。

表11.含水率對於鬆弛時間的影響(品種：臺農67號)

設定初負荷 (KG)	含水率 (濕基)	驅 動 速 度 (CM/MIN)	鬆弛時間, 1 (sec)
3.6 KG	13%	2	2,561
	25%	2	377.9
	13%	6	2,228
	25%	6	347.3
	13%	30	1,868
	25%	30	303.35

5.4 KG	13%		2,144
	25%	2	341.03
	13%	6	2,015
	25%	6	323.5
	13%	30	1,664
	25%	30	272.9

表12.含水率對於鬆弛時間的影響(品種：臺農秈14號)

設定初負荷 (KG)	含水率 (濕基)	驅 動 速 度 (CM/MIN)	鬆弛時間, 1 (sec)
3.6 KG	13%	2	2,949
	25%	2	535.5
	13%	6	2,649
	25%	6	490.9
	13%	30	2,315
	25%	30	454.4
5.4 KG	13%	2	2,712
	25%	2	420.1
	13%	6	2,276
	25%	6	388.6
	13%	30	2,078
	25%	30	344.2

四不同品種對於鬆弛時間的影響

表13和表14為不同品種之糙米對於相同含水率、設定初負荷和驅動速度條件下，其鬆弛時間變化的情形。在含水率25% (濕基) 之糙米，臺農67號的鬆弛時間比臺農秈14號短，表示臺農67號的鬆弛現象比臺農秈14號來得顯著。而在含水率13% (濕基) 的糙米，臺農糯育2號的鬆弛時間最短，臺農67號次之，而臺農秈14號鬆弛時間最長，表示此三品種之鬆弛現象以臺農糯育2號最顯著，臺農67號次之，而臺農秈14號最不顯著。

比較品種、含水率、設定初負荷和驅動速度對糙米鬆弛時間的影響，由表5至表14可發現以含水率的影響最為顯著。

表13. 不同品種糙米對於鬆弛時間的影響 (含水率: 25% (濕基))

設定初負荷 (KG)	品 種	驅 動 速 度 (CM/MIN)	鬆弛時間, 1 (sec)
3.6 KG	臺農 67 號	2	377.9
	臺農 14 號	2	535.5
	臺農 67 號	6	347.3
	臺農 14 號	6	490.9
	臺農 67 號	30	303.35
	臺農 14 號	30	454.4
5.4 KG	臺農 67 號	2	341.03
	臺農 14 號	2	420.1
	臺農 67 號	6	323.5
	臺農 14 號	6	388.6
	臺農 67 號	30	272.9
	臺農 14 號	30	344.2

表14. 不同品種糙米對於鬆弛時間的影響 (含水率: 13% (濕基))

設定初負荷 (KG)	品 種	驅 動 速 度 (CM/MIN)	鬆弛時間, 1 (sec)
3.6 KG	臺農糯育 2 號	2	1,905
	臺農 67 號	2	2,561
	臺農 14 號	2	2,949
	臺農糯育 2 號	6	1,817
	臺農 67 號	6	2,228
	臺農 14 號	6	2,649
	臺農糯育 2 號	30	1,657
	臺農 67 號	30	1,868
	臺農 14 號	30	2,315
	臺農糯育 2 號	2	1,826
	臺農 67 號	2	2,144
	臺農 14 號	2	2,712
5.4 KG	臺農糯育 2 號	6	1,629
	臺農 67 號	6	2,015
	臺農 14 號	6	2,276
	臺農糯育 2 號	30	1,363
	臺農 67 號	30	1,664
	臺農 14 號	30	2,078

五、結 論

(一)糙米在一定變形量之下, 所受的負荷會隨着作用時間的增長而減少, 此種現象即為負荷鬆弛性質, 而此種負荷鬆弛特性適用兩個並聯的馬克斯威爾元件所組成的模式來表示。

(二)在品種、含水率及設定初負荷相同條件下的糙米, 驅動速度增加時鬆弛時間會減短而驅動速度減少時鬆弛時間會增長。

(三)在品種、含水率及驅動速度相同條件下的糙米, 設定初負荷增大時鬆弛時間會減短而設定初負荷減小時鬆弛時間會增長。

(四)在品種、設定初負荷及驅動速度相同條件下的糙米, 含水率增加時鬆弛時間會減短而含水率降低時鬆弛時間會增長。

(五)在含水率、設定初負荷及驅動速度相同條件下的糙米, 臺農糯育 2 號之鬆弛時間最短, 臺農 67 號次之, 而臺農 14 號之鬆弛時間最長。

(六)以品種、含水率、設定初負荷及驅動速度四種條件分析糙米的負荷鬆弛性質, 其中以含水率的影響最顯著。

六、誌 謝

本文承蒙本系彭添松教授、張漢聖教授、中興大學農機系黃陽仁教授、李芳繁教授之細心斧正, 中興大學農機系慨允借用粘彈性物質測定機及本校農藝系沈明來教授提供計算機程式, 謹此致由衷之謝忱。

七、參 考 文 獻

1. 葉仲基。民國73年6月。糙米之粘彈特性。國立臺灣大學農業工程研究所機械組碩士論文。
2. 陳俊明、王康男。民國71年。柑桔負荷鬆弛機械性質之研究。中國農業工程學報28(2):99-105。
3. 山口信吉、山沢新吾、若林嘉一郎。1981。米粒の粘彈性に關する基礎的研究。農機誌43(1):83-88。
4. 山口信吉、山沢新吾、若林嘉一郎。1981。米粒胚乳の應力緩和係數。農機誌 43(2):239-245。
5. Husain, A., K. K. Agrawal, T. P. Ojha and N. G. Bhole. 1971. Viscoelasticity behavior of rough rice. Trans. of the ASAE 14(2):313-314, 318.
6. Mohsenin, N. N. 1970. Physical properties of plant and animal materials. Vol 1. Gordon and Beach Science Publisher, New York.
7. Zoerb, G. C. and C. W. Hall. 1960. Some mechanical and rheological properties of grains. Journal of Agricultural Engineering Research 5(1):83-93.