

脆梅壓裂機之研究¹

黃禮棟^{2,3} 周廷弘² 楊智凱²

摘 要

黃禮棟、周廷弘、楊智凱。2005。脆梅壓裂機之研究。台灣農業研究 54:113-122。

為突破脆梅浸漬加工過程中費時費工之原料青梅壓裂作業瓶頸，以降低生產成本、嘉惠農民而研發脆梅壓裂機。一粒青梅於壓裂過程中之彈性係數可高達 12,340 kg/m，壓裂所需力量最高值達 50.9 kg，平均值亦有 39.6 kg，本機設計可一次壓裂 5 粒青梅，故壓裂機構必需產生極大力量。製作脆梅時先將六、七分熟之青梅混合粗鹽後放入滾筒中攪拌約 10 min，處理後果肉已稍微軟化且表皮上之纖毛已經脫去，此時再進行壓裂作業。本機經 5 次作業性能試驗結果顯示，脆梅壓裂機平均每小時作業量為 140 kg，約為人工作業量的 10 倍，而壓裂之果實外觀受到壓擠板間隙之影響頗大，為顧及脆梅之品質，建議於作業前先將梅子依粒徑大小分級，以求得較佳的壓裂效果並提升脆梅之品質。

關鍵詞：青梅、壓裂機、彈性係數。

前 言

梅屬於薔薇科溫帶落葉喬木，台灣梅樹面積逾九千公頃，栽培於中央山脈東西兩側海拔 300~1,000 公尺的山坡地，梅子主要產地在南投縣、台中縣、台南縣、高雄縣及台東縣等縣境之山區。台灣梅果約二成以手工採收，八成以竹竿擊落採收，除少量自產加工、直銷或共同運銷進行鮮果交易外，其餘係由加工廠收購加工，然而受限於地理氣候環境、中國大陸廉價梅胚競銷及經第三國轉進口影響，台灣梅產業的傳統生產型式已經逐漸式微，收購價格亦逐年下跌。台東區農業改良場為配合當地交易市場需求，亦即加工脆梅之原料青梅果實必須依粒徑大小加以分級的作業需要，曾經開發梅子分級機，將青梅分成 20 mm 以下、20~23 mm、23~26 mm、26~29 mm 及 29 mm 以上等五級規格，分級精確度達到 85% 以上，損傷率在 3% 以下（曾得洲 2003）；農委會為穩定國產青梅的產銷，分別在產地及都會區辦理「台灣美梅季」系列活動及梅 DIY 教學，促進消費者自行加工醃製。為確保脆梅品質及外觀，製作脆梅前必須將梅果敲開一道不會使果粒破開的裂痕，使得澀味得以排出而糖份能充分被吸收且加工過程中顆粒不會縮小，此項作業以人工逐粒敲裂頗為繁瑣且費工費時，故研製青梅壓裂機以替代人工作業，可提升果農及小型工廠自行醃製之意願，而且因青梅原料不必鋪陳於桌面上敲擊，故可確保較佳衛生條件。

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2230 號。接受日期：94 年 9 月 10 日。

2. 本所農業工程組副研究員、助理研究員與助理研究員。臺灣 臺中縣 霧峰鄉。

3. 通訊作者，電子郵件：jerryh@wufeng.tari.gov.tw；傳真機：(04)23325144。

材料與方法

為便於去除澀味及使醃漬糖汁易於滲入果肉內，脆梅醃漬前一般先以粗鹽及脆梅混合置於木製或不銹鋼製成之滾筒中搓揉攪拌，滾筒轉速約為 40 rpm，經過約 10 min 後，將已去除表皮上纖毛且已稍有軟化現象之梅子倒出，再以人工拿木槌逐粒敲裂，此項作業頗為費時費工，本所為解決此一作業瓶頸，故研發脆梅壓裂機以替代人工作業，降低生產成本，提升果農及小型工廠自行醃漬之意願。脆梅壓裂機雛型機之作用原理為：表皮經過粗鹽軟化處理後之脆梅由盛斗進入輸送帶中，當脆梅輸送至壓裂板下方時皮帶暫停運動，此時由曲軸滑塊機構組成之壓裂板元件往下運動，壓裂梅子，之後壓裂機構往上提升，而梅子則輸送至承接容器。因壓裂機構必須產生足夠的力量克服梅子阻力，故而量測梅子的壓裂力量是一重要項目。經以 Instron 4464 型材料試驗機測試，壓縮速度設定於該機最大值 100 mm/min 時之測試結果如表 1 所示，由資料顯示平均壓裂一粒青梅需要 39.6kg 的力量，單粒青梅的壓縮量與反應力之曲線關係如圖 1 所示。

本機機體長 95cm、寬 44cm、高 109cm，動力使用 0.5HP 之減速馬達，其外觀與壓裂作業之情形如圖 2 與圖 3 所示。

表 1. 青梅之壓裂力量試驗結果

Table 1. Cracking force of the tested mume fruits

Fruit No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Cracking force (kg)	46.0	34.1	39.0	35.6	39.9	46.7	41.7	44.0
Fruit No.	9	10	11	12	13	14	15	Average
Cracking force (kg)	40.7	29.2	50.9	35.5	31.0	35.0	44.9	39.6
Standard deviation of cracking force (kg)	6.20							

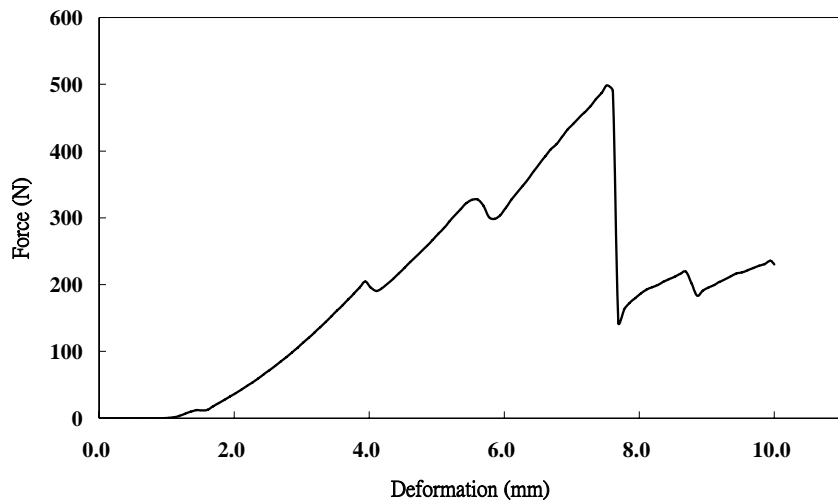


圖 1. 青梅之壓縮量與力量之關係曲線圖。

Fig. 1. The force-deformation curve of a mume fruit.



圖 2. 脆梅壓裂機。

Fig. 2. View of the mume cracking machine.

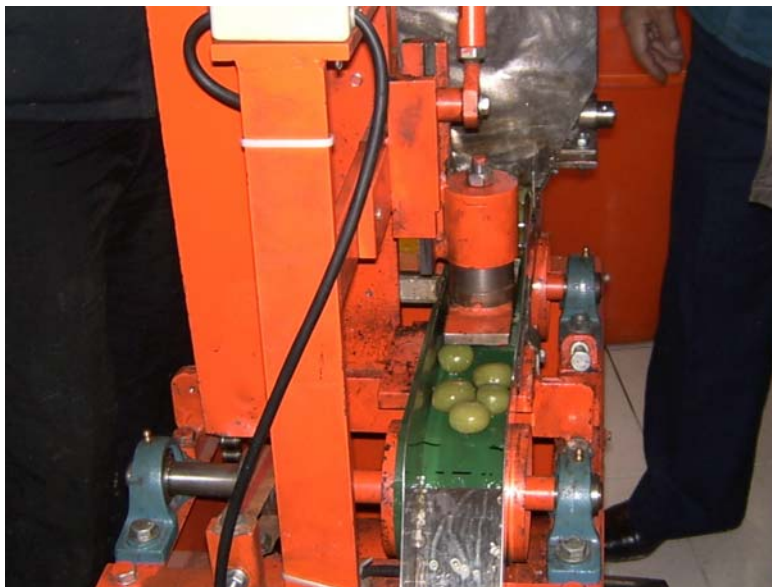


圖 3. 脆梅壓裂機之壓裂作業情形。

Fig. 3. The mume fruit cracking machine in operation.

結 果

於民國 93 年 4-5 月間，正值供製作脆梅之原料青梅採收期在新竹縣竹東鎮小型加工廠進行脆梅壓裂機試驗，青梅之果粒高度、長、短徑及重量之關係，列於表 2。加工前先依青梅粒徑大小加以分級後，再依照傳統之操作方式先將青梅混合粗鹽後放入轉速約為 40 rpm 之木製滾筒中(圖 4)攪拌約 10 min，因粗鹽及果粒間的磨擦作用，可以達到去除果皮上之纖毛及使青梅原料稍微軟化的效果，青梅及粗鹽攪拌處理後倒入有孔籃框內，使水份滴出再進行壓裂試驗。每次量取 6 kg 之青梅，紀錄其作業時間及顆粒完整率，試驗結果如表 3 所示，而經機械壓裂後之青梅則示於圖 5。本次作業雛型機之輸送皮帶寬度為 5 cm，壓裂機構每分鐘壓裂作業 40 次，每次壓裂 4~5 粒之青梅。

本次試驗脆梅壓裂機之完整顆粒率為 93.2%，平均作業能力為每小時 140.6 kg，約為人工作業能力的 8-10 倍，若欲提高作業能力，可從加寬盛盤出口、輸送皮帶與壓裂板，以及提高壓裂機構轉速等二方面著手。

表 2. 青梅粒徑與重量之資料

Table 2. Dimensions and weight of the sampled mume fruits

Fruit No.	Fruit size (mm)			Weight(g)
	Height	Long diameter	Short diameter	
1	31	29	26	13.0
2	29	28	26	11.6
3	30	29	26	12.8
4	31	30	27	13.3
5	28	28	25	11.0
6	26	27	25	9.5
7	30	29	27	13.4
8	31	29	27	13.0
9	31	32	28	14.7
10	30	30	26	13.3
11	27	27	25	10.6
12	29	29	25	11.7
13	28	28	25	10.6
14	29	27	25	10.7
15	28	27	24	10.5
16	29	29	25	12.1
17	27	26	24	10.0
18	28	28	25	10.4
19	25	25	22	7.9
20	25	27	24	9.5
21	26	27	24	9.6
22	26	27	24	9.2
23	25	26	23	8.7
24	27	28	26	11.2
25	26	28	25	10.4
26	30	28	25	11.2
27	27	27	24	9.7
28	29	29	26	12.1
29	27	28	25	10.4
30	28	26	24	10.1
Average	28.1	27.9	25.1	11.1
Standard deviation	1.90	1.44	1.27	1.60



圖 4. 青梅與粗鹽於木桶中攪拌以去除表皮細毛。

Fig. 4. Mume fruits and crude salt were mixed in a revolving wooden barrel to remove the cilia on the skin surface.



圖 5. 以脆梅壓裂機壓裂之梅子。

Fig. 5. The cracked mume fruits with rifts.

表 3. 脆梅壓裂機試驗結果

Table 3. Experimental results of the cracking machine

Run No. ^z	Cracking time (sec.)	Capacity (kg/h)	Whole fruit rate (%)
1	160	135	93.1
2	163	132	92.8
3	170	127	94.6
4	151	143	91.5
5	130	166	93.9
Average		140.6	93.2

^z For each run, mume fruits of 6.0 kg were tested.

討 論

脆梅壓裂機使用之曲軸滑塊機構之曲軸半徑 r 為 33 mm，連桿長度 L 為 96 mm，曲軸轉速為 43 rpm，故其角速度 ω 為 4.50 rad/sec；由圖 6 分析可得機構上滑塊之速度 v 及加速度 a 分別為(Faires 1959；Doughtie and James 1960)：

$$v = r\omega \left(\sin \theta + \frac{r \sin 2\theta}{2\sqrt{L^2 - r^2 \sin^2 \theta}} \right) \quad (1)$$

$$a = r\omega^2 \left(\cos \theta + \frac{r \cos 2\theta}{\sqrt{L^2 - r^2 \sin^2 \theta}} + \frac{r^3 \sin^2 2\theta}{4(L^2 - r^2 \sin^2 \theta)^{3/2}} \right) \quad (2)$$

其中：

v ：滑塊速度 (mm/sec)

a ：滑塊加速度 (mm/sec²)

r ：曲軸半徑(mm)

L ：連桿長度(mm)

θ ：曲軸角度(deg)

ω ：曲軸角速度(rad/sec)

由表2知青梅之短徑一般為24 mm—28 mm之間，進行壓裂時青梅一般以短徑方向受壓，假設欲壓裂之青梅短徑為24 mm，設定之壓縮量為10 mm，則當壓裂板到達開始壓縮青梅時曲軸之角度 θ 約為320°(依圖6之標示且滑塊之下死點為0°)，故開始壓縮青梅時之速度依公式(1)之結果為121 mm/sec，為 Instron 4464材料試驗機之最大速度1.67 mm/sec 之72.7倍。而如圖1所示於最大壓縮力量點7.5 mm時，即距離曲軸滑塊機構頂點2.5 mm處之速度亦有65 mm/sec。

一般假設農產品之壓縮模式可由彈性元件及黏滯性元件兩者並聯組成之 Kelvin Model(圖 7, Mohsenin 1970)或串聯組成之 Maxwell Model(圖 8, Mohsenin 1970)表示，由圖 1 可知 Instron 材料試驗機以 $v=1.67$ mm/sec 之定速度壓縮時，青梅之壓縮力與壓縮量約略分為三階段呈現近似直線之正比關係，於此壓縮試驗中， cv 值為一常數，而 kx 值為一線性函數，所以選擇以 Kelvin Model 解釋壓縮力與壓縮量近似正比之關係較為適當；雖然於開始壓縮時壓板與青梅之接觸面積較小，然而於壓縮中段

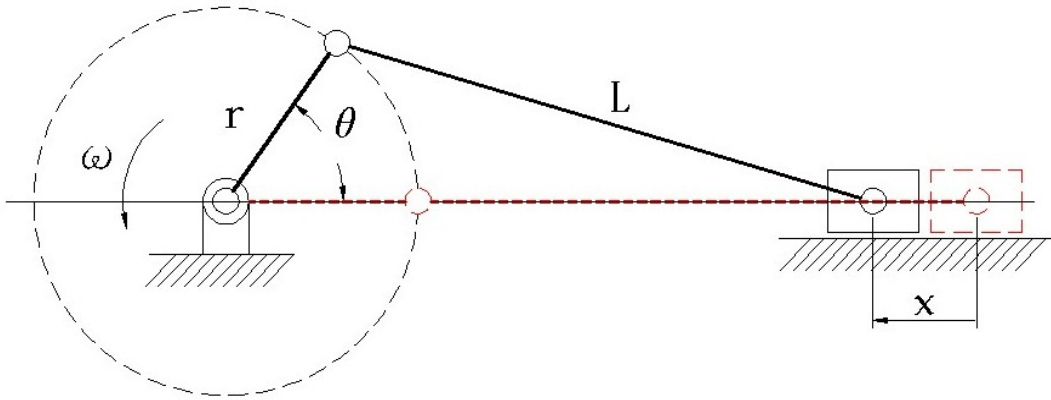


圖 6. 曲軸滑塊機構示意圖。

Fig. 6. Schematic diagram of a slider crank mechanism.

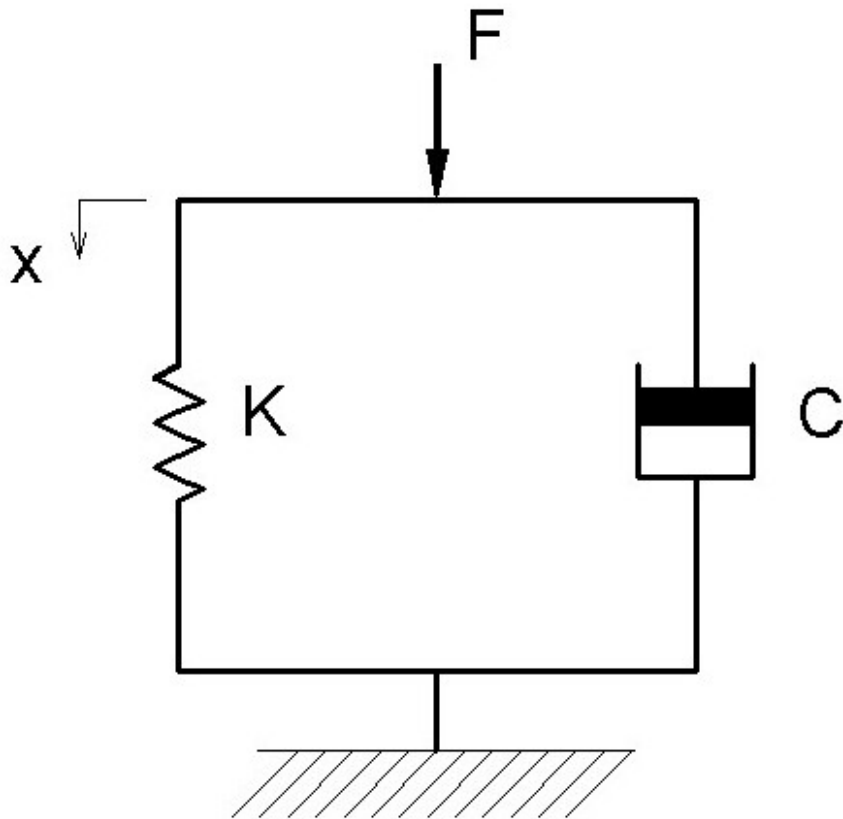


圖 7. Kelvin Model 示意圖 (Mohsenin 1970)。

Fig. 7. Schematic diagram of Kelvin Model (Mohsenin 1970).

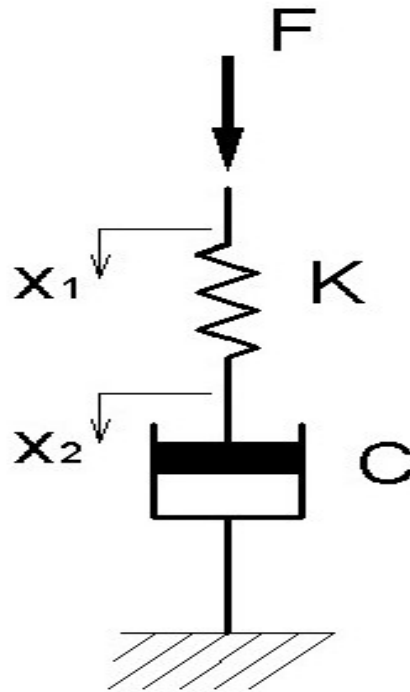


圖 8. Maxwell Model 示意圖 (Mohsenin 1970)。

Fig. 8. Schematic diagram of Maxwell Model (Mohsenin 1970).

至後段部份，接觸面積較大，且變化量不大，若假設其為常數，應不致影響推論之正確性。而由公式 (3) 可知此曲軸滑塊機構壓裂一粒青梅實際需要之力量應高於由 Instron 4464 所測得之數據，此乃因黏滯性元件之抵抗力與壓縮速度成正比之故，而真正之數值仍需以具高速壓縮功能之設備加以確認。

Kelvin Model (Mohsenin 1970) 之情形:

$$F = kx + c \frac{dx}{dt} = kx + c \dot{x} = kx + cv \quad (3)$$

F: 壓縮力量(kg)

k: 彈簧之彈性係數(kg/m)

c: 緩衝器之黏滯係數(kg-sec/m)

x: 壓縮距離(m)

v: 壓縮速度(m/sec)

Maxwell Model (Mohsenin 1970) 之情形:

$$F = k(x_1 - x_2) = c \frac{dx_2}{dt} = cv \quad (4)$$

F: 壓縮力量(kg)

- k：彈簧之彈性係數(kg/m)
 c：緩衝器之黏滯係數(kg-sec/m)
 x_1 ：總壓縮距離(m)
 x_2 ：緩衝器壓縮距離(m)
 v：緩衝器壓縮速度(m/sec)

而由圖 1 及表 4 得知，第一階段壓縮之近似直線部份之斜率估算彈性係數值為 9,680 kg/m，第二段與第三段壓縮曲線近似直線部份之彈性係數值分別為 10,720 kg/m 與 12,340 kg/m，皆高於第一階段者，推測其可能之原因如下：細胞壁所包圍之細胞液已受到壓縮後，要進一步壓縮需要較大之力量，直至破裂為止，至於為何各壓縮階段之間會產生降伏現象，尚待進一步探究。

脆梅為傳統加工產業，然而製造過程需要大量勞力，於我國加入世界貿易組織後，受到東南亞及中國大陸地區原料傾銷之影響，有漸漸式微之趨勢，為提升果農之收益，提高人民購買意願及養成食用本土生產之衛生食品，為一可行之方式，機械加工可降低食品與環境接觸之時間及昆蟲傳播細菌之機會，可大幅提高衛生條件並降低生產成本，提升產品競爭力。

表 4. 單粒青梅之壓縮力與變形量之關係

Table 4. Relationship between compression force and deformation of a mume fruit

Compression stage	Compressing force (kg)	Deformation (mm)	Stage elastic constant (kg/m)
I	8.00	2.61	9,680
	20.88	3.94	
II	21.29	4.36	10,720
	32.87	5.44	
III	32.15	6.02	12,340
	49.68	7.44	

誌 謝

本研究計畫經費由農業試驗所提供，並承國立中興大學生物產業機電工程學系彭主任錦樵支援 Instron 4464 型材料試驗機進行青梅壓縮物性測試，謹藉此表示由衷謝忱。

引用文獻

- 曾得洲。2003。青梅粒徑分級機之改進研究。台東區農業改良場研究彙報 14:109-118。
- Doughtie, V. E. and W. H. James. 1960. Elements of mechanism. John wiley & Sons, Inc., New York. 494 pp.
- Faires, V. M. 1959. Kinematics. U.S. Naval Postgraduate School, Monterey, California. 468 pp.
- Mohsenin, N. N. 1970. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publishers, New York. 891 pp.

A Study on Mume Cracking Machine¹

Li-Duhng Huarng^{2,3}, Tyng-Horng Chou² and Chih-Kai Yang²

Summary

Huarng, L. D., T. H. Chou, and C. K. Yang. 2005. A study on mume cracking machine. *J. Taiwan Agric. Res.* 54:113-122.

The bottleneck operation in the pickling process of mume fruit is to make a rift on the fruit. The main goal of the study is to develop a machine for mume fruit cracking before pickling with sugar for making crispy mume. The development of the machine will also lower the processing cost hence increasing the revenue of the crispy mume manufacturer as well as the growers. Experimental results showed that the elastic constant of a fruit during compression test could be as high as 12,340 kg/m. The maximum force needed to crack a mume was 50.9 kg and the average force of the 15 mume fruits was 39.6 kg with a standard deviation of 6.2 kg. The machine was designed to crack 5 fruits in a stroke; therefore, the mechanism must be designed to generate the required force. We have developed a prototype machine for mume cracking purpose. The first process in making pickled mume before cracking is to mix the fresh mume with the crude salt in a wood or metal container and then revolve for about 10 minutes. This process will remove the cilia on the skin surface of the mume fruit and also make the mume a little bit softer. The average capacity of the cracking machine in five runs is about 140 kg/hr which is about 10 times larger than that of a manual operation. The cracking quality was determined by the gap between the two parallel plates in which the mume was depressed. To gain better quality in cracking, it is suggested that the mume fruits should be sorted according to their size.

Key words: Mume, Crack, Elastic constant.

-
1. Contribution No.2230 from Agricultural Research Institute, Council of Agriculture. Accepted: September 10, 2005.
 2. Respectively, Associate Researcher, Assistant Researcher and Assistant Researcher, Agricultural Engineering Division, ARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
 3. Corresponding author, e-mail: jerryh@wufeng.tari.gov.tw ; Fax: (04)23325144.