

稻穀之吸濕、胴裂、與碎米

Moisture Adsorption, Fissuring, Brokens, and Resulted Low Head Yield of Rice

國立臺灣大學農業機械工程學系教授

陳 貽 倫

Yi-luen Chen

摘 要

本文之目的為藉實驗研究已乾稻穀在各種不同溫濕度環境中之吸濕和胴裂現象，以及在吸濕胴裂後對加工碾米之影響。實驗包括長粒和中粒兩品種，每品種有高低兩種含水率（11.9% 和 9.35% d. b.），分別使其暴露於八種不同之溫濕度環境中，為時四天。溫度為 20°C 及 30°C，濕度在 64%~92% RH 範圍。本文結果包括：(1)乾穀在不同溫濕度環境中之吸水速率曲線；(2)乾穀在不同溫濕度環境中之胴裂率；及(3)乾穀在不同溫濕度環境處理、再經加工碾米後之白米碾率及碎米量。

Summary

Long grain Labelle and medium grain Brazos with two initial moisture content levels were conditioned in an environmental chamber under eight temperature-humidity conditions for four days. Samples were weighed at 24 hour intervals to check their moisture adsorption rates. Taken among each sample of about 125 grams, 100 grains were inspected for fissuring after conditioning. The remaining of the samples were unhulled, and milled with identical milling processes. Number of fissured kernels of each sample were recorded and the number of fissurings on each single kernel, if any, and the patterns of fissure were observed. The total yield, head yield of each samples were taken, and the ratio of small broked fraction to the large broked fraction of each sample were also calculated. The conclusions were drawn as follows:

1. Dried rough rice stored in an environment chamber, when the humidity in the chamber is greater than the equilibrium relative humidity of the grain, the grain would gain moisture from the air, and would nearly reach moisture equilibrium state within four days. The long grain took moisture faster. And, the higher the chamber temperature, the faster was the adsorption process.
2. The adsorption of moisture of rough rice led to fissuring of the grain. Over-dried grain i. g., 9.35% d. b., fissured at 85-95% rates when stored at 92% relative humidity conditions.
3. Under less humid condition, less fissuring occurred with fewer

fissures on a single grain; but under high humid conditton, high fissuring rates resulted with more fissures on a single kernel. The number of fissures on a single grain was as many as five. The fact led to the high yield of small fraction in a milled sample, if the sample had been conditioned under high humid environment.

4. The head yield of over-dried (i. g., 9.35% d. b.) rough rice was as low as 4-8% when it had been conditioned at 92% relative humidity condition.
5. When relative humidity maintained as constant, higher temperatures of the storage affected both rates of fissure and head yield in a favorite way.
6. There was a close correlation between fissure rate and head yield of rice. This correlation may be affected by its variety. In this experiment, nearly 10% unfissured long grain rice was milled into broken fractions, while the broken portion in a medium rice sample was likely formed solely from what was already fissured.

一、前 言

據美國農部聯邦穀類檢驗處報告：自 1975 至 1978，四年平均，一百公斤長粒種(Long grain)稻穀，經加工碾白後，可得 66.8 公斤白米，即總碾米率 (total milling yield) 為 66.8 %；此 66.8 公斤白米中，整粒米*佔 54.8 公斤，即整粒率 (head yield) 為 54.8 %。中粒種 (medium grain) 稻穀之總碾米率為 68.6 %，整粒率為 56.1 %^②。總碾米率與整粒率相差之原因為碎米。稻穀碾成碎米之直接原因，當然是碾米之機械，但若稻穀內含有未稔粒、或穀粒本身在加工前已有胴裂，則影響其碎米之形成甚鉅。近年，箱型稻穀乾燥機推廣甚多，倘若其乾燥溫度運用不當，極易造成稻穀之胴裂，此等胴裂，在未加工前，不能察覺，待破壳後，自然形成碎米。又，臺灣地處亞熱帶，氣候潮濕多雨。稻穀貯藏不善，也生胴裂^①。故欲減少碾米之損失，第一需研究稻穀胴裂之成因與環境；第二需探討胴裂與碎米之關係，分析碾米機械與稻穀本身之胴裂分別影響其碾率到何種程度，待碎米原因確立後，即可循不同途徑予以改善，降低損失。本文之目的為：一、實驗觀察乾穀在不同環境

* 包括未破裂之完整米及長度達未碎完整米粒長度^{3/4}以上之碎米。

中之吸濕現象；二、在上述不同環境中吸濕之稻穀樣本中，直接觀察其胴裂之程度及胴裂之模式；三、以上述在不同環境中吸濕之稻穀樣本，予以加工碾白，取其碾率與碎米成份，以比較分析：稻穀之吸濕、胴裂、與碎米間之關係。

二、有關文獻簡述

穀粒由糙米和穀壳組成。糙米部分包括：果皮、種皮、糊粉層、胚、及胚乳；穀壳則包括：內外穎及護穎。Bechtel 和 Pomeranz (1978) 報告稱：果皮組織如海綿，可能易吸水，種皮有脂肪成分，不易透水^⑦。糊粉層在米粒外層，有一至七層細胞，細胞內含較多蛋白質顆粒，Kunze 與 Choudhury (1972) 認為此等蛋白質顆粒可能是造成糊粉層在結構上較胚乳部分強韌之原因^⑧。胚乳部分之細胞多澱粉質，除米粒中央部分外，其細胞狀如磚塊排列。澱粉質缺彈性，不耐拉力，此等稻米之成分與結構當有助解釋米粒之碎裂與其碎裂之模式 (Patterns)。

1952 年，Houston 氏研究糙米在 25°C 時之平衡含水率^④。1970 年，Wratten 與 Kendrick 二氏建立稻穀平衡含水率之完整資料^⑤。1949 年，Karon 與 Adams 二氏研究稻穀在不同環境中之失水和吸濕之速率，發現在絕大多數情

況下，稻穀在不同環境中達到平衡含水率需時三週^⑮；但，Breese 氏 (1955) 證實 96 % 以上之水分均在頭四天達成交換^⑯。1952 年，Henderson 氏提出多種吸濕性農產品之平衡含水率公式^⑰，對稻穀而言，該項公式演變如下式^⑱：

$$M = \frac{\left[\frac{\ln(1-RH)}{-K(T+C)} \right]^N}{100}$$

式中，M = 稻穀乾基含水率，小數

RH = 空氣相對濕度，小數

T = 空氣溫度，C°

K = 1.9187 × 10⁻⁵，常數

N = 2.4451，常數

C = 51.161，常數

有關稻穀吸濕與胴裂，遠在 1930 年，已有 Kondo 與 Okamura 二氏提出報告^⑲：含水率 12.6 % 之稻穀在戶外暴露 24 小時，有 72 % 之穀粒發生胴裂，這些胴裂是由在夜間，稻穀吸收空氣中之水氣造成。報告中同時指出：稻穀胴裂之數目與稻穀初期含水率成反比，但與空氣之相對濕度成正比。1953 年，Stahel 氏提出類似觀察報告^⑳。

1954 年，Henderson 氏藉 X—光技術發現：許多外表看似完好之穀粒，內部却含有裂痕，此種裂痕始生於穀粒中心部位，繼而在米粒腰部擴大，最後達於外表。因此，他推測：穀粒之胴裂是由於乾殼外表部位之吸濕或吸熱，發生膨脹，導致穀粒內部產生應力，當此應力大於其抗拉強度時，其中心部位就被撕裂^㉑，此為一有相當價值之發現。其後陸續之實驗結果等種種跡象，證明溫度之影響遠遜於濕度之影響。Kunze 與 Hall (1967) 證明：溫度相差 34.4°C 之變化不致使糙米胴裂^㉒；Chen 與 Kunze 二氏證明 96°C 之溫差仍不能造成胴裂^㉓。1649 年，Earle 與 Ceaglske 二氏研究通心麵之龜裂時，結論說：造成通心麵龜裂之原因為空氣中之水分並非其溫度^㉔。Prasad 等人 (1975) 實驗證明：糙米之濕度膨脹係數遠超過其溫度膨脹係數^㉕，此項糙米之物理性質也許可以解釋上述諸氏之實驗結果。環境溫度之高升，有緩和胴裂產生之效果^㉖；Kato 與 Yamashita (1979) 認為這也許是由於在高溫時，穀粒具有較大程度之可塑性所致。

伴敏三氏 (1971) 報告^㉗：稻穀在乾燥時會產生胴裂，但胴裂產生之時機不一定在乾燥之同時，

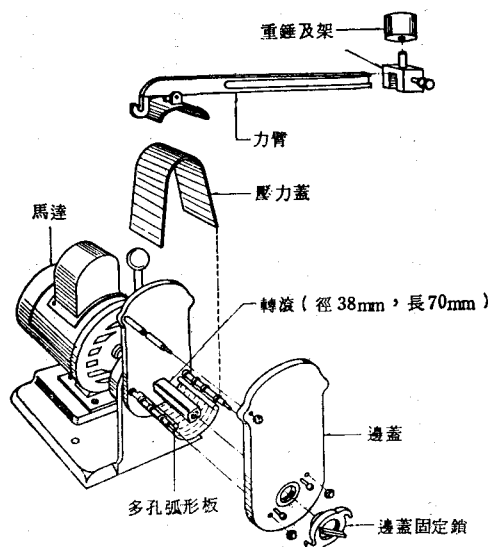
而是在乾燥後一直進行，直到停止乾燥後 48 小時，其胴裂現象才趨穩定。Sharma 與 Kunze (1981) 印證此一結果，謂：大多數胴裂發生於乾燥後 48 小時，惟此後 72 小時內，仍有少數胴裂產生^㉘。稻穀經乾燥後，穀粒內部形成水分梯度 (moisture gradient)，短時間內，外層部分產生拉力，中心部分產生壓力。待乾燥終止，穀粒中心之水分逐漸向外擴散，以致外層水分增加而生應變壓力，而中心部位則生應變拉力，導致斷裂^㉙ (山口信吉等，1981)。

稻穀之碾率與其品種、栽培、氣候、純度、不稔粒百分比、含水率、胴裂率、收穫方法、乾燥方法、貯藏期長短及碾白程度有關^㉚。碾率之降低是由於碎米之增加。造成碎米之因素有二，其一為稻穀本身之缺陷，其二為碾米機械窳劣。有關前者，Swamy 與 Bhattacharya 報導謂：幾乎所有碎米之成因皆由於稻穀在碾前有胴裂及由於含有未稔粒^㉛。稻穀若迅速吸水會嚴重影響其碾米品質^㉜ (Blakeney 與 Chesterfield, 1976)。當碾米房內濕度大於或小於稻穀含水率之平衡濕度時，整粒率有減少跡象^㉝ (Autrey 等，1955)。

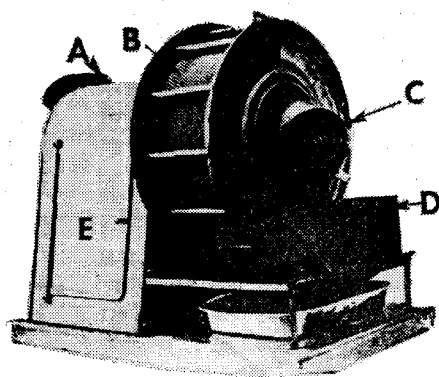
三、實驗材料與方法

本實驗所用之稻穀為 1978 年美國德州生產之長粒種米 Labelle 及中粒種米 Brazos。二品種各選十公斤左右，風選後，再用人工除去脫殼之裸粒糙米。一半留在實驗室內扁篩中，攤平，任其均化三週。實驗室溫度約 23°C，濕度平均 52% RH。最後之稻穀平衡含水率為 11.9 % d. b.。另一半稻穀置扁篩中，送入溫濕度控制室，三週後稻穀含水率為 9.35 % d. b.。將此兩種不同含水率之稻穀分別置於八種不同溫濕度之環境控制室中，每天定時稱重，以計算稻穀之吸濕變化，四天後取出，置上述之實驗室三週，陰乾。每樣品取出 100 粒作胴裂檢查，其餘各別以實驗室用之 Satake 礱谷機脫殼，再以 McGill No. 2 碾米機 (圖一) 碾白。碾米機上方壓力蓋上用力七公斤。長粒米碾白加工用時 45 秒；中粒種用時 60 秒。

使用 Hart Uni-Flow 筒形選別機 (圖二) 將加工後之白米分為整粒米、大粒碎米及小粒碎米三部分。該選別機之迴轉速、送米滑槽位置、選別凹孔板 (indents) 孔徑大小，及每次選別之運轉時間均可變，在本實驗中，選別長粒種之整粒米時



圖一 McGill No. 2 小型碾米機



圖二 Hart Uni-Flow 筒形選別機
(A)滑槽定位指標 (B)選別凹孔板 (C)滑槽 (D)集米盤
(E)變速裝置

，使用十一號凹孔；廻轉速 16 rpm；滑槽定位於第七號位置；運轉時間為三分鐘。選別中粒米之整粒時，則使用十一號凹孔；10 rpm；滑槽定位於第八號位置；時間為兩分鐘。區分碎米中之大小粒時，則用五號凹孔；16 rpm；八號滑槽位置；九分鐘之運轉時間。上述運轉條件可達最佳選別效果

表一 兩種稻谷在環境控制室中之吸水量變化(單位：公克/100公克乾物質)

環境控制室		暴露時間 (天)	長粒種		中粒種	
溫度 (C°)	相對濕度 (%)		初期含水率 (%, d. b)	9.35	初期含水率 (%, d. b)	9.35
		1	1.51	3.01	1.23	2.57
		2	1.90	3.94	1.59	3.55
	64	3	1.96	4.13	1.73	3.94
		4	1.99	4.29	1.85	4.16

② (Chen, 1980)。

環境控制室之八種溫濕度各為：

20°C, 64%RH; 30°C, 64%RH
 20°C, 72%RH; 30°C, 72%RH
 20°C, 82%RH; 30°C, 82%RH
 20°C, 92%RH; 30°C, 92%RH

因此，本實驗包含：兩種稻米品種，兩種稻穀最初含水率，兩種環境溫度，及四種環境濕度，共計 32 種處理，每種處理四重複，每樣本稻穀重約 125 公克，以留在實驗室未加處理之稻穀樣本為對照。

胴裂之觀察乃是將每粒稻穀之壳小心剝去，在暗室中，置於玻璃板上，以筆形手電筒在玻璃板下，向上照射，以顯出米粒之裂痕，並記下裂痕數及其模式。

四、結果與討論

稻穀吸濕

乾穀在環境(溫濕度)控制室內四天，由其重量之每日變化偵察其吸收空氣中水分之速率及總吸收量，表一為在 20°C 與 30°C 溫度條件下各樣品之每日吸濕情況，所列各值均為兩次觀察之平均值，由此等觀察數值可顯明數項事實：

1. 在相對濕度高之環境中，稻穀吸水量多；且在高濕度時，每增減一個百分點之相對濕度對稻穀吸水之影響，大過在低濕度時者(圖三)。

2. 稻穀之品種對其吸水速率有差異；長粒種在第一日吸水速率較快，且比中粒種較快達到水分平衡(圖四)，其原因可能是由於前者之單位重量物質具有較大的表面積，利其吸收空氣中之水分。(在本次實驗中，每 10 公克長粒種稻穀含 515 穀粒，而每 10 公克中粒種則僅含 361 穀粒。)

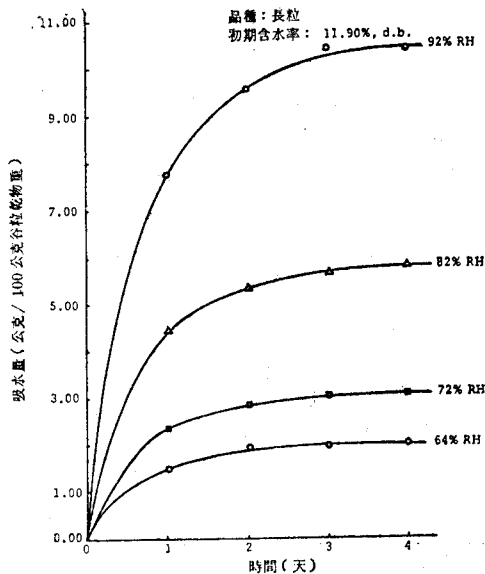
3. 控制室內溫度從兩方面影響其吸水情形：第一，高溫能加速其吸濕過程；第二、高溫減少其總吸水量，因為若相對濕度一定，若溫度較高，則稻穀之平均含水率較低。(圖五)

20

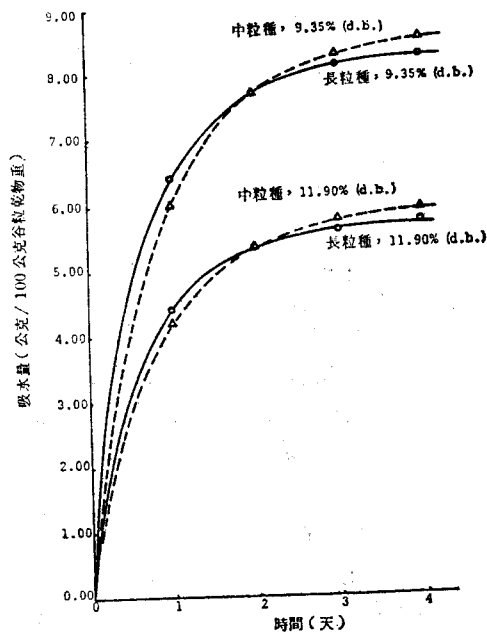
72	1	2.32	4.05	2.01	3.58
	2	2.83	5.06	2.63	4.70
	3	2.99	5.33	2.91	5.22
	4	3.05	5.30	2.94	5.30
82	1	4.42	6.40	4.22	5.96
	2	5.34	7.68	5.34	7.63
	3	5.59	8.12	5.73	8.28
	4	5.71	8.23	5.87	8.50
92	1	7.69	10.06	6.97	8.86
	2	9.54	12.49	8.92	11.67
	3	10.41	13.86	10.10	12.93
	4	10.41	13.64	10.57	13.48

30

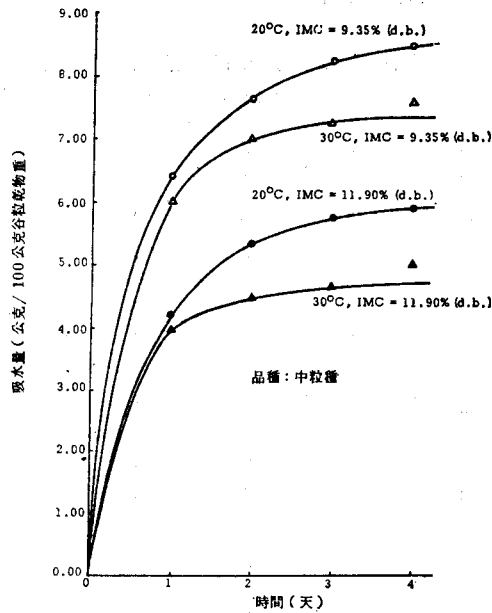
64	1	1.26	3.25	1.29	2.93
	2	1.48	3.69	1.59	3.54
	3	1.43	3.69	1.54	3.61
	4	1.45	3.69	1.57	3.64
72	1	2.13	4.40	1.93	4.07
	2	2.35	4.81	2.29	4.76
	3	2.15	4.65	2.15	4.70
	4	2.29	4.78	2.35	4.87
82	1	4.31	6.62	4.03	6.40
	2	4.51	7.03	4.48	7.05
	3	4.76	7.19	4.64	7.27
	4	5.06	7.49	4.98	7.63
92	1	8.53	10.88	8.14	10.36
	2	9.71	12.36	9.68	12.36
	3	9.85	12.68	10.18	12.90
	4	9.85	12.66	10.24	13.04



圖三 稻谷在不同相對濕度條件下之吸濕變化，溫度 20°C



圖四 環境控制在 20°C，82%RH 時，兩品種稻谷之吸水比較

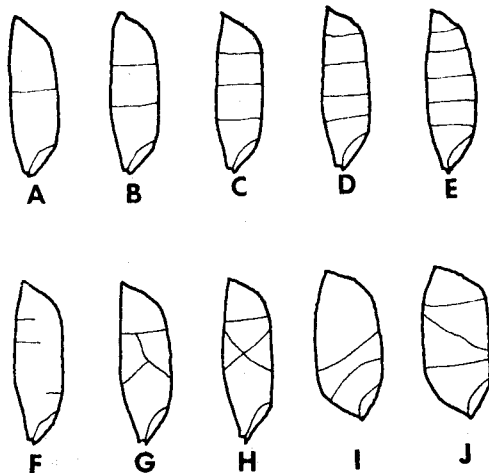


圖五 環境為 82%RH 時，環境溫度對中粒種稻穀吸水之影響

稻穀胴裂

觀察長粒米 1700 顆，其中完整粒 1296 顆，有各型胴裂者 404 顆；中粒米 1700 顆，其中完整粒 953 顆，有各型胴裂者 747 顆。無論品種，其完整粒數與胴裂粒數之比例，均因處理不同而改變，高濕度環境中，其胴裂數增加。表二為稻穀在各種不同溫濕度環境處理後之胴裂觀察結果。

胴裂之紋路模式，則絕大多數（99%以上）是沿米粒短軸方向，非常整齊地貫穿切斷整顆米粒



圖六 稻米胴裂模式

A~E 橫貫型 F~J 不規則型

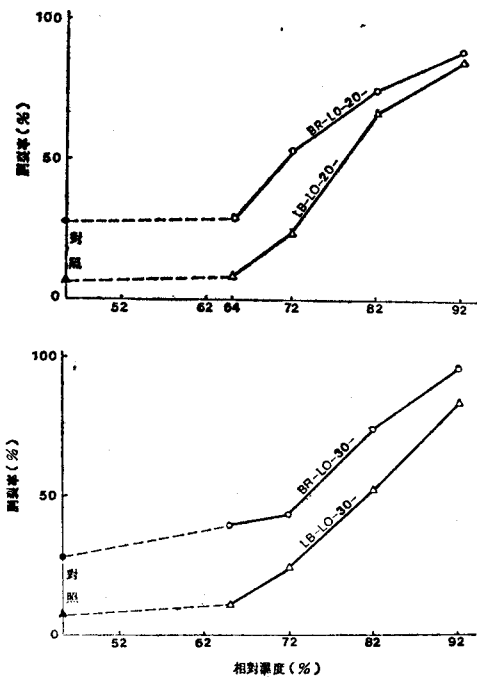
，與長軸成直交，僅少數例外。每顆米粒上之胴裂數目不等，有一條裂痕者、有二條裂痕者、有三、四條裂痕者，至多有五條裂痕，其裂痕彼此成平行而與米粒長軸直交（圖六，A—E）。除上述有規則之橫貫型外，另有不到胴裂總數 1% 之不規則裂痕：包括不貫穿全粒之裂痕、人字型裂痕、交叉裂痕，及斜型裂痕（圖六，F~J）。

1. 溫度對胴裂之影響：

對長粒米而言，在高濕度處理時，較低溫度時有較高之胴裂。對中粒米而言，溫度因素之影響不顯明。

2. 濕度對胴裂之影響

濕度對較低含水率稻穀胴裂之影響是確定的。例如，長粒米之對照胴裂率是 7%，而在環境溫度為 20°C、濕度分別為 64%、72%、82%，及 92% RH 時，處理後之稻穀胴裂分別為 8%、14%、67% 及 85%。中粒米之情況也類同（圖七）濕度對初期含水率較高之稻穀影響較不顯著。



圖七 兩品種之低含水率稻穀在不同溫濕度環境處理後胴裂率之比較

低濕度處理之米粒胴裂少，且在有胴裂之米粒中，每粒上之裂痕條數少，大多數只一條或兩條，極少在三條以上者；但在高濕度處理下，每粒上之裂痕有多至五條者；在 92% RH 處理下，在有胴

表二 稻谷在不同溫濕度處理後之胴裂觀察結果

*處理	完整谷粒數	胴裂米總數	有一條裂痕者	有二條裂痕者	有三條裂痕者	有四條裂痕者	有五條裂痕者	具不規則裂痕者
Lb-Lo-20-64	92	8	6	2	0	0	0	0
Lb-Lo-20-72	86	14	12	2	0	0	0	0
Lb-Lo-20-82	33	67	20	28	9	8	0	2
Lb-Lo-20-92	15	85	11	21	33	16	4	0
Lb-Lo-30-64	89	11	9	2	0	0	0	0
Lb-Lo-30-72	86	14	11	3	0	0	0	0
Lb-Lo-30-82	48	52	31	10	8	0	0	3
Lb-Lo-30-92	17	83	20	25	29	9	0	0
Lb-Hi-20-64	97	3	3	0	0	0	0	0
Lb-Hi-20-72	93	7	5	2	0	0	0	0
Lb-Hi-20-82	88	12	11	1	0	0	0	0
Lb-Hi-20-92	87	13	12	1	0	0	0	0
Lb-Hi-30-64	93	7	7	0	0	0	0	0
Lb-Hi-30-72	91	9	8	1	0	0	0	0
Lb-Hi-30-82	93	7	6	1	0	0	0	0
Lb-Hi-30-92	95	5	3	2	0	0	0	0
對照	93	7	7	0	0	0	0	0
Br-Lo-20-64	71	29	25	3	1	0	0	0
Br-Lo-20-72	47	53	31	20	2	0	0	0
Br-Lo-20-82	25	75	32	23	7	5	4	4
Br-Lo-20-92	11	89	20	30	28	11	0	0
Br-Lo-30-64	61	39	30	9	0	0	0	0
Br-Lo-30-72	57	43	36	7	0	0	0	0
Br-Lo-30-82	26	74	42	21	10	1	0	0
Br-Lo-30-92	5	95	26	36	25	8	0	0
Br-Hi-20-64	72	28	24	4	0	0	0	0
Br-Hi-20-72	71	29	23	6	0	0	0	0
Br-Hi-20-82	77	23	16	6	1	0	0	0
Br-Hi-20-92	65	35	24	10	1	0	0	0
Br-Hi-30-64	73	27	21	6	0	0	0	0
Br-Hi-30-72	77	23	17	6	0	0	0	0
Br-Hi-30-82	76	24	18	6	0	0	0	0
Br-Hi-30-92	67	33	25	6	2	0	0	0
對照	72	28	24	3	0	0	0	1

*處理代號之第一個字代表品種，Lb 代表長粒種，Br 為中粒種。

第二個字代表稻谷初期含水率：Lo 為 9.35% d. b.；Hi 為 11.90% d. b.。第三個數字代表攝氏溫度，第四個數字代表相對濕度百分數。以後圖表均同。

表三 兩種不同品種之乾谷以不同溫濕度環境處理後之碾米率和碎米比

處 理	稻 谷 樣 本 重 量 (g)	糙 米 重 量 (g)	碾 率 %		碎 米 比
			總 碾 率	整 粒 率	
Lb-Hi-20-64	121.54	96.14	68.8	58.3	0.42
Lb-Hi-20-72	123.42	98.49	69.4	58.8	0.42
Lb-Hi-20-82	122.80	96.77	68.3	57.0	0.45
Lb-Hi-20-92	128.19	101.53	68.8	54.5	0.42
Lb-Hi-30-64	127.25	100.27	68.9	58.4	0.44
Lb-Hi-30-72	122.12	96.47	69.0	58.6	0.45
Lb-Hi-30-82	127.62	101.59	69.2	58.0	0.44
Lb-Hi-30-92	124.00	97.96	68.6	54.5	0.44
Lb-Lo-20-64	128.49	101.25	68.0	55.3	0.40
Lb-Lo-20-72	125.95	99.00	68.4	50.6	0.42
Lb-Lo-20-82	121.54	92.98	66.8	23.7	0.44
Lb-Lo-20-92	129.72	101.57	68.3	3.8	0.60
Lb-Lo-30-64	130.47	103.07	68.1	56.0	0.39
Lb-Lo-30-72	124.92	98.44	68.3	52.8	0.40
Lb-Lo-30-82	128.54	101.68	68.5	32.7	0.43
Lb-Lo-30-92	125.31	98.49	68.6	7.6	0.48
Lb-Control	130.63	106.07	70.9	59.8	0.42
Br-Hi-20-64	124.60	101.42	72.4	54.5	0.06
Br-Hi-20-72	122.54	99.75	72.2	53.6	0.06
Br-Hi-20-82	121.89	98.85	71.7	52.3	0.06
Br-Hi-20-92	126.89	103.03	71.9	43.4	0.03
Br-Hi-30-64	127.13	103.36	72.1	52.3	0.05
Br-Hi-30-72	123.14	100.11	72.2	51.8	0.05
Br-Hi-30-82	125.01	101.26	71.3	51.0	0.06
Br-Hi-30-92	123.19	100.28	72.0	44.0	0.05
Br-Lo-20-64	127.31	103.25	72.0	47.7	0.05
Br-Lo-20-72	125.79	102.39	71.9	36.1	0.06
Br-Lo-20-82	132.37	107.22	71.5	16.2	0.10
Br-Lo-20-92	130.37	105.60	70.0	4.0	0.22
Br-Lo-30-64	130.38	105.87	72.1	51.0	0.06
Br-Lo-30-72	125.47	101.88	71.9	43.5	0.05
Br-Lo-30-82	128.22	104.11	71.8	25.1	0.08
Br-Lo-30-92	125.35	101.78	71.0	8.3	0.19
Br-Control	131.38	106.42	71.2	50.5	0.06

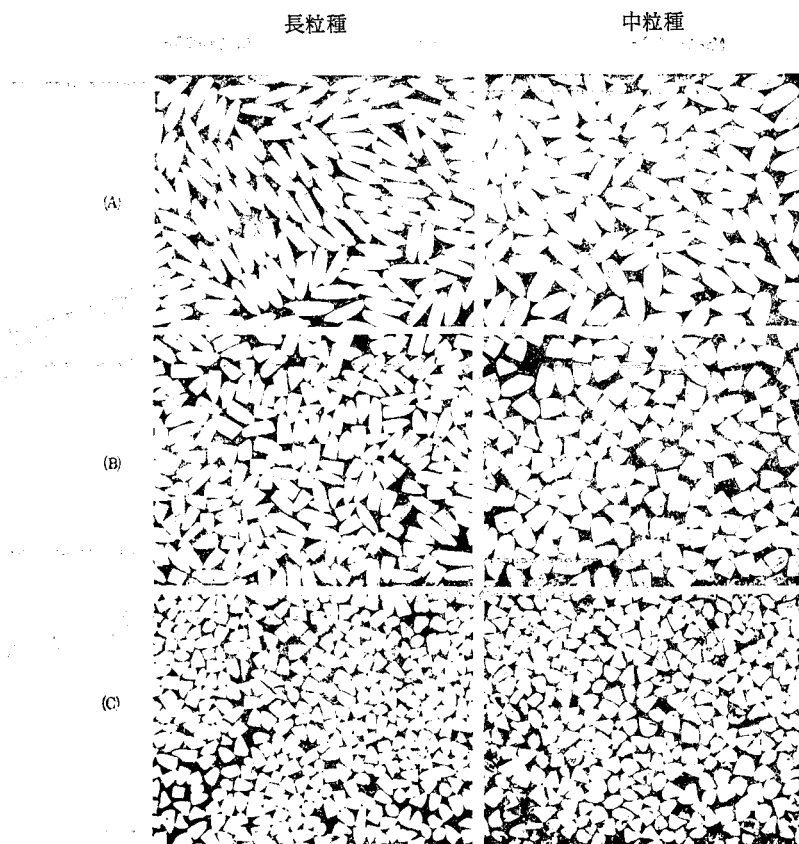
1979) ⑯。

大小粒碎米之比例

所有稻穀樣本在加工後，都經 Hart Uni-Flow 筒形選別機，分爲三部分：(1)完整粒；(2)大粒碎米；(3)小粒碎米（圖九）。

碎米比 (ratio of broken) 定義爲在一組

加工碾米後之樣本中，小粒碎米與大粒碎米之重量比，其實驗結果列於表三最右一行。數據顯示：碎米比對環境改變不如整粒率對環境之敏感。但是，當含水率較低之稻穀暴露於高濕度之環境中，碎米比大幅提升，在樣本中出現大量小粒碎米，此顯然與前述稻穀胴裂之模式有關。



圖九 經Hart-Uni-Flow筒形選別機選出(A)整粒米；(B)大粉碎米；(C)小粒碎米

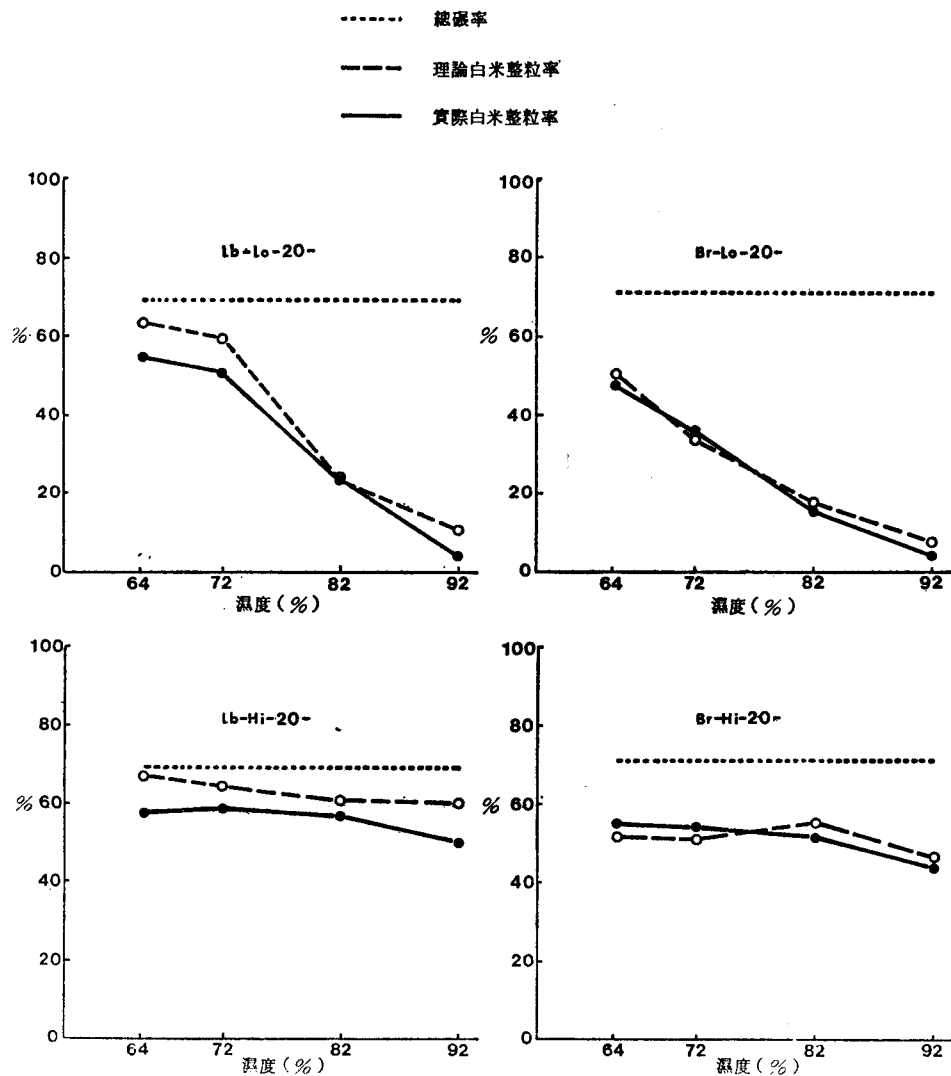
胴裂率與整粒率

當胴裂之米粒增多，其整粒率下降，此爲必然之結論。但是，吾人也許可以藉本實驗數據進一步探討其相關程度；同時，尋求是否有其他因子牽連在內。

據碾米實驗，知長粒米與中粒米之總碾率平均各爲 69 % 與 72 %。今假設：無論曬穀或碾白過程中均不碾碎未胴裂之稻穀，則有 92 % 未胴裂之長粒樣本在碾白後應可有 $92 \% \times 69 \% = 63.5 \%$ 之整粒率。同理，具有 86 %、33 % 和 15 % 未胴裂之稻穀在碾白後，理論上應各有 59.3 %、22.8 % 和 10.4 % 之整粒率。圖十中之虛線即表示此一理

論之白米整粒率。實線表示實際碾白結果之整粒率。比較二者，可知在長粒種之情形，二線之差距最高達 10 %，此顯示在本實驗之曬穀碾米過程中，除已胴裂稻穀碾成碎米之外，另外可能有 10 % 之完整穀粒也碾成了碎米。至於中粒米，其虛線與實線相接近，甚至相交，表示在本實驗曬穀碾米過程中，甚少未胴裂之稻穀被碾成碎米，被碾成碎米之穀粒僅限於原先已胴裂者。

圖十中之點線爲包括碎米之總碾率，此線與虛線之間應屬「胴裂影響白米整粒率」之幅度，而虛線與實線之間爲「機械影響白米整粒率」之幅度。如何減少碾米損失，在此似有線索可尋。



圖十 溫濕度環境處理後，稻谷樣本碾率與整粒率之比較

五、結 論

1. 乾穀在可調節溫濕度之環境控制室中，若環境中之濕度大於稻穀含水之平衡濕度，則稻穀將自環境中吸收水分。在開始 24 小時內，吸水迅速，96 小時後約可達到飽和。長粒米吸水較快，環境溫度高時，吸水較快。

2. 稻穀自空氣中吸收水分後，導致穀粒胴裂。環境中濕度愈大，其胴裂率愈大，含水率 9.35 % d. b. 之稻穀在 92 % 相對濕度環境中。其胴裂率高達 85~95 %。

3. 在低濕度條件下，胴裂粒之數量少，且每粒

米上發生之裂紋絕大多數只有一條或兩條；但在高濕度環境下，胴裂穀粒數上升，且每粒米上發生之裂紋增多，有多至五條者。此種胴裂模式反應在加工碾白後之大小碎米比例上，即在高濕度環境中吸濕後之稻米，在加工時，出現大量小粒碎米。

4. 對初期含水率為 11.9 % d. b. 之稻穀，在 92 % 相對濕度之環境處理下，其碾米後之整粒率下降；對含水率為 9.35 % d. b. 之稻穀，當環境濕度在 64 % 時，其整粒率已趨下降；在 92 % 高濕度處理時，其整粒率更跌至 4~8 %。因此，可以結論：稻穀不可過分乾燥。

5. 若環境中相對濕度一定，則環境之溫度高，

則能減低胴裂之發生，加工後，也可為較高之整粒率。

6. 胴裂率與碾白後之整粒率有絕對之關係，唯此項關係因品種不同可能稍有不同。在本實驗中，可能有 10 % 未胴裂之長粒種稻穀碾米加工過程碾成碎米；但對中粒種稻穀而言，碾碎之米粒似僅限於前已胴裂者。

六、參考文獻

1. 陳貽倫 1981 稻谷胴裂與碾米損失 農工學報廿七卷一期，臺北。
2. 陳貽倫 1980 Effects of Environmental changes on milling quality of Rough Rice Ph. D. dissertation. Texas A & M University USA.
3. 山口信吉、山澤新吾、若林嘉一郎、館谷敏泰 1981 米粒內部應力與胴裂關係之實驗研究，農業機械學會誌四二卷四號，日本。
4. ASAE Agricultural Engineers Year Book 1982-1983.
5. Autrey, H. S., W. W. Grigorieff, A. M. Altschul and J. T. Hogan. 1955. Effects of milling conditions on breakage of rice grains. *J. of Agr. and Food Chem.* 3(7): 593-599.
6. Ban, T. 1971. Rice cracking in high rate drying. *Japan Agr. Res.* 6(2):113-116.
7. Bechtel, D. B. and Y. Pomeranz. 1978. Implications of the rice kernel structure in storage, marketing and processing: A review. *J. Food Sci.* 43(5):1538-1542, 1552.
8. Blakeney, A. B. and R. S. Chesterfield. 1976. Effect of moisture on kernel hardness and milling quality of rice. *Rice Report* 1976. pp. 9-11.
9. Breese, M. H. 1955. Hysteresis in the hygroscopic equilibria of rough rice at 25°C. *Cereal Chem.* 32(6):481-487.
10. Chen, Y. L., and O. R. Kunze. 1979. Effect of heating without drying on the brown rice kernel. Presented at the 1979 Southwest Region Meeting of ASAE, Hot Springs, Arkansas.
11. Earle, P. L. and N. H. Ceaglske. 1949. Factors causing the checking of macaroni *Cereal Chem.* 26(4):267-286.
12. Henderson, S. M. 1952. A basic concept of equilibrium moisture. *Agr. Eng.* 33(1):29-32.
13. Henderson, S. M. 1954. The causes and characteristics of rice checking. *Rice J.* 57(5):16,18.
14. Houston, D. F. 1952. Hygroscopic equilibrium of brown rice. *Cereal Chem.* 19(1): 71-76.
15. Karon, M. L. and M. E. Adams. 1949. Hygroscopic equilibrium of rice and rice fractions. *Cereal Chem.* 26(1):1-12.
16. Kato, K. and R. Yamashita. 1979. Study on method of prevention of rice crack-effect of storage under constant warm temperature after drying. Presented at the 1979 Spring Meeting of the Society of Agricultural Machinery, Japan.
17. Kondo, M. and T. Okamura. 1930. Fissuring of rice grains due to moisture adsorption. *Ber. des Ohara Inst. f. Landw. Forsch.* 4: 429-446. (Translation by O. R. Kunze, Texas A&M University)
18. Kunze, O. R. and M. S. U. Choudhury. 1972. Moisture adsorption related to the tensile strength of rice. *Cereal Chem.* 49(6):684-696.
19. Kunze, O. R. and C. W. Hall. 1967. Moisture adsorption characteristics of brown rice. *ASAE Trans.* 10(4):448-450,453.
20. Prasad, S., F. T. Wratten and J. D. Mannaperuma. 1975. Thermal and hygroscopic expansion of brown rice. Presented at the Southwest Region ASAE Meeting, Fountainhead State Park, Oklahoma, April 3-4, 1975.
21. Sharma, A. D. and O. R. Kunze. 1982. Post Drying fissure Development in Rough rice. *Trans. of ASAE.* 25(2):465-468, 474.
22. Stahel, R. A. 1935. Breakiing of rice in milling in relation to the paddy. *Tropical Agric.* 12(10):255-260.
23. Swamy, Y. M. I. and K. R. Bhattacharya. 1980. Effect of kernel defects and grain dimension on breakage of rice during milling. Central Food Technological Research Institute, Mysore-570 013, India. Unpublished.
24. Takai H. and I. R. Barredo. 1981. Milling characteristics of a friction laboratory rice mill. *J. Agric Engng Res.* 26, 441-448.
25. Wratten, F. T. and J. H. Kendrick. 1970. Cited by Wasserman, T. and D. L. Calderwood. *Rough Rice Drying.* Chapter 5, In "Rice Chemsitry and Technology" edited by D. F. Houston. AACC Inc., St. Paul, Minnesota.
26. USAD Federal Grain Inspection Service. 1978 "1978 Rice Crop Inspection."