

玉米穗軸粉碎機之研製與改良

Development and Improvement of Corncob Mills

國立中興大學農機系副教授

國立中興大學農機系助教

李 芳 繁 謝 廣 文

Fang-Fan Lee

Coang-Wen Shieh

摘 要

本研究之粉碎機包括二部，一部為粗粉碎機，另一部為細粉碎機，二者均為鎚擊式。玉米穗軸先經粗粉碎後再細粉碎。粗粉碎機和細粉碎機分別由3及10馬力之電動機所帶動。粗粉碎機以人工進料，細粉碎機採用螺旋進料。細粉碎機裝置有旋風收集器，以利產品之收集。粗粉碎試驗使用18與35m/s兩種打擊速度，和具有7與12mm孔徑之篩網兩片。細粉碎試驗之打擊速度為93m/s，篩網有三片，分別具有1×12，1.5與3mm之孔徑。

粗粉碎機之最大粉碎能量約為155kg/hr，粉碎一公噸穗軸約需20kw-hr電量；細粉碎機之最大粉碎能量約為30kg/hr，粉碎一公噸經粗粉碎機初步粉碎的穗軸約需350kw-hr電量。

Abstract

The mills in this research consisted of a fine mill and a coarse mill, both being hammer type mills. Corncobs were comminuted first by the coarse mill prior to being fed into the fine mill. The coarse mill and the fine mill were driven by a 3HP and a 10HP motors, respectively. Corncobs were fed into the coarse mill by hands and into the fine mill by a screw. The fine mill was installed with a cyclone collector to facilitate the collection of product. Impacting speeds, 18 and 35 m/s, and screens with 7 and 12 mm openings were used in coarse milling test. In fine milling test, the impacting speed was 93 m/s, and the screens openings were 1×12, 1.5 and 3 mm.

The maximum capacity of the coarse mill was about 155 kg/hr, and 20 kw-hr was needed to comminute one ton corncobs. For the fine mill, the maximum capacity was approximately 30 kg/hr, and 350 kw-hr was necessary to comminute one ton corncobs which were processed first by the coarse mill.

一、前言

自從政府推行稻田轉作雜糧計畫後，玉米之種植面積逐年增加，民國七十二年之種植面積達四萬三千多公頃。每公頃之玉米穗軸產量約 854 公斤，所以民國七十二年之穗軸總產量約為三萬六千多公噸。這麼多的穗軸，如不加以利用，不但非常可惜，同時將污染環境。

玉米穗軸之用途很多。它可做為燃料，做為堆肥、作物育苗用土壤、以及栽培木耳之太空包等之原料。穗軸的吸收性使它可供做殺蟲劑、肥料、維他命等之載體。另外，穗軸亦可用來製造煙斗，肥皂、化粧品及化學藥品；並可用來拋光金屬。在利用玉米穗軸之前，大多需先將它粉碎。本研究之目的即為研製一台高效率之玉米穗軸粉碎機，俾使玉米穗軸能被充分利用。

二、玉米穗軸之結構

玉米穗軸主要由 80~85% 的纖維素，19~22% 的半纖維素，及一些木質素所組成。結構上穗軸含有三個部分：(1)穎苞 (glumes)，是附着在穗軸上的一種膜的結構，對生於子實 (kernels) 上；(2)木環 (woody ring)，是一種木質化疏導組織，堅硬且富韌性，位於穎苞與髓之間；(3)髓 (pith)，位於內部，很輕。

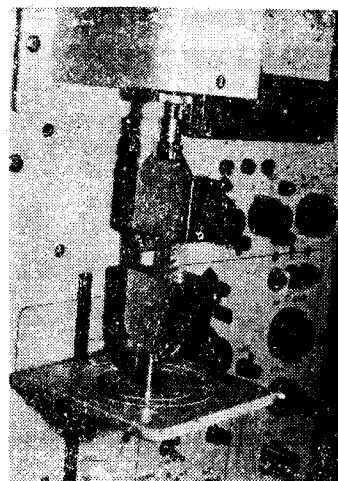
三、玉米穗軸之機械性質

由於穎苞是膜狀結構，髓很輕且無強度可言，故僅對木環做機械性質試驗。機械性質試驗包括：(1)拉伸試驗 (Tensile strength test)；(2)撓度試驗 (Bending strength test)；(3)切斷強度試驗 (Cutting strength test)。

上述各種試驗均使用 FUDOH NRM-2020J—CW 型萬能物性測定器 (Rheometer)，負荷界限有 0~2kg 及 0~20kg 兩種。FUDOH NP—0473 A 型 X—Y 記錄器亦配合使用，以便將資料記錄在紙帶上。

在做拉伸強度試驗之前，先將穗軸的穎苞及髓除去，然後沿穗軸的軸向切下一片長約 70mm 的木環，再將此片木環小心研磨，使它具有長方形斷面，再以拉伸強度試驗夾具將它固定在萬能物性測定器上，進行拉伸強度試驗，如圖一所示。斷裂應力等於斷裂負荷除以樣品之橫斷面積。試驗結果列

於表一。



圖一 拉伸強度試驗

表一 拉伸強度試

樣品編號	橫斷面之尺寸 mm	斷裂負荷 kg	斷裂應力 kg/mm ²
1	11.6×5	11.0	0.190
2	10×8	18.4	0.230
3	11×7	19.3	0.251
4	10.5×5	12.0	0.229
5	10×5.5	16.0	0.290
6	8.8×5	10.7	0.243
7	15×5	15.2	0.203
8	10×4.5	9.4	0.209
9	11×6.4	17.4	0.247
10	12.7×5	17.6	0.277

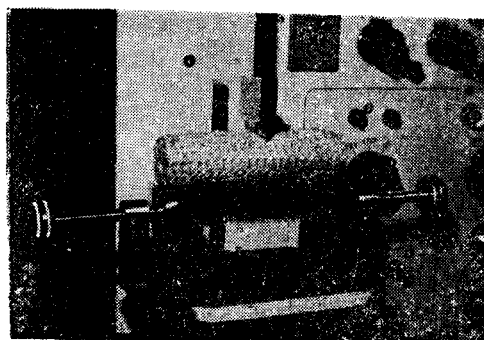
平均 0.237

撓強度試驗之情形如圖二所示。穗軸放置於一小架子上，裝在萬能物性測定器之十字頭 (cross-head) 上的尖形附件施力於穗軸之中央，至穗軸折斷為止。小架子上左右兩片支持板間之距離為 96.6 mm。折斷撓應力， σ_B ，由下式求出，

$$\sigma_B = \frac{772.8 d_o P_B}{\pi (d_o^4 - d_i^4)}$$

式中 d_i = 穗軸中央木環之內徑，mm，
 d_o = 穗軸中央木環之外徑，mm，

P_B = 折斷負荷, kg,
 撓強度試驗結果如表二所示。

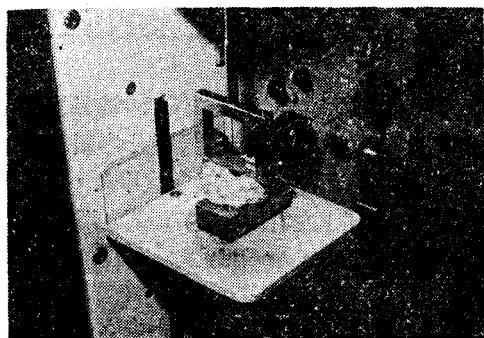


圖二 撓強度試驗

表二 撓強度試驗結果

樣品編號	外 徑 mm	內 徑 mm	折斷負荷 kg	折斷撓應力 kg/mm ²
1	22.4	9.0	11.6	0.261
2	24.3	9.7	16.2	0.285
3	23.6	9.4	8.4	0.161
4	23.5	9.4	16.4	0.320
5	27.4	11.0	17.0	0.209
6	27.5	11.0	12.6	0.153
7	26.0	10.4	10.8	0.156
8	24.0	9.6	15.3	0.280
9	23.0	9.2	7.8	0.162
10	24.2	9.7	19.7	0.351

平均 0.234



圖三 切斷強度試驗

切斷強度試驗之樣品，係沿徑向從穗軸切下厚約11~15mm之穗軸片。試驗時，穗軸片之中心軸與萬能物性測定器之十字頭在同一直線上。在十字頭上裝上切斷附件，進行試驗，如圖三所示。在刀片開始切入樣品時，負荷不斷增加，切入後至樣品被切成兩片期間，負荷保持一定。切斷所需力量以每mm長切口所需力量表示。表三是切斷強度試驗的結果。

表三 切斷強度試驗結果

樣品編號	樣品厚度 mm	切口長度 mm	切斷負荷 kg	每mm長切口之切斷力 kg/mm
1	11.0	14.5	16.2	1.12
2	13.6	13.3	15.0	1.13
3	12.9	12.6	15.6	1.24
4	11.5	13.2	16.8	1.27
5	12.0	13.1	10.9	0.83
6	13.0	15.0	13.2	0.88
7	11.0	15.0	20.0	1.33
8	12.8	12.3	17.6	1.43
9	12.0	13.2	20.0	1.52
10	14.4	12.5	19.5	1.56

平均 1.23

四、玉米穗軸粉碎機之構造

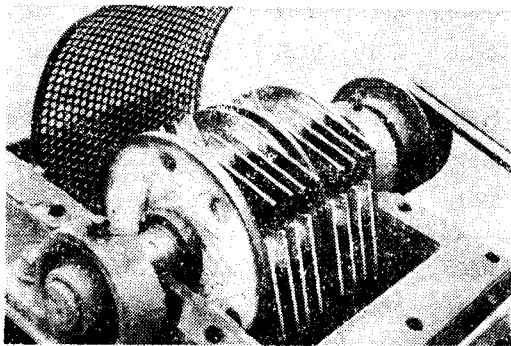
在本研究玉米穗軸之粉碎分為二段，第一段為粗粉碎，第二段為細粉碎。因此，粉碎機有兩台，一台為粗粉碎機，另一台為細粉碎機，二者均為鏈擊式。在圖四右邊較小者為粗粉碎機，左邊較大者為細粉碎機。穗軸先經粗粉碎機粗粉碎後，再用細粉碎機粉碎。

粗粉碎機由一台3HP之電動機，以V型皮帶驅動打擊軸。電動機轉速為1720rpm，藉着更換皮帶輪，打擊軸有2210及1150rpm兩個轉速。這使打擊片前端之線速度分別為35及18m/s。打擊軸上鉚有四片厚5mm之圓鐵板。在距圓鐵板之圓心80mm之圓周上，等距離鑽直徑12.5mm之圓孔六個，再以六支直徑12mm之鐵棒，在與打擊軸平行之方向穿過各圓鐵板之孔。打擊片裝在這些鐵棒上，每支鐵棒上裝8片，共48片，如圖五所示。打擊片在鐵棒上可以轉動，以防止碰撞鐵塊或石頭等堅硬物體時損壞。打擊片之材料為耐磨鋼，長90mm，寬38

mm，厚4.5mm。粉碎室之直徑為320mm，寬 22.5mm。打擊片前端至篩網之距離為 6mm。粉碎室頂蓋內面裝上一片具有鋸齒狀表面之襯套，用以增加粉碎效果，此襯套如磨蝕，可拆下更換。進料以人工為之，穗軸被粉碎至小於篩網之孔徑後，自然落下至同時做為粉碎機機架之產品箱內。篩網有二片，分別具有7mm及12mm直徑之圓孔。

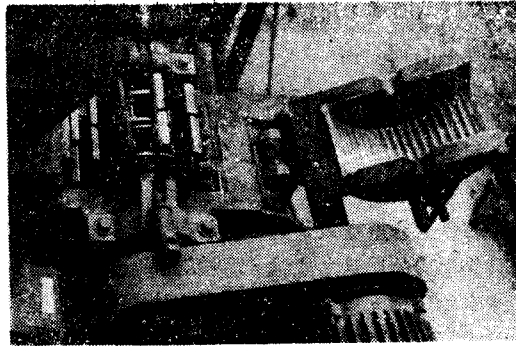


圖四 粗粉碎機與細粉碎機之外觀

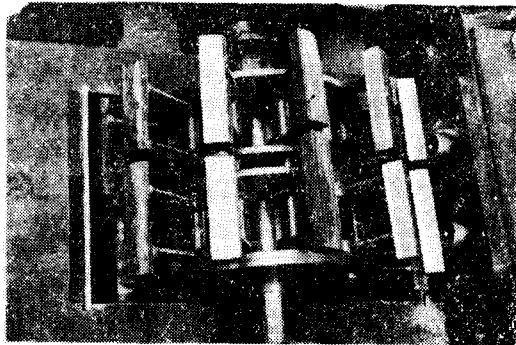


圖五 粗粉碎機之粉碎室，打擊片及篩網

細粉碎機由一台10HP，3500rpm之電動機以V型皮帶驅動打擊軸。打擊軸之轉速為 5920rpm，打擊鏈前端之線速度為93m/s。粉碎室之直徑為320mm，寬為 18.5mm。打擊鏈前端與篩網間之距離為 3mm。機蓋內面裝有一片具有鋸齒狀表面之襯套，如圖六所示。打擊鏈之裝置方法與粗粉碎機打擊片之裝置方法相同。打擊鏈共有24支，其前端打擊部位銲接一片碳化鎢，如圖七所示，以減少磨蝕，延長使用壽命。篩網有三片，其中一片具有

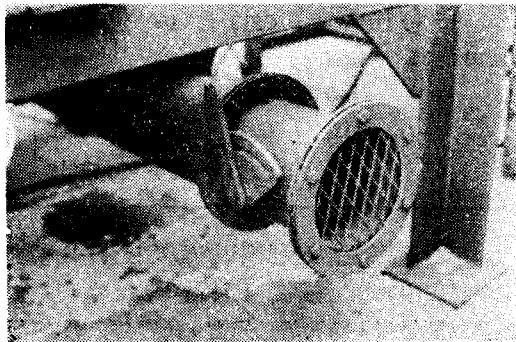


圖六 機蓋打開之細粉碎機



圖七 細粉碎機之粉碎室與打擊鏈

長 12mm，寬 1mm 之條形孔，另外二片分別具有 1.5及 3mm 直徑之圓孔。進料採用螺旋，由一轉矩為0.2kg-m，轉速範圍為 150~1500rpm之無段變速馬達所帶動，以便調整進料率。產品由一部3HP之抽風機抽送至旋風收集器收集之。旋風收集器高 210cm，上端直徑 51cm。旋風收集器之下端裝有一由0.5HP之馬達所驅動之排料閥，使出料順暢。粉碎室之兩側各裝有一可調整之風口，做為抽風機之空氣進口。粉碎機之下面裝有一可調整之補助風



圖八 補助風口

口，如圖八所示，用以增加空氣流量，提高抽送產品之能力。

五、粉碎試驗方法

粗粉碎試驗使用 1150 及 2210rpm 兩種打擊軸轉速，與具有 7 和 12mm 孔徑之篩網，共有 4 種組合，每種組合重複做 3 次，總共有 12 次試驗。每次試驗使用 10 公斤重之穗軸，穗軸均屬臺農 351 號，含水率約 15%。以手進料，進料率使電動機之電流維持在 7.5~12.5 安培。原料重量，原料體積，產品重量，產品體積，粉碎時間，使用電量，大氣溫度及產品溫度均加以記錄。

在細粉碎試驗，打擊軸之轉速為 5920rpm；篩網有三種，其中兩種分別具有 1.5 與 3mm 之孔徑，另外一種具有 1×12mm 之條形孔。每種篩網做 3 次試驗，共有 9 次試驗。細粉碎試驗使用篩網孔徑為 7mm 之粗粉碎試驗產品為原料，以螺旋自動

進料，並以旋風收集器收集產品。操作時粉碎機之電流維持在 24~30 安培。記錄項目與粗粉碎試驗相同。

六、試驗結果與討論

粗粉碎試驗結果列於表四，其平均值列於表五。產品與原料之體積比，最小為 0.62，最大為 0.90，平均約為 0.7。粉碎 10 公斤原料所需時間，以打擊軸轉速為 2210rpm，篩網孔徑為 12mm 時的 3.87 分鐘為最短。使用同一打擊軸轉速時，篩網孔徑愈大，則粉碎時間愈短，而粉碎能量愈大。使用同一篩網孔徑時，打擊軸轉速愈大，則粉碎時間愈短，粉碎能量愈大。在打擊軸轉速為 1150rpm，篩網孔徑為 12mm 時之粉碎能量，比在打擊軸轉速為 2210rpm，篩網孔徑為 7mm 時為大。至於粉碎每公噸穗軸所需之電量，則與粉碎能量成反比。產品之溫度比原料之溫度約高 18°C。

表四 粗粉碎試驗結果

打擊軸轉速 rpm	打擊速度 m/s	篩網孔徑 mm	試驗編號	原料重量 kg	原料體積 cm ³	產品重量 kg	產品體積 cm ³	產品與原料之體積比	粉碎時間 min.	耗電量 kw-hr	粉碎能量 kg/hr	每噸所需電量 kw-hr-ton
1150	18	7	C111	10	80706	8.86	44392	0.62	10.78	0.5	55.64	50
			C112	10	67638	8.86	42336	0.71	8.83	0.5	67.92	50
			C113	10	73300	9.46	45615	0.66	10.25	0.5	58.54	50
		12	C121	10	76112	9.76	57518	0.77	4.83	0.2	124.14	20
			C122	10	75248	9.66	53673	0.74	4.92	0.25	122.03	25
			C123	10	88112	9.96	57771	0.66	5.62	0.25	106.82	25
2210	35	7	C211	10	66176	9.60	46819	0.74	7.83	0.4	76.60	40
			C212	10	80332	9.81	54311	0.69	7.13	0.35	84.11	35
			C213	10	71165	9.65	45615	0.66	7.35	0.4	81.63	40
		12	C221	10	69632	9.86	62058	0.90	4.00	0.2	150.00	20
			C222	10	81408	9.71	56225	0.71	3.95	0.2	151.90	20
			C223	10	76913	9.76	53673	0.72	3.67	0.2	163.63	20

細粉碎試驗結果及其平均值分別列於表六及表七。從表中得知，在篩網孔徑為 3mm 時，所需之粉碎時間最短，粉碎能量最大，粉碎每公噸穗軸所需之電量最小。而在篩網孔徑為 1.5mm 時，所需之粉碎時間最長，粉碎能量最小，粉碎每公噸穗軸

所需之電量最大。雖然條形孔之寬 1mm，小於 1.5mm，但其長度為 12mm，出料較 1.5mm 孔徑之篩網容易，故其所需之粉碎時間較短。在細粉碎試驗，出料係由抽風機抽送，有冷卻作用，所以產品之溫度僅高於原料之溫度約 10°C，比粗粉碎試驗的

18°C 爲小。細粉碎機因未安裝集塵設備，排入空氣中之粉末約佔原料重量之 8~11%。

表五 粗粉碎試驗結果之平均值

打擊軸 轉速 rpm	篩網孔徑 mm	產品與 原料之 體積比	粉碎時間 min.	粉碎能量 kg/hr	每公噸所 需電量 kw-hr /ton
1150	7	0.66	9.95	60.70	50.0
	12	0.72	5.12	117.66	23.3
2210	7	0.70	7.44	80.78	38.3
	12	0.78	3.87	155.18	20.0

在經過粗粉碎與細粉碎後，100 單位體積的王

米穗軸，約減小爲36~46單位。將每公噸穗軸粗粉碎及細粉碎，所需電量約爲 386~618kw-hr，其中大部份用於細粉碎。

細粉碎試驗產品以電動搖篩機做粒徑分析。粒徑分析結果列於表八，其平均值除列於表九外，並繪於圖九。由表九得知，篩網孔徑爲 1.5mm 之產品中，大於1mm者僅佔0.4%；篩網孔徑爲 3mm 之產品中，大於2mm者祇有 0.3%。由此可知，篩網之孔徑需比所要產品之粒徑爲大，才能得到所需粒徑之產品。表九又顯示，較大孔徑篩網之產品，其較小粒徑部份所佔比例較低。對 1×12mm 及 1.5mm 篩網而言，其產品以在 0.25 與 0.5mm 之間者所佔比例最高。對3mm 篩網而言，則以在 0.5 與 1 mm 之間之產品所佔比例最大。

表六 細粉碎試驗結果

打擊軸 轉速 rpm	打擊 速度 m/s	篩網 孔徑 mm	試驗 編號	原料 重量 kg	原料 體積 cm ³	產量 kg	產量 體積 cm ³	產品與 原料之 體積比	粉碎 時間 min.	耗電量 kw-hr	粉碎 能量 kg/hr	每噸所 需電量 kw-hr /ton
5920	93	1×12	F11	9.85	51170	8.80	26454	0.58	28.78	5.20	20.54	528
			F12	10	47194	8.86	28114	0.67	33.35	5.45	18.00	545
			F13	10	51772	8.96	28335	0.61	27.50	4.95	21.82	495
		1.5	F21	9.75	45003	8.35	22631	0.59	32.23	5.50	18.15	564
			F22	9.65	45615	9.00	22631	0.53	35.17	5.85	16.46	606
			F23	9.81	54311	8.56	23160	0.49	31.25	5.25	18.84	535
		3	F31	10	51170	9.15	27556	0.59	21.12	3.55	28.41	355
			F32	8.86	42336	8.06	27556	0.72	16.33	3.00	32.55	339
			F33	9.6	46819	8.81	28658	0.67	19.17	3.35	30.05	349

表七 細粉碎試驗結果之平均值

篩網孔徑 mm	產品與原料 之體積比	粉碎時間 min.	粉碎能量 kg/hr	每公噸所 需電量 kw-hr/ ton
1×12	0.62	29.88	20.12	522.67
1.5	0.54	32.88	17.82	568.33
3	0.66	18.78	30.34	347.67

表八 細粉碎試驗產品之粒徑分佈 *

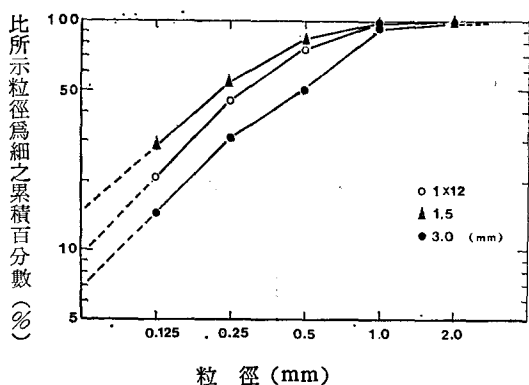
試驗 編號	>2 mm	>1 mm	>0.5 mm	>0.25 mm	>0.12 5mm	底盤
F11	0	0.7	25.7	30.6	22.7	20.3
F12	0	0.7	24.9	30.5	23.7	20.2
F13	0	0.5	22.2	29.9	25.2	22.2
F21	0	0.5	18.5	28.3	25.5	27.2
F22	0	0.2	16.2	29.8	25.6	28.2
F23	0	0.4	15.0	25.7	27.7	31.2
F31	0.2	6.8	38.0	20.4	16.7	17.9
F32	0.3	10.3	42.2	20.2	14.1	12.9
F33	0.4	8.7	39.6	21.2	16.1	14.0

* 單位爲公克，樣品重爲100公克

表九 細粉碎試驗產品之平均粒徑分佈 *

篩網孔徑 mm	>2mm	>1mm	>0.5mm	>0.25mm	>0.125 mm	底盤
1×12	0	0.6	24.3	30.3	23.9	20.9
1.5	0	0.4	16.6	28.0	26.2	28.8
3	0.3	8.6	39.9	20.6	15.7	14.9

* 單位為公克



圖九 細粉碎試驗產品之平均粒徑分佈

七、結論與建議

玉米穗軸之拉伸強度與撓強度分別為 0.237 及 0.234kg/mm²，此兩個強度非常接近，頗為合理。粉碎試驗結果顯示，在使用同一打擊軸轉速時，篩網孔徑愈大，則粉碎能量愈大；在使用同一篩網孔徑時，打擊軸轉速愈高，則粉碎能量愈大。在經過粗粉碎與細粉碎之後，100 單位體積的玉米穗軸，約變成36~46單位。粗粉碎機的粉碎能量約為細粉碎機的五倍，其每公噸所需電量約為細粉碎機的十五分之一。

粗粉碎機採用人工進料，應改為自動進料，以

節省人力。粗粉碎機及細粉碎機之打擊片及打擊鉗均只有一種，應再設計不同型式之打擊片與打擊鉗，加以試驗，以提高粉碎能量。細粉碎機應加裝集塵設備，以減少產品之損失，及防止空氣污染。

八、謝 誌

本文承農業發展委員會補助經費，及黃輝龍，王振裕，黃政鈔與盧文裕同學協助試驗，始克順利完成，謹誌謝意。

九、參 考 文 獻

1. 臺灣農業年報，臺灣省政府農林廳，民國73年版，第38-43頁。
2. ASAE Agricultural Engineers Yearbook of Standards 1983-1984:325-326.
3. Henderson, S.M. and R.C. Hansen. 1968. Farm grain comminution: hammer mill and burr mill performance analyzed. TRANSACTIONS of the ASAE 11(3):399-402.
4. Johnson W.H. and B.J. Lamp. 1966. Principles, Equipment and Systems for Corn Harvesting. Agricultural Consulting Associates, Inc., Wooster, Ohio, U.S.A. pp. 27-33.

大 源 土 木 包 工 業

負責人：劉 西 斌

地 址：彰化縣二水鄉倡和村員集路34號

電 話：(048) 7 9 3 2 2 3