

毛豆脫粒之試驗研究

Research on Shelling of Vegetable Soybean

國立中興大學農業機械工程系副教授

國立中興大學農業機械工程系客座教授

彭 錦 樵

行政院國科會客座專家

李 廣 武

Jin-Chyau Peng

K. W. Lee

國立中興大學食品科學系教授

蔡 順 仁

Shun-Jen Tsai

摘 要

毛豆是營養價值極高的蔬菜，含有豐富的蛋白質、鈣質、鐵質、維他命 B₁、B₂ 等。配合農業政策之導向，毛豆有逐年增產之趨勢，不但可外銷以增加外匯，更可加工處理製成各種美味的食品。然而要加工毛豆之前，必需先行脫粒，目前毛豆之脫粒完全以手工行之，耗費大量勞工及成本。本試驗乃應用目前食品機械中適合於毛豆脫粒之兩種機構—滾筒式脫粒機構與圓盤摩擦式脫粒機構，針對毛豆進行脫粒作業，以探討此兩種機構對毛豆脫粒之效果，作為爾後研製一套完善的毛豆脫粒機之依據。

試驗結果顯示

1. 滾筒式擠壓機之兩滾筒轉速為 20 r.p.m 與 60 r.p.m 時，毛豆完全脫粒者可達 66~74%，當兩滾筒轉速為 900 r.p.m 與 1200 r.p.m 時，完全脫粒者不到 50%。
2. 圓盤摩擦式研磨機雖轉速高達 1750 r.p.m，但毛豆完全脫粒者仍可達 69~75%。
3. 圓盤摩擦式機構對毛豆脫粒之效果似乎較滾筒式機構為佳。
4. 三顆豆仁之毛豆莢，其脫粒效果較一顆或二顆豆仁者為差。

Abstract

Vegetable soybean is high nutritious, and it contents many nutriments as protein, calcium, iron, vitamin B₁ and B₂. According to the agricultural policy in Taiwan, the vegetable soybean's product will increase year by year. Vegetable soybean can be exported and processed as many delicious food. Before making the vegetable soybean as delicious food, it is necessary to shell the vegetable soybean. In Taiwan, the operation of shelling the vegetable soybean is still by hand and consumes much labors.

Experiments were conducted with roll crusher and disk attrition mill and investigated the mechanism's shelling efficiencies.

Results showed that:

1. The shelling rate was 66~74% as the rotating speeds of rollers of roll crusher were 20 and 60 r.p.m., it was less than 50% as the rotating speeds were 900 and 1200 r.p.m.
2. The shelling rate was 69~75% although the rotating speed was 1750 r.p.m in disk attrition mill.
3. It seemed that the shelling effect of disk attrition mill was better than that of roll crusher.
4. The shelling effect of vegetable soybean pod which has three kernels was worse than that of one or two kernels.

一、前言

近年來，由於稻米生產過剩，政府積極鼓勵農民實施稻田轉作，項目以園藝作物、雜糧作物、特用作物等為主。根據農林廳之資料^(1,2)顯示，蔬菜類作物在民國73年之種植面積比72年提高30%以上者，只有韭菜（提高31%，民國73年之種植面積為1225公頃），毛豆（提高37%，民國73年之種植面積為6856公頃），萼薺（提高57%，民國73年之種植面積為307公頃）等三種作物，其中以毛豆為最具推廣價值及發展潛力者。

毛豆在本省可以一年兩收，春季產期大約在4月10日至5月20日之間，秋季產期大約在11月12日至12月20日之間，一般而言，秋季之毛豆品質較春季好。農林廳資料^(1,2)指出，民國73年本省毛豆種植及收穫面積各為6856公頃，每公頃產量5426公斤，總產量為37,201公噸，比民國72年增產32%。主要產地集中於屏東縣（占總種植面積之82%），其餘則分散在高雄縣、彰化縣、臺中縣，少量在臺東縣。

在總產量為37201公噸之毛豆中，以冷凍毛豆方式出口外銷者為29077公噸（約占總產量之78.2%），以新鮮或冷藏毛豆方式出口外銷者為1598公噸（約占總產量之4.3%），剩下之6526公噸（約占總產量之17.5%）內銷，其中大部分為品質不良者（豆仁為一粒、三粒或豆莢變形者）。

按毛豆外銷頗具規模之嘉義縣禎祥食品工業股份有限公司表示，本省所生產毛豆除了品質良好的（含豆仁二粒且形狀規則者），以冷凍、冷藏或新鮮方式外銷以外，剩下的大約有10%為品質不良者，此種毛豆在目前則需以人工脫粒，將脫粒後之豆仁作其他形式之加工用途。民國73年毛豆外銷對象99%為日本，為國家爭取約10億臺幣之外匯，日本人食用毛豆之方法為將毛豆冷藏後配冰啤酒，味道甘美。

由於毛豆含有豐富的蛋白質、鈣質、鐵質、維他命B₁與B₂等，因此，最近國內食品業界亦非常重視毛豆之加工。桃園區農業改良場⁽¹⁾提供了毛豆食譜：毛豆豆腐、扁毛豆、毛豆炒四寶、毛豆蝦仁、鹹水豆莢、毛豆丸子湯、毛豆炒飯、毛豆漿等利用方式。至於其它形式之利用，與大食科系亦積極在研究中。

除了「鹹水豆莢」方式食用毛豆以外，其餘方式利用毛豆，都必須先將毛豆脫粒後才能利用其豆

仁作各種加工處理工作。以民國73年而言，大約有5000~6000公噸之毛豆需經過人工之脫粒處理，耗用大量勞工，如果毛豆之脫粒工作能以機械取代，則可節省大量之勞力成本。因之，本研究針對本省之毛豆，以食品機械中目前所普遍採行之滾筒式與圓盤摩擦式脫粒機構^(4,5,6,7,8,9,10,11,12)，進行毛豆脫粒之試驗，探討何種機構較適於毛豆之脫粒，以便將來做進一步之改良試驗，期能發展出一套完善的毛豆脫粒機械，提供毛豆加工業界所需，並配合毛豆之種植及採收機械化作業，促使毛豆之生產及加工達到全面機械化之目標。

二、文獻探討

毛豆之脫粒作業，尚未有完整之理論基礎，但它似乎可應用食品機械中之減積設備（Size reduction equipment）來處理。所謂減積作業，亦即將物料由大顆粒變為小顆粒，或農產品之粉碎、脫粒等操作，因之，毛豆之脫粒作業，可視為減積操作之一種。有許多理論與設備可應用於不同性質物料之減積操作。茲略述有關毛豆脫粒之減積理論與設備^(4,5,6,7,8,9,10,11,12)。

(一)減積理論

物料經過減積操作後，顆粒減小，其減小微小尺寸dX所需之動力dE與顆粒大小間具有乘方關係，此關係可表為下列之微分方程式。

$$\frac{dE}{dX} = -\frac{K}{X^n} \dots \dots \dots (1)$$

Kick, Rittinger, Bond等三位學者分別有不同的假設，以分析物料減積時所需之動力與顆粒大小之關係。

1. Kick 定律

Kick 假設 $n = 1$ ，則由公式(1)可得

$$\frac{dE}{dX} = -\frac{K_k}{X}$$

$$E = K_k \ln \frac{X_1}{X_2} \dots \dots \dots (2)$$

式中，E：減積操作所耗動力，kwhr/ton

X₁：物料原始尺寸，μ（或mm,cm）

X₂：物料減積後之尺寸，μ（或mm,cm）

K_k：常數

2. Rittinger 定律

Rittinger 假設 $n = 2$ ，則由公式(1)可得

$$\frac{dE}{dX} = -\frac{K_r}{X^2}$$
，積分後得

$$E = K_r \left[\frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_1} \right] \dots\dots\dots(3)$$

3. Bond 定律

Bond 假設 $n = \frac{3}{2}$ ，則由公式(1)可得

$$\frac{dE}{dX} = -\frac{K_b}{X^{3/2}}$$

$$E = K_b \left[\frac{1}{\sqrt{X_2}} - \frac{1}{\sqrt{X_1}} \right] \dots\dots\dots(4)$$

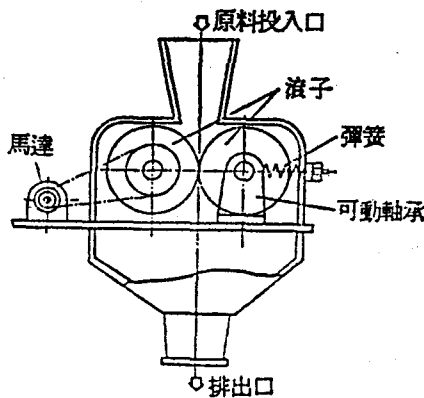
以上三種公式所求得之 E 值均不同，應視物料之性質而選擇較合適之公式應用之。一般農產品，穀物之減積作業取 $n \geq 2$ ，亦即應用 Rittinger 定律；纖維質農產品之減積作業取 $n < 2$ ，可應用 Kick 定律或 Bond 定律。

(二)減積設備

在所有食品機械中適合於毛豆脫粒作業者有兩種設備，一為滾筒式擠壓機 (Roll crusher)，另一為圓盤摩擦式研磨機 (Disk attrition mill)。

1.滾筒式擠壓機

此種機械，其主要機構如圖 1 所示。物料由上面之漏斗進入兩個滾筒間，由於兩個滾筒 (Roller) 之轉速不同，(一快一慢) 而產生摩擦、壓縮、剪切等各種力量，使得物料受擠壓而減小體積，或使得毛豆莢受擠壓而將豆仁擠出，完成脫粒之動作。滾筒之表面可為光滑或帶有凹凸形狀者，兩個滾筒之間隙可調節彈簧之鬆緊而調整之。



滾筒式擠壓機之理論作業能量可由下式計算出

$$Q = 60\pi NDdB \dots\dots\dots(5)$$

$$Q' = 60\pi NDdB\rho \dots\dots\dots(6)$$

式中，Q：作業能量， m^3/hr

Q'：作業能量， ton/hr

N：滾筒轉速，r.p.m.

D：滾筒直徑，m

d：兩滾筒之間隙，m

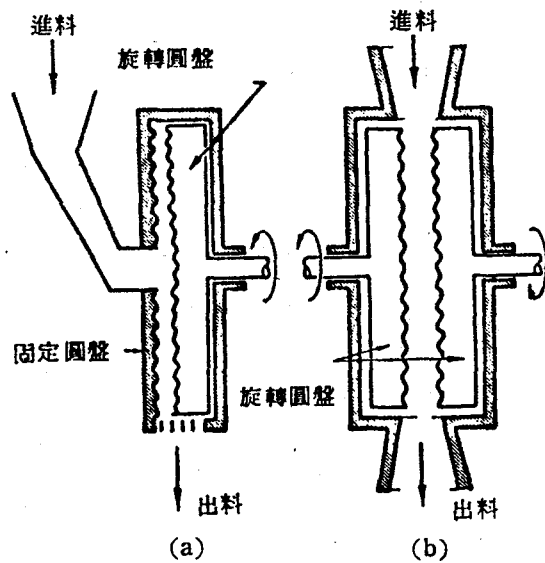
B：滾筒寬度，m

ρ ：物料之密度， ton/m^3

一般在操作時之實際作業能量約為理論作業能量之 30~50%。

2.圓盤摩擦式研磨機

此種機械之主要構造如圖 2 所示。它可分為單轉圓盤式〔如圖 2 之(a)〕及雙轉圓盤式〔如圖 2 之(b)〕兩種。以單轉圓盤式而言當物料由進料口進入左邊之固定圓盤中間，由於右邊旋轉圓盤之運動，使得物料由中心往外移動，在移動的過程中，由於兩個圓盤均有凹凸不平的紋路，因而使得物料在兩圓盤間受擠壓、摩擦及剪切等作用，物料最後移動至圓盤外面而完成減積之操作。同理，以雙轉圓盤式而言，物料經由上面之進料口進入兩旋轉圓盤間，此兩圓盤之迴轉方向相反，因之產生摩擦、擠壓、剪切等作用而使物料減小體積，成品最後由出料口排出。對於各種不同性質之物料，可以調節兩圓盤之間隙而達到理想的效果。圓盤之形狀可依所處理物料性質不同而異，圖 3 所示者為一般常用之圓盤盤面構造。



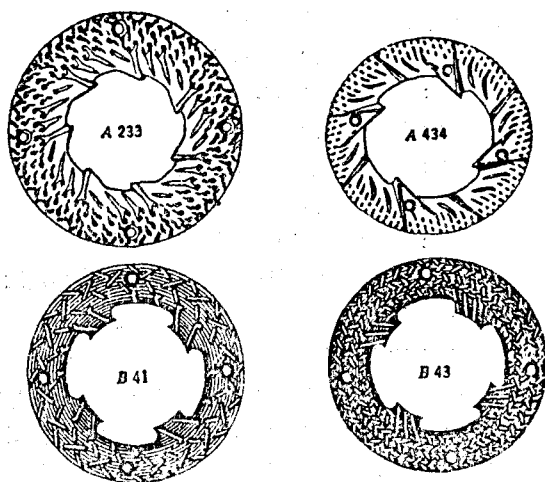


圖3. 圓盤摩擦式研磨機所習用之圓盤盤面構造

本研究以滾筒式擠壓機及圓盤摩擦式研磨機進行毛豆之脫粒試驗，探討機構特性與脫粒效果間之關係，俾作為進一步改良之依據，使毛豆之脫粒能早日機械化作業。

三、材料與方法

(一) 儀器設備與材料

1. 滾筒式擠壓機

(1) SATAKE RICE MACHINE, 其外觀如圖4所示。

Type : THU
Class : 35A
KW : 0.2
R.P.M: 1000

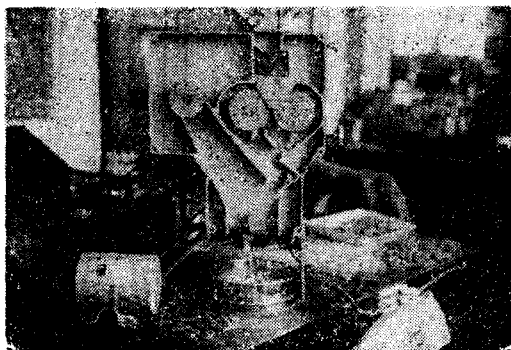


圖4. 滾筒式擠壓機
(SATAKE RICE MACHINE)

(2) 振興牌碾米機，其外觀如圖5所示。

HP : 3
R.P.M : 1200
Capacity: 200kg/hr

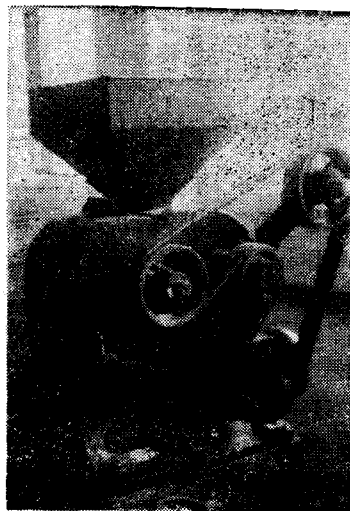


圖5. 滾筒式擠壓機
(振興牌碾米機)

2. 圓盤摩擦式研磨機 (吉立牌碾米機)，其外觀如圖6所示。

R.P.M: 1750.

型式：單轉圓盤摩擦式

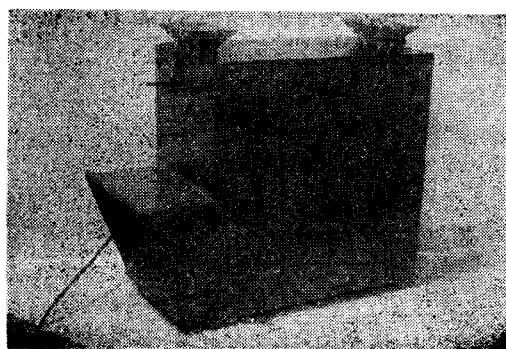


圖6. 圓盤摩擦式研磨機
(吉立牌碾米機)

3. 轉速計。

4. 毛豆：需經殺青處理。

(二) 毛豆之殺青處理

冷凍、冷藏或需脫粒之毛豆均需經過殺青處理，其殺青處理之步驟為：

1. 將殺青處理毛豆量 2 倍之水煮沸 (98~100°C)。

2.將毛豆浸入沸水中 100 秒 (毛豆需全部浸入)

3.馬上撈起，立即以常溫之水冷却10分鐘，或用冰水冷却 3~5 分鐘。

(三)毛豆脫粒試驗步驟：

1.將殺青處理後之毛豆，按豆仁顆粒數分別挑出一粒豆仁、二粒豆仁及三粒豆仁之毛豆各約50莢。

2.調整三種欲試驗之脫粒機構的間隙，使毛豆之脫粒能達最理想狀況。

3.將毛豆分別按豆仁為一粒、二粒、三粒等送進欲試驗之三種脫粒機構中進行脫粒作業。

4.分別統計各種處理中毛豆脫粒後之效果 (含未脫粒、脫粒不完全及完全脫粒者)。

四、結果與討論

(一)滾筒式擠壓機之試驗結果

1. SATAKE 碾米機之試驗結果

由於此碾米機轉速高達 1000 r.p.m，因此，加裝一減速機構，使其兩個滾筒之轉速分別降至20 r.p.m 及 60 r.p.m。兩滾筒之最佳脫粒間隙為 4 mm。試驗情形如圖 4 所示。

毛豆豆仁顆粒為一、二粒及三粒等，經過此機構試驗後之脫粒效果列於表一中。

2. 振興牌碾米機之試驗結果

此機構轉速較快，兩個滾筒之轉速為900r.p.m 與 1200 r.p.m。兩滾筒之最佳脫粒間隙為4mm。毛豆置於兩滾筒脫粒之情形如圖 7 所示。

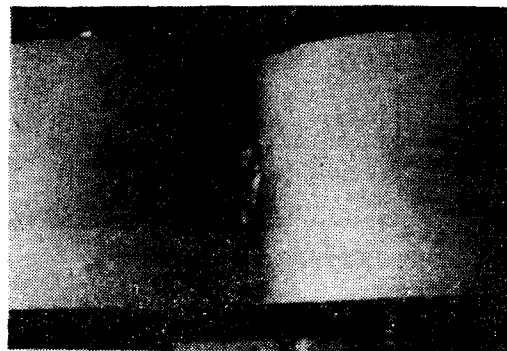


圖 7. 滾筒式擠壓機脫粒毛豆情形

毛豆豆仁顆粒為一粒、二粒及三粒等，經過此機構試驗後之脫粒效果列於表一中。

(二)圓盤摩擦式研磨機之試驗結果

此機構之進料口如圖 8 之 A 所示，B 為固定圓盤，C 為旋轉圓盤，D 為馬達。兩圓盤各有凹凸不平之紋路，在適合毛豆脫粒之最佳間隙下，兩圓盤凹凸紋路上之最大間隙為 9.5 mm，最小間隙為 6.5 mm。

毛豆豆仁顆粒為一粒、二粒及三粒等，經過此機構試驗之脫粒效果亦列於表一中。

表一 不同豆仁數之豆莢，在兩種脫粒機構下之脫粒效果

機構種類	豆莢種類 脫粒效果	一粒豆仁之豆莢			二粒豆仁之豆莢			三粒豆仁之豆莢		
		完全脫粒 (個)	不完全脫 粒(個)	未脫粒 (個)	完全脫粒 (個)	不完全脫 粒(個)	未脫粒 (個)	完全脫粒 (個)	不完全脫 粒(個)	未脫粒 (個)
		所佔比例 (%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
滾筒式擠壓機	SATAKE	35	9	6	37	7	6	33	11	6
	碾米機	70%	18%	12%	74%	14%	12%	66%	22%	12%
	振興牌	13	9	5	14	13	4	7	15	10
	碾米機	48%	33%	19%	45%	42%	13%	22%	47%	31%
圓盤摩擦式研磨機	(吉立牌碾米機)	44	6	9	39	11	3	38	15	2
		75%	10%	15%	74%	21%	5%	69%	27%	4%

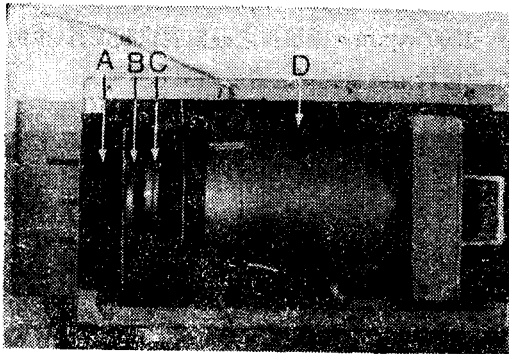


圖8. 圓盤摩擦式研磨機之頂視圖

豆仁顆粒為一粒、二粒、三粒等經過脫粒後之豆莢如圖9、10、11所示，豆莢之外觀尚屬非常良好。脫粒後之豆仁如圖12所示，外觀亦合乎加工處理之要求，並無破碎之情形發生。



圖9. 豆仁顆粒為一粒時，脫粒後之豆莢外觀圖

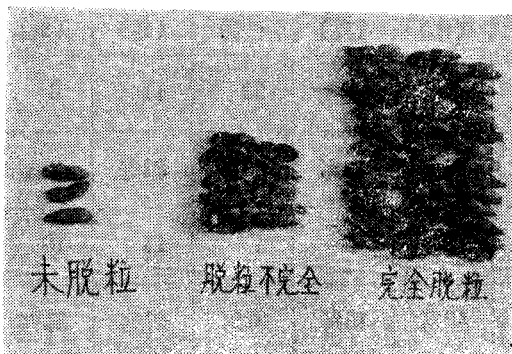


圖10. 豆仁顆粒為二粒時，脫粒後之豆莢外觀圖

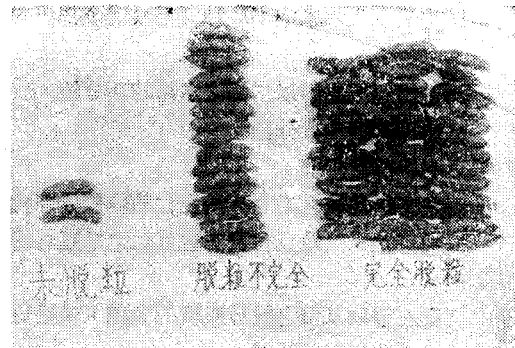


圖11. 豆仁顆粒為三粒時，脫粒後之豆莢外觀圖

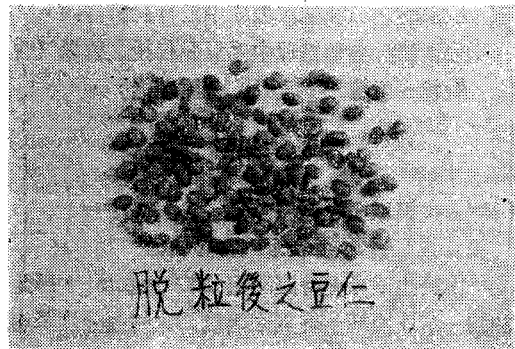


圖12 脫粒後之豆仁

若兩滾筒之轉速較慢（如 SATAKE 碾米機兩滾筒之轉速各為 20 與 60 r.p.m.），則脫粒效果較佳，完全脫粒者可達66~74%。若兩滾筒之轉速較高，達 900 與 1200 r.p.m 時（如振興牌碾米機），則其脫粒效果很差，完全脫粒者不到50%。造成以上結果之主要因素為滾筒之旋轉速度快時，毛豆接受脫粒之時間較短，由於兩滾筒之轉速不同所造成之剪切力與摩擦力對於脫粒之影響亦小，因之，轉速愈快其脫粒效果愈差。

2. 圓盤摩擦式研磨機之脫粒效果：

圓盤摩擦式研磨機由於進料口位於圓盤中間，而由圓盤周圍出料，因此，毛豆在接受脫粒之時間較滾筒式為長，而且接觸面積比滾筒式大得多。因之，雖然其轉速高達 1750 r.p.m，仍可保持69~75%之完全脫粒效果。

3. 豆仁顆粒若為三粒時，在三種機構處理下之完全脫粒率均較豆仁顆粒為一粒及二粒時為小，表示豆莢太長時亦不容易完全脫粒。

4. 圓盤摩擦式研磨機對於毛豆之脫粒效果似乎較滾筒式擠壓機為佳。

(二) 討論

1. 滾筒式擠壓機之脫粒效果：

5.毛豆之脫粒均需在殺青處理後行之，因之，各試驗毛豆之含水率應為均一狀況。

五、建 議

本試驗乃針對滾筒式擠壓機與圓盤摩擦式研磨機，進行毛豆脫粒之初步試驗，由試驗結果可顯示以上兩種機構均可應用於毛豆之脫粒作業上，若再針對毛豆之特性來改良機構，將可提高脫粒效果，有助於脫粒機械化作業早日實施。因之，對後續之研究，作如下之建議：

- 1.加強毛豆物理性狀之測定，以提供設計毛豆脫粒機之參考資料。
- 2.改變滾筒之外形：將滾筒式擠壓機之兩平滑滾筒改變為含有齒狀凸起之滾筒，以增加擠壓、剪切、扭轉之力量，應有助於脫粒效果之提高。
- 3.改變兩滾筒之速比及轉速：改變兩滾筒之速比，設定為 1:3, 1:4, 1:5 等，同時將低速提高至 50 r.p.m, 100 r.p.m, 150 r.p.m, 200 r.p.m 等，分別試驗在不同速比及轉速下之脫粒效果，以選擇最適適用之滾筒速比與轉速。
- 4.使用齒狀之單一脫粒滾筒機構，滾筒與外殼之間隙設計成可自由調整，此種方式可以增加毛豆被脫粒之時間，應有助於提高脫粒效果。
- 5.以圓盤摩擦式研磨機，改變圓盤之凹凸形狀，改變旋轉速度，求取最佳之脫粒效果。
- 6.比較各種操作方法之優劣，選擇最佳之脫粒機構及操作方法以完成脫粒作業。
(1)脫粒機構可分為：平滑雙滾筒式機構、齒狀雙滾筒式機構、齒狀單滾筒式機構、單轉圓盤摩擦式機構、雙轉圓盤摩擦式機構等。

(2)操作方法可以下列步驟進行之：

毛豆→脫粒機構脫粒→Hammer 打擊→選別
(將豆仁與豆莢分開)。

六、謝 誌

本試驗工作之進行，承臺大農機系及與大土壤系慨允借用試驗設備，陳鶯聲先生、林文雄、羅明善、李春林等同學之幫忙，臺大農機系林華火先生之協助，盛中德博士、嘉義禎祥食品工業股份有限公司等提供寶貴意見與資料，始克順利進行，謹申最大謝忱。

七、參考文獻

1. 臺灣省政府農林廳，民國74年6月，臺灣地區主要農畜產品生產及進出口量值。
2. 臺灣省政府農林廳，民國74年6月，臺灣農業年報。
3. 蘇寄萍，毛豆食譜，桃園區農業改良場。
4. 林書成，民國71年5月，食品加工機具，復文書局。
5. 徐景福，民國71年7月，食品機械概論，正文書局。
6. 張宏明，民國68年9月，化工機械，正文書局。
7. 陳振揚，民國67年5月，單元操作(上)，三民書局。
8. 彭錦樵，民國74年6月，農產加工工程，大中國書局。
9. 盧福明，民國75年5月，農產加工工程學，茂昌圖書有限公司。
10. Brennan etc, 1976, 2nd edi, (1981, 華香園) Food Engineering Operations. Applied Science Publishers Ltd, London.
11. Farrall, 1979, Food Engineering Systems. Volume 2—Utilities. AVI, Co.
12. Joslyn & Heid, 1974, Food Processing Operations. AVI. Co.

(文接110頁)

- Machinery Research and Development, (1983),pp. 121-129.
- Lin T. C. and Cho K. B. 1983. Development of Machines for Onion Culture. Annual Reports of Agricultural Machinery Research and Development, (1983),pp.118-120.
- Wung K. S. and Su C. S. 1985. Development of Onion Transplanter. Annual Reports of Agricultural Machinery Research and Development,(1984),pp.118-128.

專營土木、水利、建築等工程

森業營造有限公司

負責人

陳華業

地址：苗栗市府東路巷8號

電話：(037) 335029