

水稻間歇通風乾燥法之研究

水稻濕穀搶救乾燥法之研究——第二報

A Study on Rice Rapid Drying by The Process of Grain Cyclic-Flow Drying

臺灣省農試所技士兼代系主任

鄔 清 標

Ching-Piao Wu

SUMMARY

1. In spite of blowing heated air with the quantity of $0.5\text{m}^3/\text{sec}$, and the temperature of 60°C , 70°C , 80°C , respectively, which is considered as high temperature and low blowing quantity, there is no noticeable grain cracking effect arising in the process of continuous cyclic-flow drying. Therefore, the method of continuous cyclic-flow drying is considered as very efficient.
2. Through drying process, the effect on arising grain cracking due to decreasing speed of moisture content of grain varies slightly with species which we operated.
3. If the decreasing speed of moisture content of grain is too fast, the cracking effect will be arisen in the species which is not apt to be cracked. Therefore it is not fit to dry grain too fast. For example, the drying speed of Agriforest-91 (農林91號) is not fit to exceed 4% (the drying speed of grain is expressed in percentage of decreasing of moisture content of grain) and Tainan-5 (臺南5號) 2.5% but if the speed of continuous cyclic-flow of grain is increased, the value "m" will be increased too.
4. The increase of temperature of heated air flow will obviously effect on raising value "m" (percentage of decreasing of moisture content of grain).
5. The inlet face and outlet face of air flow in grain chamber should be designed as parallel, but not perpendicular, in order to avoid arising a lowering point of value "m" due to the effect of air flow.
6. If the width of flowing way of grain in drier is too narrow, the stack density of flowing grain will be decreased. And a great heat loss will be caused to lower the value "m". Therefore, it is not fit to design a narrow flowing way of grain in continuous cyclic-flow drier.

一、前 言

筆者於民國五十六年度曾經作過靜置式水稻濕穀搶救乾燥法之研究，所得結果為穀層不加以攪拌時上下層之乾燥程度差異甚大，此差異隨着穀層厚度之增加而增加，往往上層尚未達到要求之水份含量，下層已過份乾燥，而由於下層之過份乾燥，引起多量之胴裂。另一所得之結果為主穀殼及米粒之水份含量變化之情形可推測；穀殼之性質有似尼龍網之組織；網絲之間可以保持大量之水份，但殼質本身並無吸收水份

之性質，所以長時間繼續加進熱空氣時，穀殼部份之水份被乾燥以後就，對米粒不再有保護作用，而使米粒表面直接接觸熱空氣而乾旱收縮；並且米粒內部水份溫度增高而膨脹，所以米粒就發生胴裂。

為避免米粒之胴裂，必須將穀殼被熱風吹乾後，暫停送風，使米粒所含之水份有充分時間可以擴散，而使米粒內部不致產生應力，同時為使各層之乾燥度平均，必須使穀層間有攪拌或流動作用。

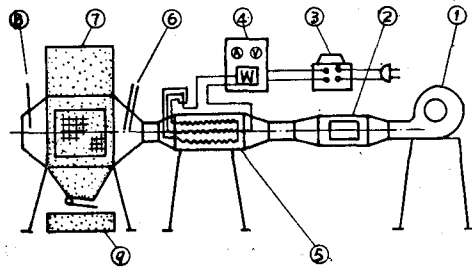
為達到是項目的，於本(五十八)年度進行流動式乾燥機之基本試驗以資了解間歇通風乾燥法對穀類乾燥之性能及影響。

二、試驗試置

試驗裝置如第一圖及第二圖所示，係利用穀粒本身之重量使其經由一寬度 6cm 之通道下落，在通道出口有一調節流量之擺動板，可調節穀粒經過通道之時間，經過通道所流出之穀子再用人手倒入頂端之貯穀箱，隨後又經過通道落下，周而復始，使穀子在循環中產生攪拌作用。

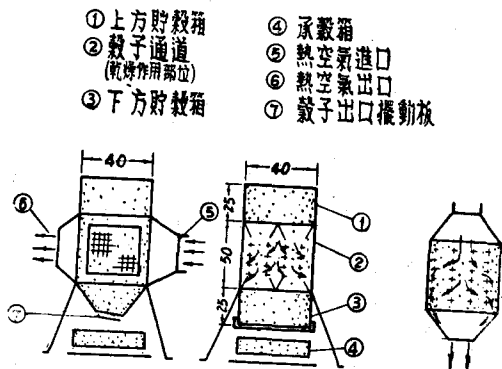
熱風係由水平方向橫貫穀層而過，穀粒僅在經過通道時受到熱風乾燥，其餘時間就不受到乾燥作用。這種乾燥法因實際乾燥寬度較狹，只等於穀子經過通道時之寬度，所以乾燥差異小；加以穀子在作循環過程中有混合作用，而使其平均乾燥。又因穀子係受到間歇性乾燥，在未受到乾燥作用期間，穀粒內部水分移向較乾燥的表皮，在隨後之乾燥期間即能由表皮蒸發較多水份，故實際乾燥時間得以縮短，並且由於穀粒內水份重新分佈，有助於內部應力之消除。

各次試驗之情況簡列於第一表，並各次試驗所得之進口溫度及出口溫度曲線及稻穀水分減少率曲線列於第三圖及第四圖

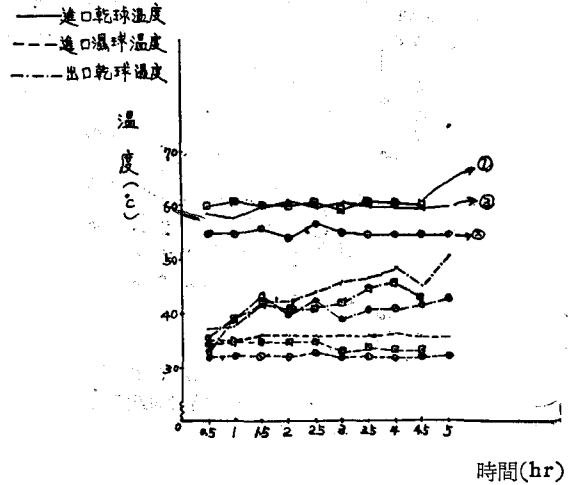


- ① 鼓風機
- ② 風量計
- ③ 變壓器
- ④ 電表
- ⑤ 電熱器
- ⑥ 進口乾濕球溫度計
- ⑦ 乾燥箱
- ⑧ 出口溫度計
- ⑨ 承穀盤

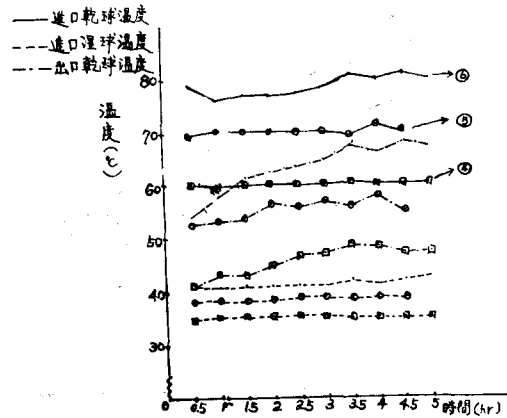
第一圖 乾燥試驗裝置配置圖



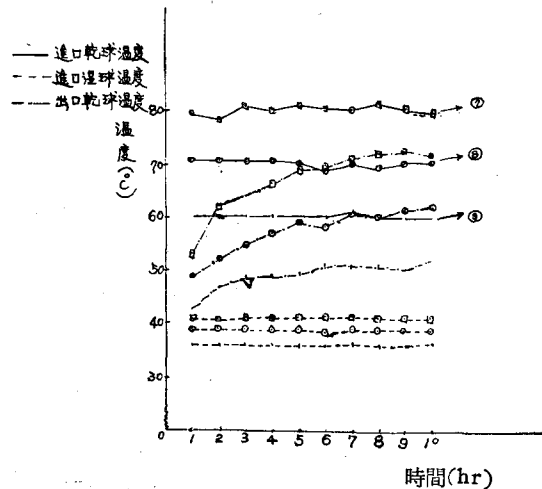
第二圖 乾燥箱構造圖



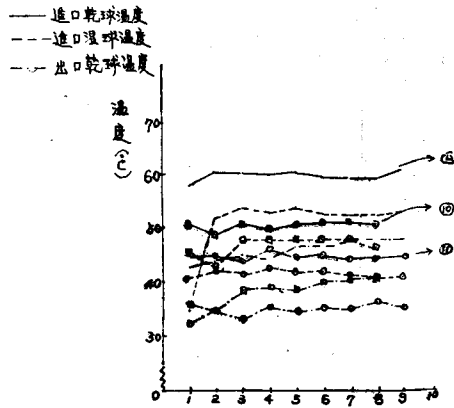
第三圖-a 進出口熱空氣溫度曲線



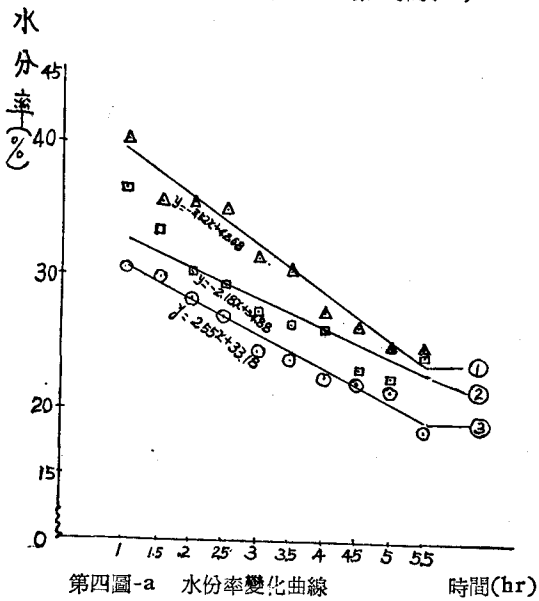
第三圖-b 進出口熱空氣溫度曲線



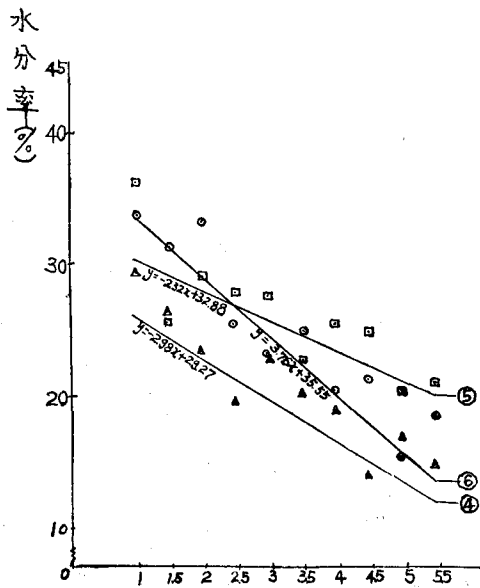
第三圖-c 進出口熱空氣溫度曲線



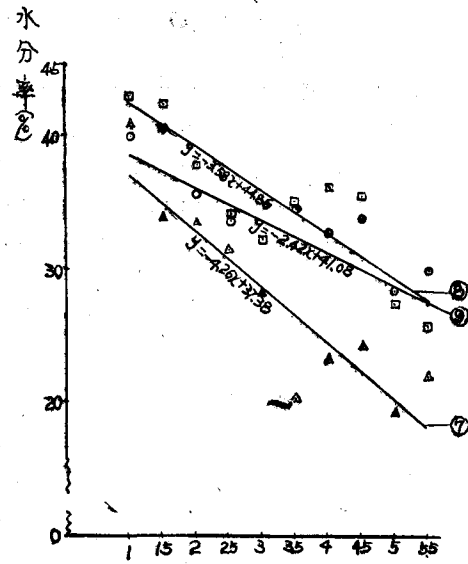
第三圖-d 進出熱空氣溫度曲線 時間(hr)



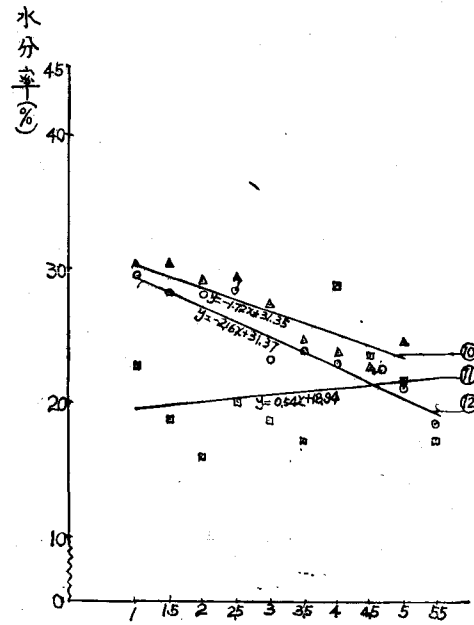
第四圖-a 水份率變化曲線 時間(hr)



第四圖-b 水份率變化曲線 時間(hr)



第四圖-c 水份率變化曲線 時間(hr)



第四圖-d 水份率變化曲線 時間(hr)

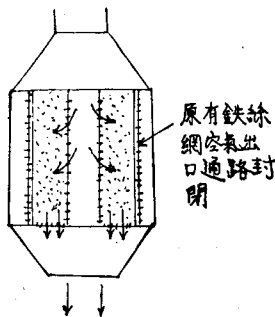
三、實驗結果之檢討

1. 穀子通道寬度和水份減少率之關係：

最初三次試驗(編號第10,第11,第12)之結果為濕穀之平均水份減少率很緩慢,用 60°C , $0.5\text{m}^3/1000$ 公斤之熱風量時濕穀之水份減少率也只能達到每小時 1.98%,但要將水份含量約30%之濕穀搶救乾燥至17%,其平均水份減少率須在3%以上才較為實用。為提高水份減少率從乾燥箱出口之空氣溫度得知,排出空氣之溫度還很高,必須設法使高溫乾燥之空氣有充

試驗編號	試驗日期	通風溫度	通風量 m ³ /sec	室溫		室內空氣 相對濕度	稻穀水分率	初期稻 谷濕度	供試品種
				乾球	濕球				
第 1	次 21/6	60°C	0.44	22.5	21.3	88.0%	-3.52x+42.68	38.5%	臺南五號
第 2	次 23/6	55	0.43	23.0	22.2	94.0	-2.18x+34.88	36.5	"
第 3	次 26/6	60	0.40	28.5	26.0	82.0	-2.55x+33.18	31.0	"
第 4	次 1/7	60	0.36	27.8	26.0	87.0	-2.98x+29.27	29.5	"
第 5	次 2/7	70	0.36	28.0	26.0	85.0	-2.32x+32.88	31.5	農林 91
第 6	次 3/7	80	0.36	29.0	26.8	86.0	-3.76x+35.55	34.0	"
第 7	次 5/7	80	0.25	28.0	26.0	86.0	-4.26x+37.38	37.5	"
第 8	次 8/7	70	0.25	28.0	26.0	85.0	-3.58x+44.86	43.0	圓 糯
第 9	次 9/7	60	0.25	27.0	25.5	88.0	-2.42x+41.08	40.0	"
第 10	次 10/元	50	0.44	18.0	16.8	86.5	-1.72x+31.50	30.0	臺中 61
第 11	次 15/元	46	0.44	14.5	13.0	85.0	+3.54x+18.94	23.0	"
第 12	次 17/元	60	0.44	16.0	15.0	88.0	+1.98x+29.82	29.5	"

分之時間與濕穀相接觸，始可增加空氣之吸濕作用。因此將乾燥箱之空氣通道加以改造如第五圖所示。如圖所示之改造法在熱空氣出口附近 A 點與入口附近 B 點之空氣通行阻力有很大之差別，所以自 A 點通過之空氣量將比 B 點要多而使兩端之乾燥發生很大之差異，所以未必理想，但由於受到原有之構造不便全部改造，而只得採用此法。經過改造後之試驗編號為第一號至第九號。在第六圖通風溫度和水分減少率之關係圖上。比較第一號至三號和第十號及第十二號就可以了解加寬穀子通道有助於提高乾燥速度，如第三號



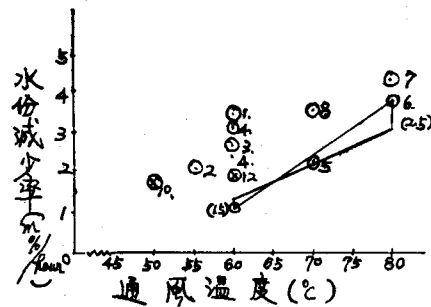
第五圖 改造後之穀子通道平面圖

及第十二號之通風溫度都同樣是 60°C，通風量各為 0.44m³/s 及 0.44m³/sec，濕穀初期水分含量各為 31% 及 29.5%，二者之情況極為相似，但第三號之 m 值可達 2.55% 比第 12 號之 m 值 1.98% 為高，第一號就由於初期水份含量較高，所以 m 值更高，竟達到 3.52%。

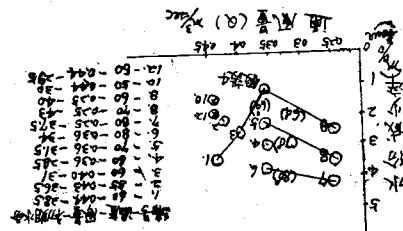
2. 乾燥度和循環量之關係：

出口處之排穀滾筒雖保持一定回轉數，但隨着穀殼水份之減少，穀粒之流動性也逐漸增高，而使穀粒循環速度增快，在第一號至第九號之試驗中，除第四號以外；每次初期之單位時間排穀量平均約為 3.5 l/min 而至第四小時就約增加到 5 l/min，第四號試

驗將滾筒上方之開口加大，而滾筒回轉數保持原來之速度下，在初期就調整到 5.5 l/min 之循環量，結果在第四小時之後其循環量增加到 16 l/min，約為初期之三倍，又在第十號及第十二號之試驗時，未採用排穀滾筒而採用擺動板時，假若不經常將擺動幅度及出口之開度加以調整就在一小時以內其循環量就會增加到二倍以上，由是可知雖滾筒之回轉數不變，出口開



第六圖 通風溫度和水份減少率之關係圖



第七圖 通風量和水份減少率之關係圖

度愈大，循環量之變化率亦愈大。在防止胴裂之觀點上，隨着穀粒水份之減少而增加循環量，可避免米粒之長久暴露於高溫空氣中，故應是有益的，但是在輸

送作業上需要化很大之動力，並且可能在激烈的流動中由衝擊而增加崩裂，因此在不致由乾燥而引起之崩裂發生範圍內循環速度還是不宜太快。

3. 循環量和水份減少率 m 值之關係：

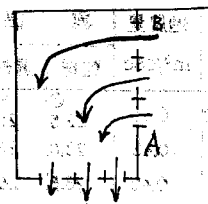
比較第五號與第四號試驗，在同一通風量 $0.36 \text{ m}^3/\text{sec}$ 之下，前者通風溫度為 70°C ，初期水份含量為 31.5% ，後者為 60°C ， 29.5% ，因此穀粒之循環速度假若相等時，前者之 m 值理應大於後者，但實際上由於循環速度之不同，後者之 m 值 2.98 比前者之 m 值 2.32 要大，再比較第三號和第四號試驗，各在同一通風溫度 60°C 之下，前者為通風量 $0.4 \text{ m}^3/\text{sec}$ ，初期水分含量為 31% ，後者為 $0.36 \text{ m}^3/\text{sec}$ ，初期水分含量為 29.5% ，因此前者之 m 值亦應比後者為大，但實際上也後者之 m 值為 2.98 ，比前者之 m 值 2.55 要大，由此可知循環速度之增高有助於提高乾燥速度。

4. 溫度和水份減少率 m 值之關係：

在第七圖水份減少率和通風量之關係圖上可以看出在 $0.25 \text{ m}^3/\text{sec}$ 之通風量下，隨溫度之增高 m 值有顯著之增加（第七、八、九號試驗），在 $0.36 \text{ m}^3/\text{sec}$ 之通風量下，通風溫度 80°C 比 70°C 亦有顯著之增加（第五、六試驗），但 60°C （第四試驗）時，由於穀粒之循環速度較快，所以其 m 值比 70°C 時還要高，假使循環速度不較快，並且初期水份含量之差異對 m 值之差異是成比例就可以推算出其 m 值應為約 $1.2\%/hr$ （圖中假設點）。

5. 通風量和水份減少率 m 值之關係：

第七圖上顯示在 $0.25 \text{ m}^3/\text{sec}$ 的通風量之下，各通風溫度都比在 $0.36 \text{ m}^3/\text{sec}$ 的通風量時，有較高之 m 值，超過 $0.4 \text{ m}^3/\text{sec}$ 的通風量時依通風溫度 60°C 之變化情形來推測，就隨通風量之增加 m 值有再昇高之情形。在通風量 $0.36 \text{ m}^3/\text{sec}$ 的地方會形成一最低點（Critical point of concave down），可能是由於穀子通道之空氣進口和出口成一直角方向，使空氣之經過路線成一 L 型，如第八圖所示，而使 B 點之空氣所經過之路線長於經過 A 點，故所受之流通阻力較大，因此經過 A 點之空氣量大於 B 點，由是 A 點穀粒乾燥速度較快，粒間空隙增加，空氣之流通阻力，更加降低，至使大部份熱空氣自 A 點向外流失，因此隨着穀粒水份之減少，A 點與 B 點之乾燥速度差異愈大。經過穀層流至出口處之空氣餘壓小於出口之流通阻力時，隨着風量之增加，自 A 點流失之熱空氣愈多，因此 m 值反而降低，



第八圖
L 型熱空氣通路線

風量少時，由於 A、B 點之乾燥差異較少，空氣自各部滲入穀中，而流失之熱空氣較少，所以反見 m 值較高。又經過穀層流出之空氣餘壓大於出口阻力時，隨空氣量之增加，熱空氣之擴散範圍較大，所以

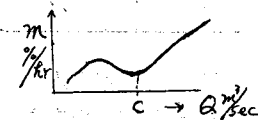
m 值又隨着空氣量之增加而比例增加，因此通風量在 $0.36 \text{ m}^3/\text{sec}$ 時會形成一最低點。

C：空氣餘壓和出口空氣流通阻力相等點。

Q：通風量 m^3/sec 。

m：水份減少率 $\%/hr$ 。

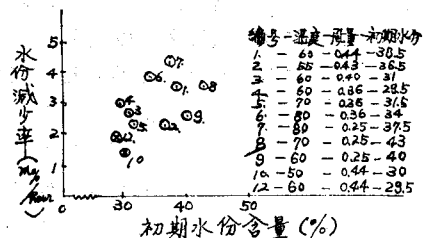
此種最低點顯然是由構造上所引起者，故在設計時應避免發生這種現象，以便提高通風效果。



第九圖 L 型空氣通道上之 Q-m 圖

6. 濕穀初期水份含量和水份減少率 m 值之關係：

從第十圖濕穀初期水份含量和水份減少率 m 值之關係圖得知，水份含量較高之濕穀其水份減少率 m 值較高，但不若溫度和 m 值之關係那樣顯著。



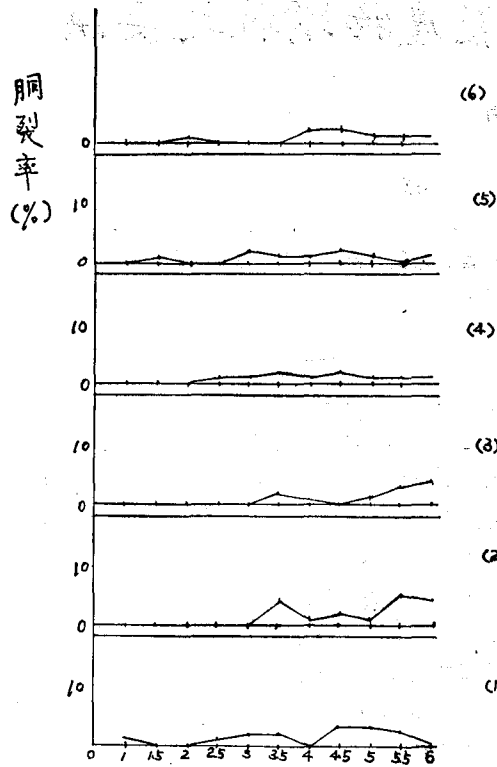
第十圖 濕穀初期水份含量和水份減少率之關係圖

7. 循環間歇乾燥法對崩裂之影響：

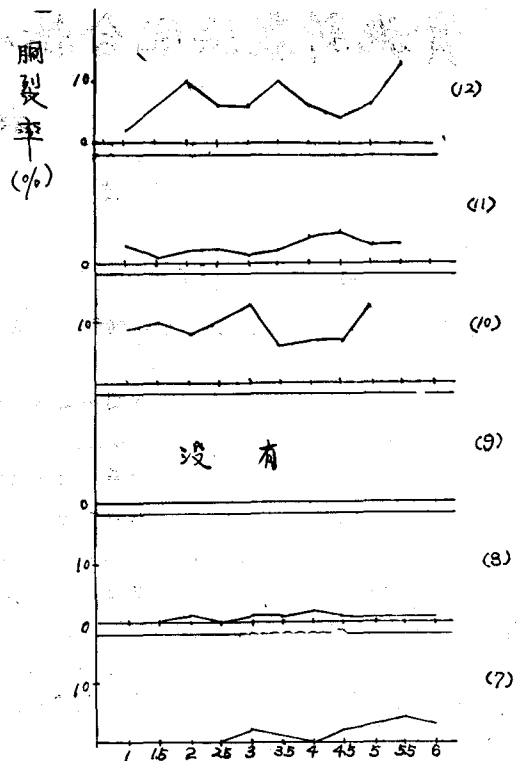
在靜置式乾燥法之研究所得結果顯示，當穀粒水份到達 $22-23\%$ 以後假若再繼續通熱風則將引起米粒之崩裂，並且崩裂之增加速度與乾燥速度之間有二次方之比例關係。

循環式間歇乾燥法中值得注意的是，在第七號試驗時，自第四小時後水份量就降至 23% 附近，並且其平均水份減少率 m 值高達 4.26% ，所以雖是間歇法，但由於乾燥速度快而仍舊引起崩裂，但其幅度並不很大。

再次值得注意的是第六號試驗，其水份減少率 m 值也高達 3.76% ，並且在第四小時就降至 22% ，而在第六小時降至 17% ，但其崩裂率自始至終未見增加，



第十一圖-A 胴裂率和水份減少率之關係圖



第十一圖-B 胴裂率和水份減少率之關係圖

但自第一號至第三號試驗就雖然其 m 值較低，但仍舊略有增加胴裂，但其增加之幅度也甚微，而第一號至第三號所用之品種為臺南五號種，第六第七號為農林91號種，因此品種不同對胴裂之影響也不同。

又在第四號試驗，其供試驗品種亦為臺南五號，其 m 值亦介於第一號至第三號試驗之 m 值之中，但未有胴裂之增加，故較快速之循環對防止胴裂似有所幫助，其餘各次試驗均無顯明之胴裂增加。

四、摘要

1. 循環式間歇通風乾燥法雖利用 60°C ， 70°C 及 80°C 通風量 $0.5\text{m}^3/\text{sec}$ 以下之高溫低風量，但仍舊未曾發生大量之胴裂，故循環式間歇乾燥法效果極佳。

2. 水份減少率對胴裂之發生，依品種之不同略有差異。

3. 水份減少率太大時，不易發生胴裂之品種也會起胴裂，故乾燥速度不應太快，如農林91號種之 m 值不宜超過 4%，臺南五號種，不宜超過 2.2%，但假若增加穀粒之循環速度，則 m 值可略為增加。

4. 通風溫度之增高對水份率 m 值之提高有顯著之影響。

5. 穀子通道之熱空氣進口面與出口面應保持平行方向，而不可成直角方向，以避免通風量對水份減少率 m 值之影響發生一降落點。

6. 穀子通道之寬度過狹時，由於流動穀粒之堆積密度較疏，熱空氣之流損較高而使 m 值降低，故不宜過狹。

五、誌謝

本試驗承受國家科學委員會之研究補助費於此衷心誌謝。

六、參考文獻：

1. 高田泰米：暖房及空氣調和 山海堂 1964
2. 東京大學農工教室：農業機械實驗便覽 養賢堂 1965
3. 機械化農業：新農林社 1968
4. 黃吉慶鄔清標：穀類乾燥基本試驗裝置之設計 農業研究 民56年9月
5. 鄔清標黃吉慶林展弘：水稻濕穀搶救乾燥法之研究 農業研究 民57年6月
6. Carl W Hall: Drying Farm Crops.