

高粱穗之基本乾燥試驗¹

陳加忠 賴建洲 曹之祖² 游祥芳³

摘要 為設計實用性高粱種穗乾燥設備，在此研究中進行高粱穗乾燥特性試驗。試驗結果顯示移動層乾燥的乾燥率偏低，所需能量大，因而隧道式乾燥並不適用。傳統型厚層靜置方式為一可行方式，而雙向通風方式可用以解決上下層含水率不均之問題，由薄層試驗之結果可得良好乾燥效果時穀層溫度分佈之需求情況。各階段不同風量與溫度之乾燥方式將可應用於靜置式厚層乾燥作業。

雜交高粱臺中5號種子為政府推行水田轉作高粱之品種。發芽率偏低為此品種推廣之嚴重問題。其原因除了品種特性，病蟲害等因素外，由於種穗無適用之乾燥設備以致於以人工方式進行晒場曝曬乾燥而造成乾燥作業無法及時完成之問題。高粱種穗採收時種子含水率約32%，以人力方式晒乾至適合脫莢作業之20%含水率約需7至10天，乾燥速率緩慢。加以夜間露水高濕回潮作用，種穗容易變質，因而影響萌芽率，增加高粱種子成本提高。為提高農民水田轉作高粱之收益，急需研製適用之高粱種穗乾燥設備。而高粱種穗之乾燥特性為設計加工設備所需之基本資料，實有加以研究之必要。

本試驗在於研究比較靜置式和隧道式之乾燥方式，探討風量，乾燥厚度對高粱種穗乾燥之影響，以期能設計一套實用之高粱種穗乾燥設備，並以此瞭解不規則形狀之農產品乾燥特性。

材料與設備

一、材料：採自宿根田區，平均長度25公分（含穗柄3~5公分）。

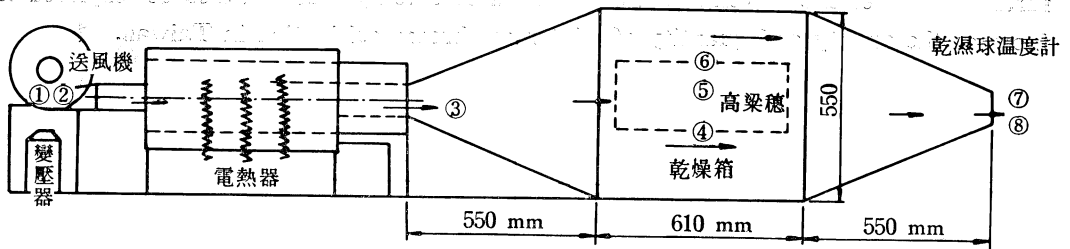
二、設備：

1. 乾燥試驗設備分為下列三種型式：

(1) 移動層乾燥系統，其主要配備如圖1所示，用以瞭解隧道式乾燥性能。

(2) 靜置式薄層系統，其主要配備如圖2所示，用以瞭解種穗乾燥特性。

(3) 靜置式厚層乾燥系統，其主要配備如圖3所示，用以瞭解厚層乾燥性能。



1~8—為溫度記錄測點

圖1. 高粱穗移動層乾燥試驗設備

1. 臺灣省農業試驗所 研究報告第 1467 號。

2. 臺灣省農業試驗所農機系副研究員、助理研究員、技士。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。

3. 臺灣省種苗繁殖場助理研究員。臺灣省 臺中縣 新社鄉。

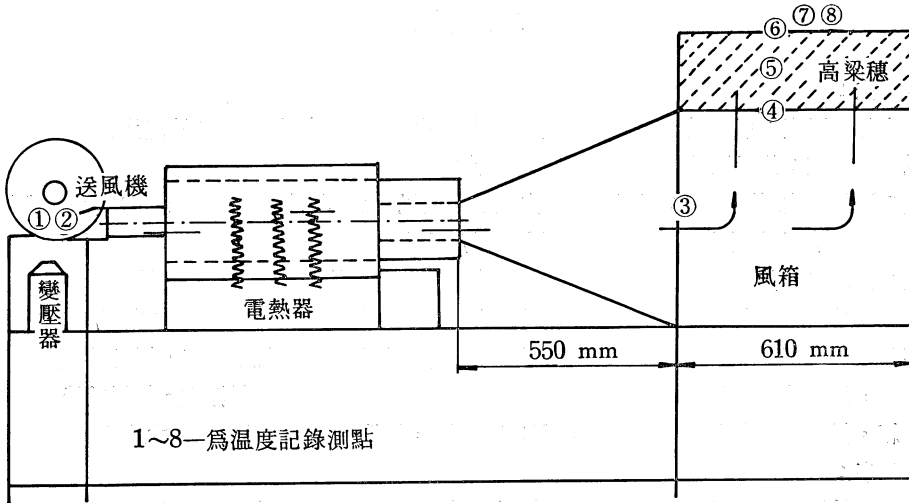


圖2. 高粱穗薄層乾燥試驗設備

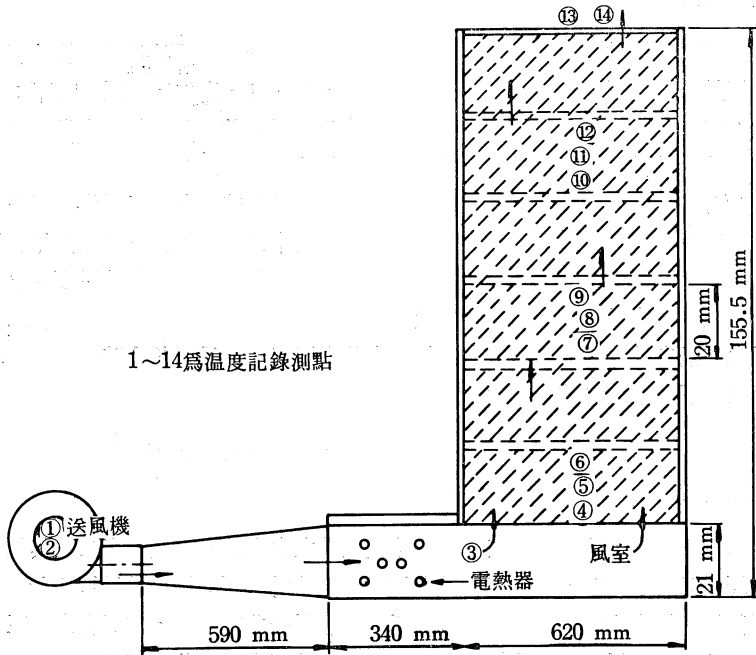


圖3. 高粱穗厚層乾燥試高設備

2. 計測儀器：

0~50kg 磅秤，共立牌風速儀，玻璃溫度計 (0~200°C)，掛式乾濕球溫度計，Metter PE3000 型電子秤 (0~3kg)，溫度自動記錄器 (Autodate Logger) 40點輸入及 10點輸入各乙台。

3. 其他設備：

自動溫度控制烤箱，高粱脫粒機。

方法與程序

一、試驗方法：

1. 設定加熱溫度：以不致傷害種子之發芽的熱風 40°C 並用自動控制器保持恆溫。
2. 風量的設定：依通風的方式而不同分述如下：
 - (1) 靜置式厚層試驗：以通風入口之大小分別以 (a) 全開 (46.8m³/min) (b) 半開 (23.4 m³/min) (c) 開五分之一 (10.0m³/min)。
 - (2) 靜置式薄層試驗及移動層試驗，兩者均以變壓器的電壓改變風扇旋轉數以調整風量，計分 (a) 靜置薄層之 3、6、9m³/min 三種風量 (b) 隧道移動層的 6m³/min 風量。
3. 高粱穗含水率之取樣與測量：在乾燥試驗過程中，為了避免取樣不均勻，採用重量減輕法進行觀察，即在乾燥前先測得該框內穗的淨重後並在間隔時間分段測得淨重，乾燥前後將樣品置於烤箱，得一實際含水率作基準 (130°C, 36hr)，換算乾燥過程時各階段之含水率變化。

二、試驗程序：

1. 自嘉義朴子鄉宿根田中刈取高粱穗，置於冷凍庫中保存，實驗前先取出於常溫室中使其溫度回升，待試驗材料之溫度已近於常溫，分別裝於預製之鐵網框中，以自然平整之高度，並取部份材料進行乾燥前含水率及發芽率之測定。
2. 裝設溫度記錄器：

於各試驗之設備送風入口及乾燥室的出口處各裝置一具懸掛式溫濕度計並將自動記錄器的熱耦線的探針分別接至試驗設備內，情形如圖 1、2、3、所示，並說明如下：

圖 1、2：(1)進風口乾球(2)進風口濕球(3)加熱後入乾燥室前(4)試驗材料底部(5)試驗材料中部(6)試驗材料頂部(7)出風口濕球(8)出風口乾球。

圖 3：(1)進風口乾球(2)進風口濕球(3)加熱後入乾燥室前(4)底層底部穗間(5)底層中部穗間(6)底層頂部穗間(7)第三層底部穗間(8)第三層中部穗間(9)第三層頂部穗間(10)第五層底部穗間(11)第五層中部穗間(12)第五層頂部穗間(13)頂層出口處乾球(14)頂層出口處濕球。
3. 利用風速儀測量風速以調整各裝置之風量。
4. 開機乾燥之前以自動控制設定溫度進入乾燥室前之溫度固定為 40°C 時，開始進行試驗，依不同時間間隔量取高粱穗之重量變化。

結果與討論

一、全穗、穗梗與高粱粒含水率之關係

取樣60個高粱穗，分別測定其全穗、穗梗與粒之含水率。穗梗和高粱粒其乾物重分別佔總乾物重之15.3%和84.7%，粒重與梗重之比例平均值為5.55，變異數為1.905。

高粱穗梗與粒含水率之關係如圖 4 所示。兩者為一曲線關係，在低含水率區 (10%以下) 和高含水率區 (28%以上)，曲線關係更加顯著，此即表示在此兩區高粱粒與穗梗吸收水份的能力差異極大。而高粱穗自田間採收時高含水率在於穗梗含有較高的水份。

全穗與粒含水率之關係如圖 5。粒之含水率於12%至28%之間，兩者為直線關係。此關係用以研究此乾燥過程中，粒與全穗含水率的變化。

二、移動層高粱乾燥

1. 溫度之變化

移動層乾燥方式之穀溫變化如圖 6、7。在乾燥層厚度10公分時，穀層最下層 (曲線 4) 與最上層 (曲線 6) 始終低於熱風出口溫度 (曲線 7)，顯示乾燥空氣中之熱量並未完全由高粱穗所吸收。穀層中間 (曲線 5) 始終處於最低溫狀態，於乾燥後22小時，方增加至 33°C。

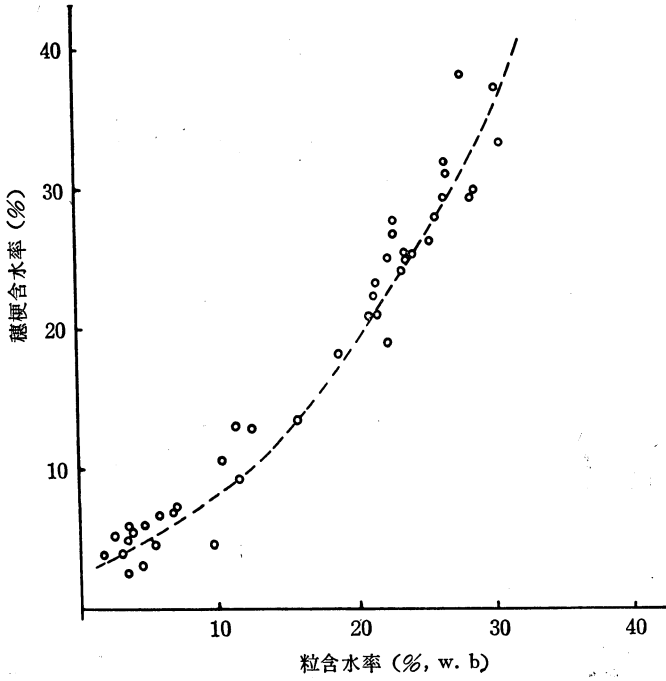


圖4. 高粱穗梗與高粱粒含水率之關係

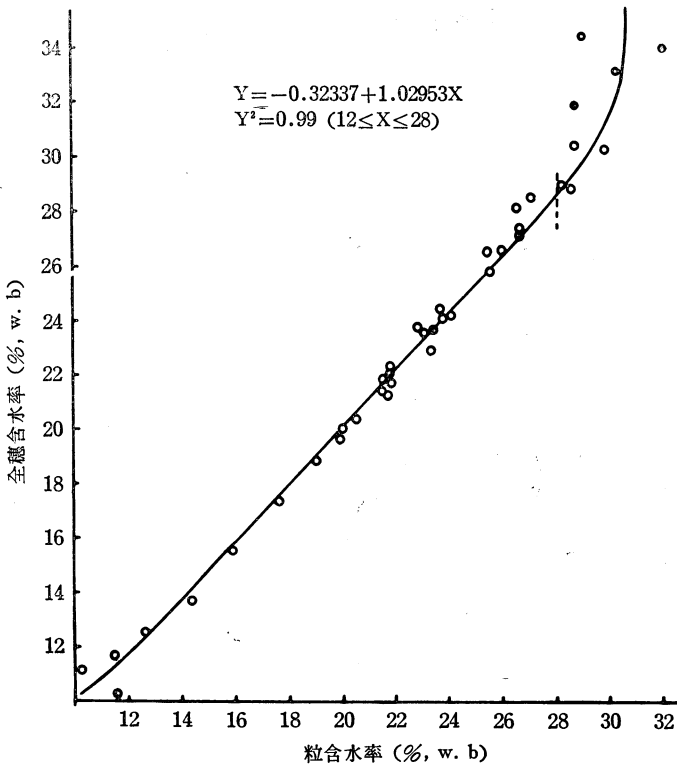


圖5. 高粱全穗與高粱含水率之關係

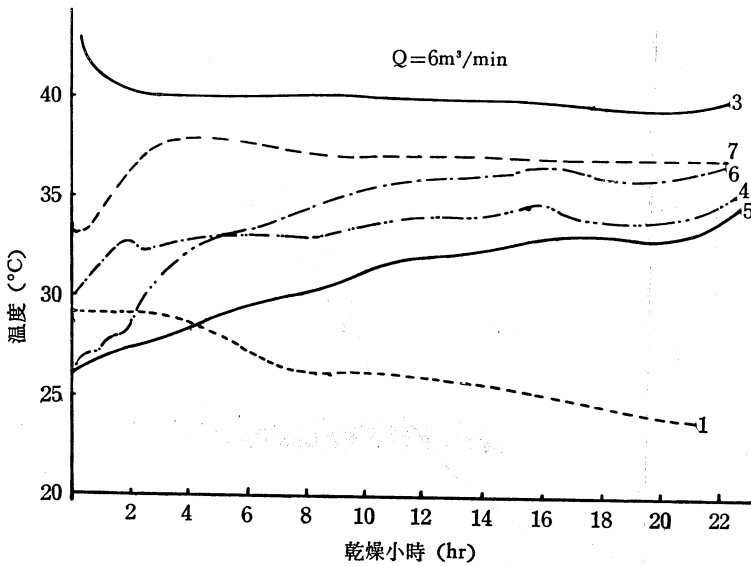


圖6. 移動層乾燥粒層溫度之變化 (10cm)

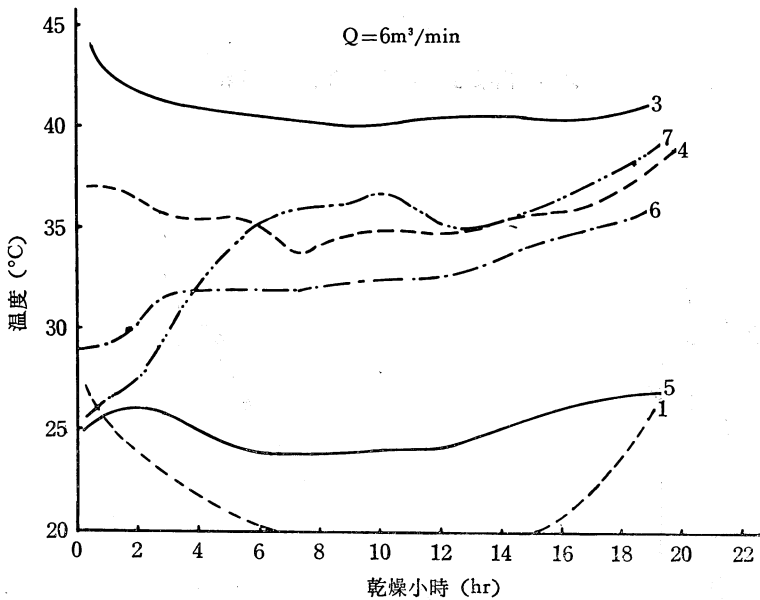


圖7. 移動層乾燥粒層溫度之變化 (30cm)

移動層乾燥厚度為30公分(圖7)時,溫度分佈之差異性更為嚴重。出口熱風溫度(曲線7)於6小時後才增加接近至穀層下層溫度(曲線4)。比較厚度10cm時之乾燥曲線,熱風為底層吸收之部分較多。最高層穀溫(曲線6)低於下層約6~7°C。而中間之高粱穗(曲線5)始終處於低溫狀態,乾燥效果十分不良,更導至穀層含水率的分佈不均勻。

2. 含水率之變化

含水率之變化如圖8所示。自最初含水率至20%所需時間大致如下:10cm(14hr), 20cm(11hr), 30cm(14hr), 在此研究中,以10cm厚度之穀物每小時所能移走的水分(kg)為

比較標準，移動層乾燥三種厚度之平均乾燥率如表 1。穀層厚度不同，其每小時所能移走之水份極為接近。

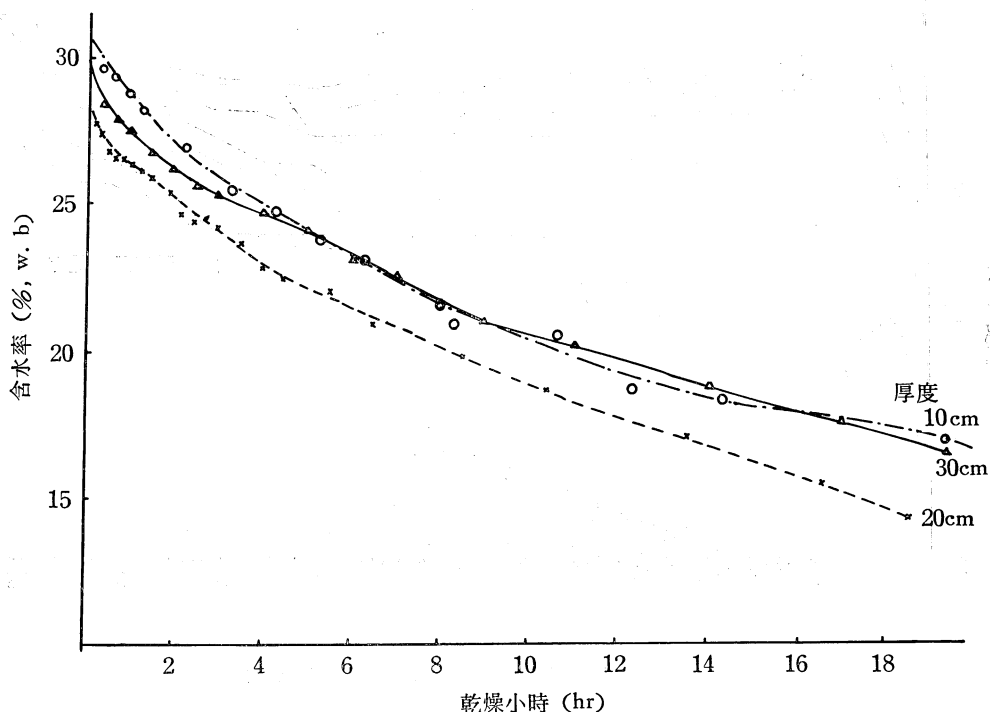


圖8. 移動層乾燥含水率之變化

表 1. 移動層和厚層乾燥率

一、移動層乾燥

厚度 (cm)	10	20	30
乾燥率 (kg/hr-10cm)	0.061	0.062	0.061

二、厚層乾燥

風量 (m ³ /min)	46.8	23.4	10.0
乾燥率 (kg/hr-10cm)	0.080	0.074	0.053

3. 發芽率

三種厚度乾燥後的發芽率測定如下：10公分（78.5%），20公分（78.3%），和30公分（76.0%），均低於標準要求值（80%）。

三、厚層乾燥

1. 穀層溫度之變化

最大風量（46.8m³/min）時厚層穀溫之變如圖 9。出口熱風溫度（曲線13）之分佈介於底層和中層之間，由此可知熱風熱量並未充份利用而造成能源損失。底層之溫度於第一小時內提升至37°C。中層和上層之穀溫於第二小時後升至30與35°C之間，在15小時後才緩慢上升。

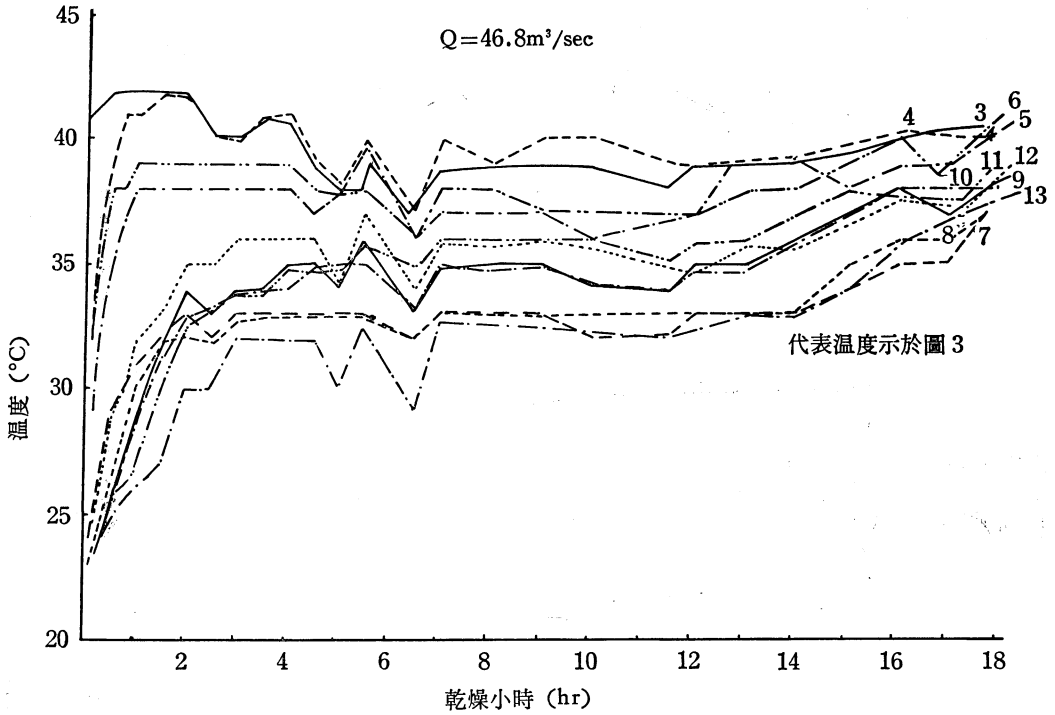


圖9. 厚層乾燥粒層溫度之變化 ($Q=46.8\text{m}^3/\text{min}$)

最小風量 ($10.0\text{m}^3/\text{min}$) 之穀溫分佈於圖 10。穀層的溫度差距更大。出口熱風溫度介於中層 (曲線 7、8、9) 與上層 (曲線 10、11、12) 之間。顯示此熱風所帶能量被利用比例比大風量時為高。在最初 6hr 之內, 中、上層穀溫增加有限, 乾燥作用不良, 此為厚層乾燥作業

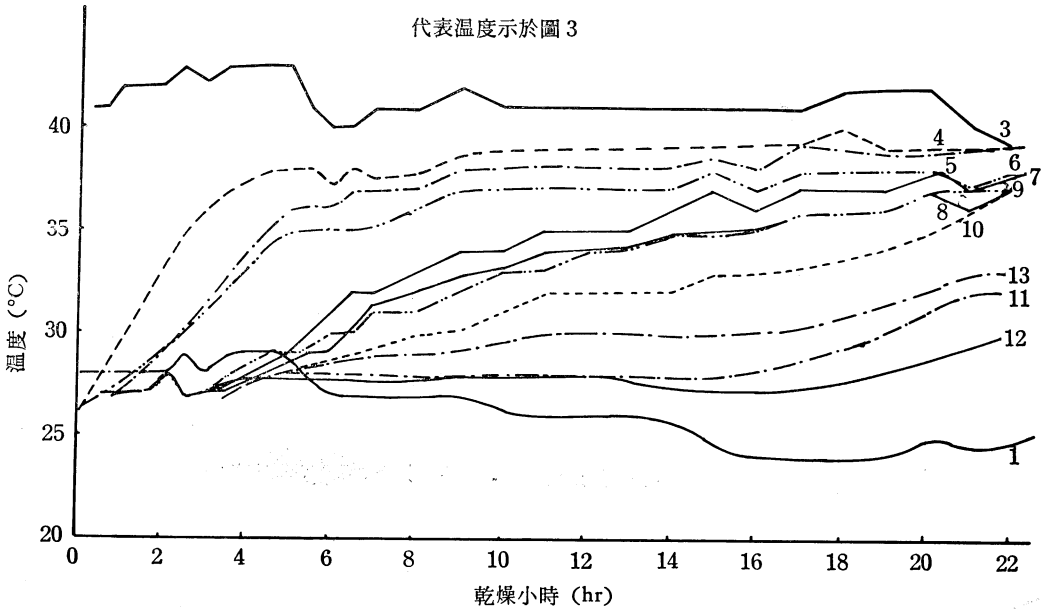


圖10. 厚層乾燥粒層溫度之變化 ($Q=10.0\text{m}^3/\text{min}$)

低風量應解決之問題。

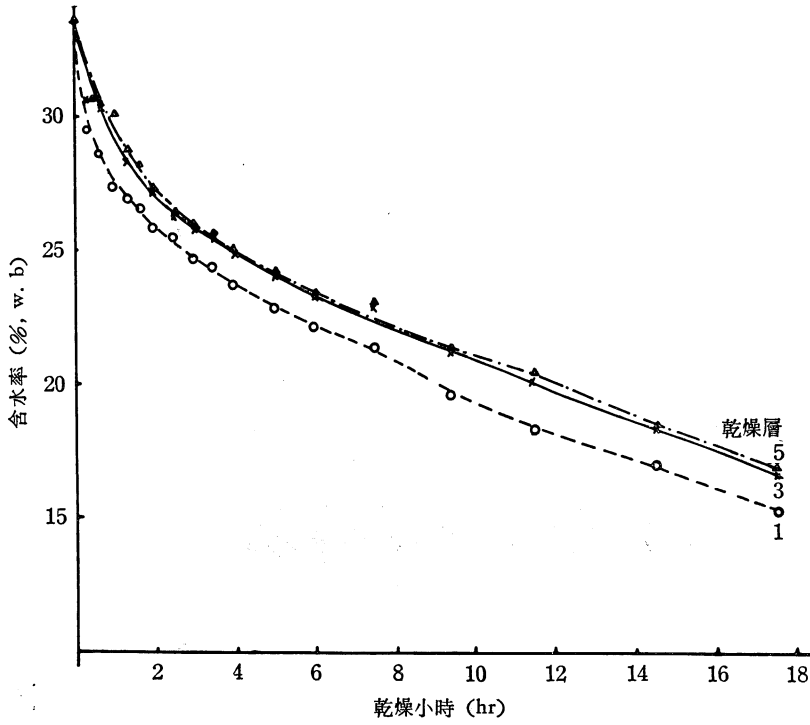


圖11. 厚層乾燥含水率之變化 (Q=46.8m³/min)

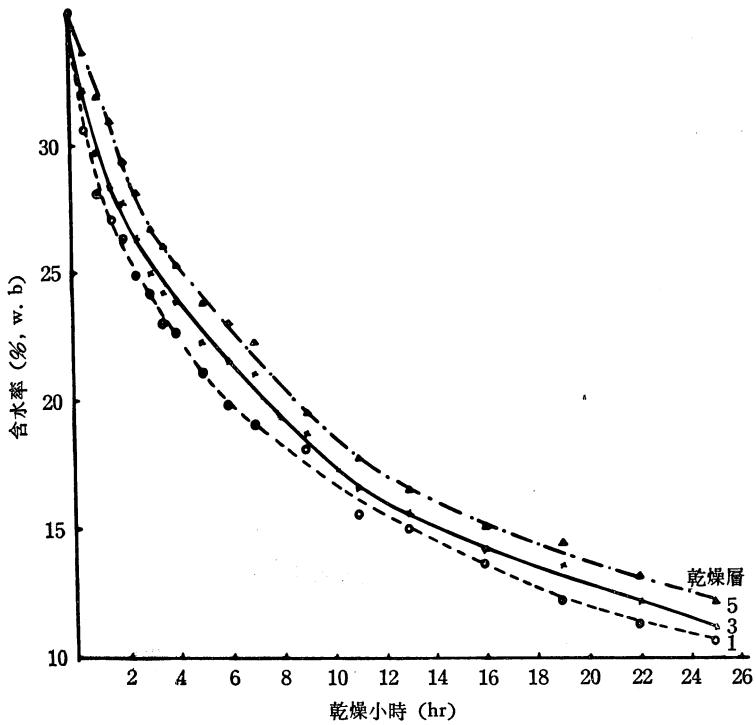


圖12. 厚層乾燥含水率之變化 (Q=23.4m³/min)

2. 含水率之變化

三種風量對高粱穗乾燥時含水率遞減之影響如圖11, 12與13, 隨著風量之遞減, 層間含水率之差距也隨之加大。風量最大時 ($46.8\text{m}^3/\text{min}$, 圖11), 第三、五穀層之含水率相近, 風量為 $23.4\text{m}^3/\text{min}$ 時 (圖 12), 各層含水率之差異性逐漸增大, 風量最小時 (圖 13), 此差距著性更加顯, 在小風量, 上層的含水率有先增加而後減少的現象。由此可知風量與穀層溫度對於乾燥效果的影響極大。

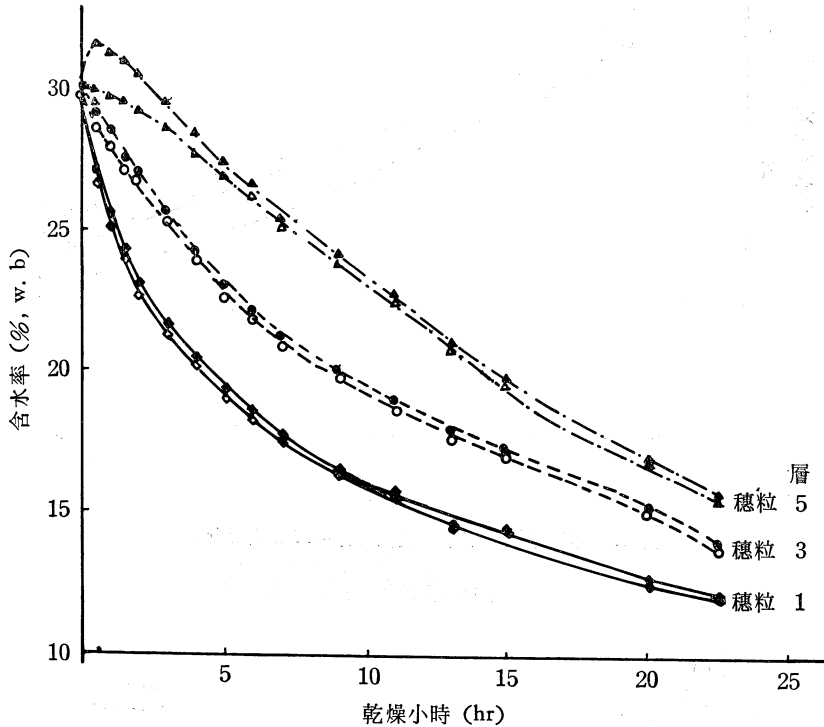


圖13. 厚層乾燥含水率之變化 ($Q=10.0\text{m}^3/\text{min}$)

各層乾燥率於表 1。最小風量約為最大風量20%。然而乾燥率僅降低四分之一, 以能源利用之觀點, 大風量極不經濟。

3. 發芽率

厚層乾燥中, 各層發芽率於圖14。最小風量時發芽最高。比較六穀層的發芽率, 兩種風量都有類似之趨勢。底層的發芽率最低, 此原因可能因熱風之直接接觸時間較長所影響。中層之發芽率最好。上層之發芽率低於中層, 此原因可能受到乾燥初期部分回潮引起摧芽作用而降低了發芽率。

4. 乾燥能力比較

在此研究中, 以移走高粱穗內每公斤水份所需之供應熱量以比較乾燥能力, 單位為KJ/kg。移動層和厚層乾燥的作業能力列於表 2。兩種方式之乾燥率差異性不大, 但其所需供應熱量差異極大, 因此移動層乾燥所應用之隧道式乾燥方式不適用於高粱穗乾燥作業。對於厚層乾燥而言, 大風量 ($46.8\text{m}^3/\text{min}$) 的耗費熱量為小風量 ($10.0\text{m}^3/\text{min}$) 的 3.3 倍, 乾燥率僅為 1.4 倍, 因此大風量厚層乾燥作業並不經濟。

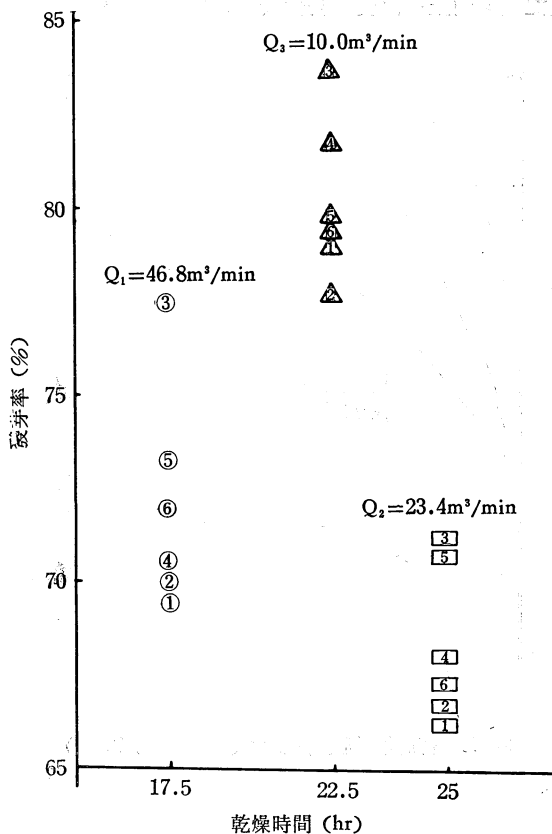


圖14. 厚層乾燥與發芽率之關係

表2. 乾燥能力之比較

一、移動層乾燥

厚度 (cm)	10	20	30
乾燥能力 (kJ/kg)	145,993	136,867	84,974

二、厚層乾燥

風量 (m³/min)	46.8	23.4	10.0
乾燥能力 (kJ/kg)	60,950	43,702	18,534

三、薄層乾燥

薄層乾燥中三種乾燥層厚度和三種風量對穀層溫度分佈之影響圖示於圖15至19。

以 3m³/min 的風量進行乾燥作業時，乾燥層厚度 10cm (圖15)，最底層 (曲線 4) 的高粱穗在 3 小時後接近熱風溫度，中層 (曲線 5) 和上層 (曲線 6) 的溫度也在此階段趨向平衡，出口熱風溫度始終低於殺溫。因此乾燥層內高粱穗都受到熱風加溫作用，水份亦能隨熱風移走。乾燥層為 20公分時 (圖16)，下層穀層於 2.5小時內與熱風達到熱平衡。中層和上層穀溫於 3.5hr 時與出口熱風相近。乾燥層 30公分時 (圖17)，底層高粱穗與進口熱風迅速達成熱平衡。中層溫

度於 5hr 後接近熱風溫度，而上層溫度始終低於出口熱風溫度。

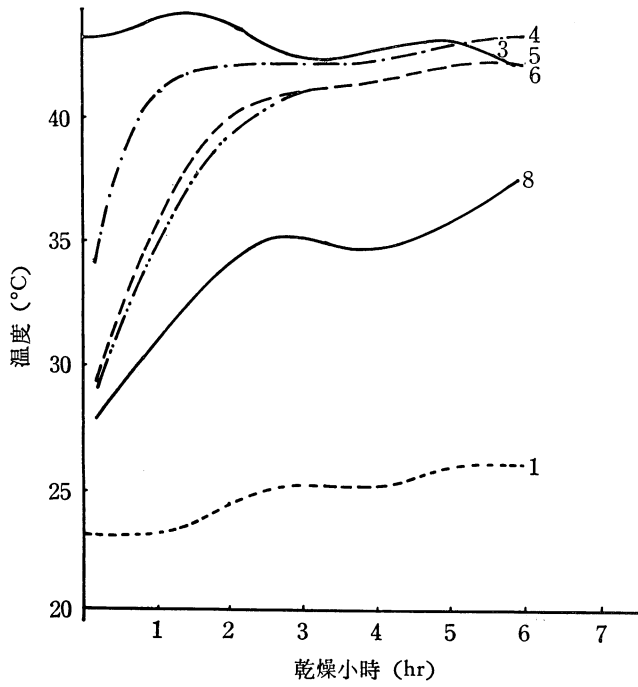


圖15. 薄層乾燥溫度之變化 (3m³/min, 10cm)

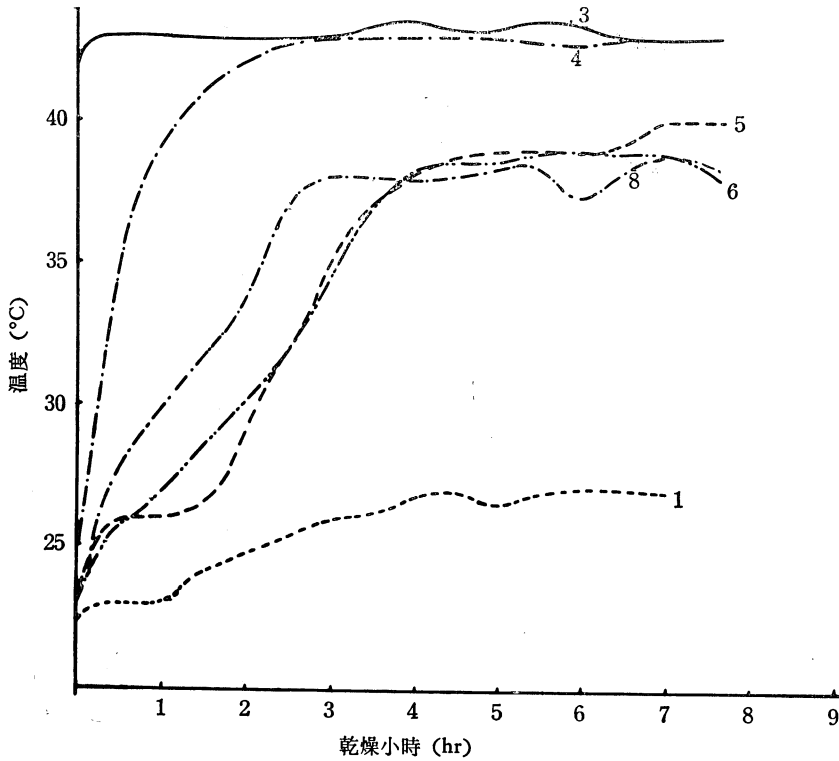


圖16. 薄層乾燥溫度之變化 (3m³/min, 20cm)

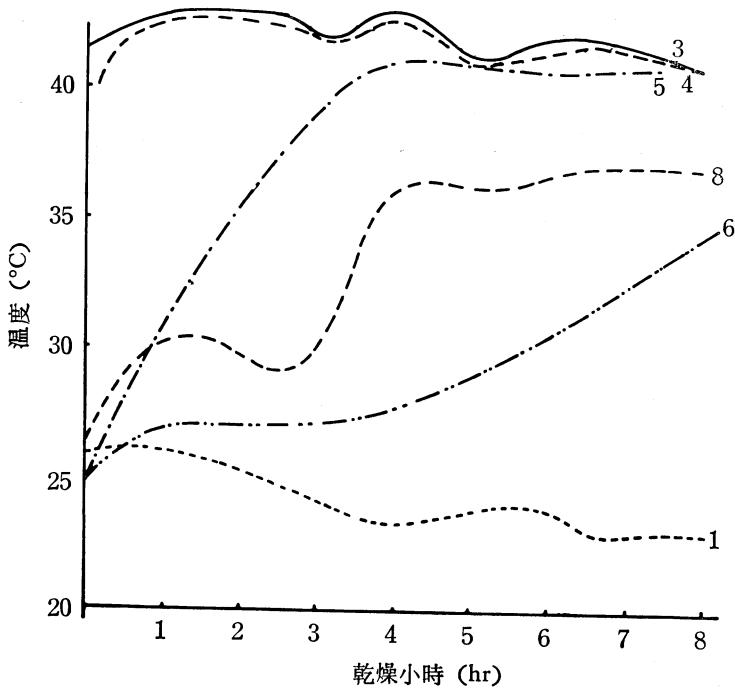


圖17. 薄層乾燥溫度之變化 ($Q=3\text{m}^3/\text{min}$, 30cm)

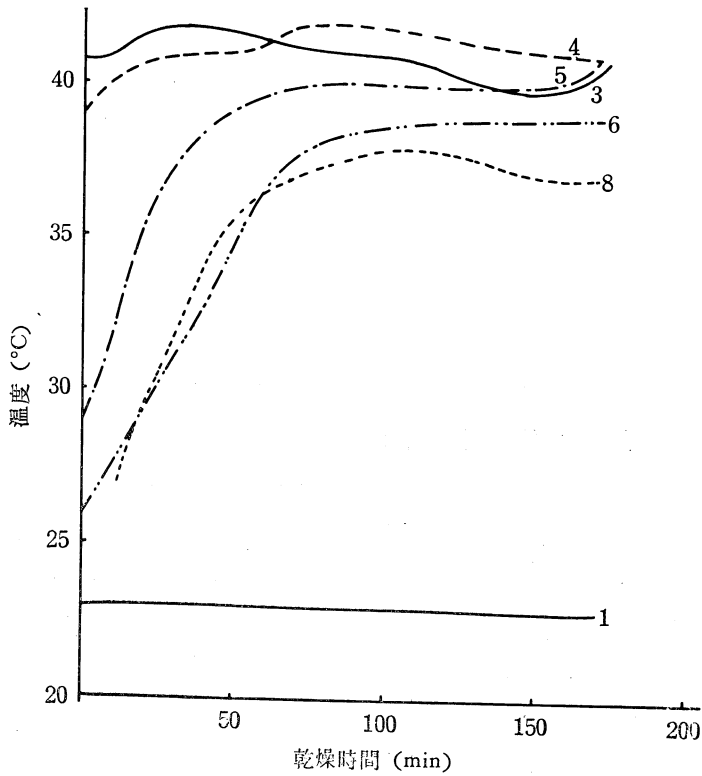


圖18. 薄層乾燥溫度之變化 ($6\text{m}^3/\text{min}$, 10cm)

熱風風量 $6\text{m}^3/\text{min}$ 之乾操作業結果討論如下：乾燥層10公分時（圖18），底層之溫度急速提高而接近熱風溫度，中層溫度介於上下層之間。底層溫度在 1hr 之內起過熱風溫度且接近熱風出口溫度。乾燥層厚度為20公分時（圖19），穀層中層溫度於 2hr 時與進口溫度相近，上層溫度接近熱風出口溫度。乾燥層30公分之溫度變化接近10公分之穀層，但中層在 3hr 才提高至一定值，上層在 3hr 左右與出口熱風相近。

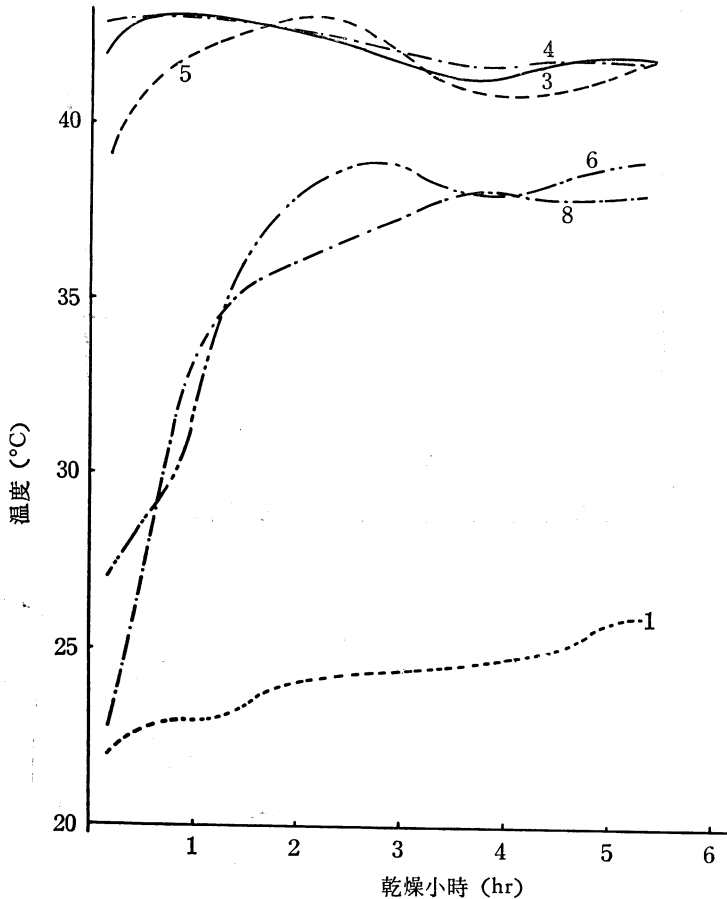


圖19. 薄層乾燥溫度之變化 ($6\text{m}^3/\text{min}$, 20cm)

熱風風量 $9\text{m}^3/\text{min}$ 之結果分述如下：乾燥層 10cm 時（圖20），底層和中層於 1hr 內完成熱平衡，上層溫度在 3hr 才與出口溫度達到熱平衡。乾燥層為20.30公分（圖21）時，各層溫度都介於入口和出口熱風溫度之間。20公分時穀溫之增加較快。

不同風量和乾燥層厚度下的作業能力和乾燥率於表 3 和圖22、23，乾燥厚度10公分時移走1kg 水份所需的熱量最高，其原因可解釋為在薄層狀況時，熱風熱效率不高。空氣所攜帶之熱能在未為高粱穗吸收時，即隨熱風排出。相反地乾燥厚度30公分時，三種風速下之所需熱量均為最低，此原因可解釋為由於熱風通過厚層，由於高粱穗的風阻摩擦作用，使熱量為高粱穗吸收的比例增大，減少了熱量的浪費。

在相同的乾燥厚度情況下，風量 $6\text{m}^3/\text{min}$ 的作業條件其所耗費熱量相對較低，風量小時攜走的水份能力較差，而風量大時，熱量在未為高粱穗吸收即隨空氣排出，可知適當的風量將得到好的乾燥效果。

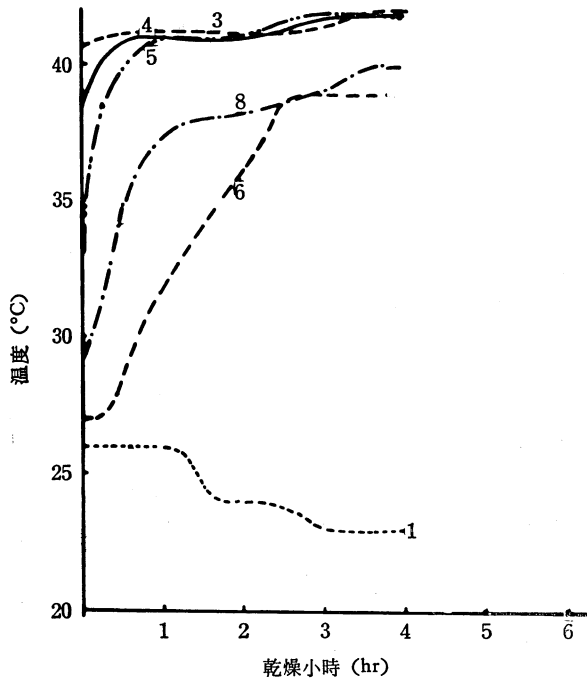


圖20. 薄層乾燥溫度之變化 (9m³/min, 10cm)

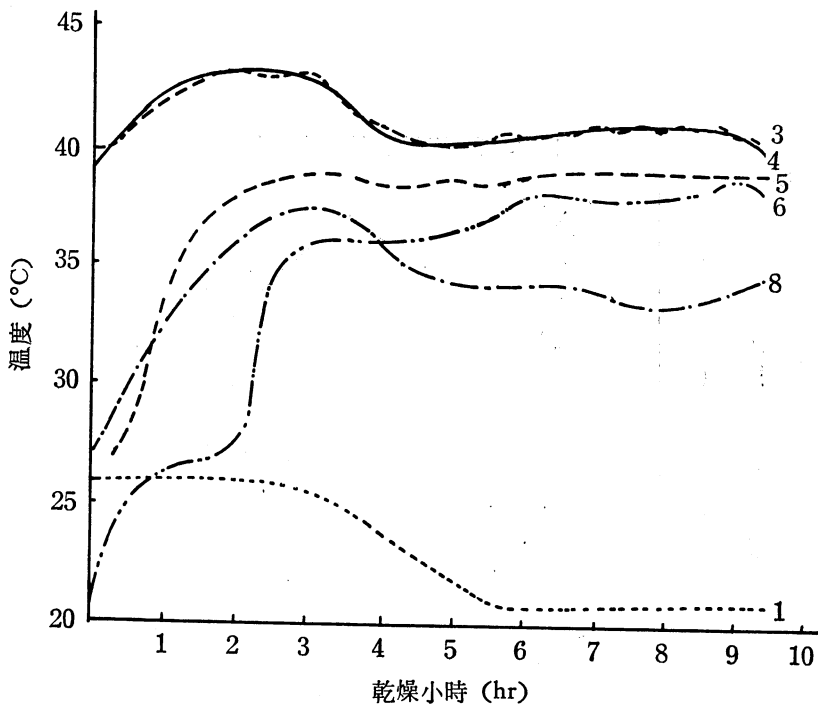


圖21. 薄層乾燥溫度之變化 (9m³/sec, 30cm)

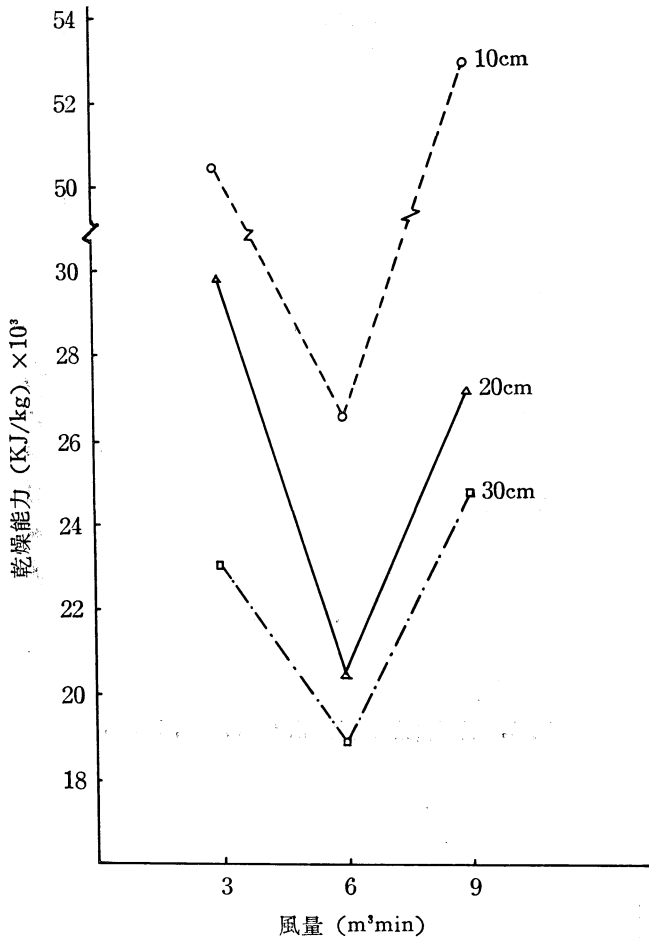


圖22. 薄層乾燥乾燥能力之比較

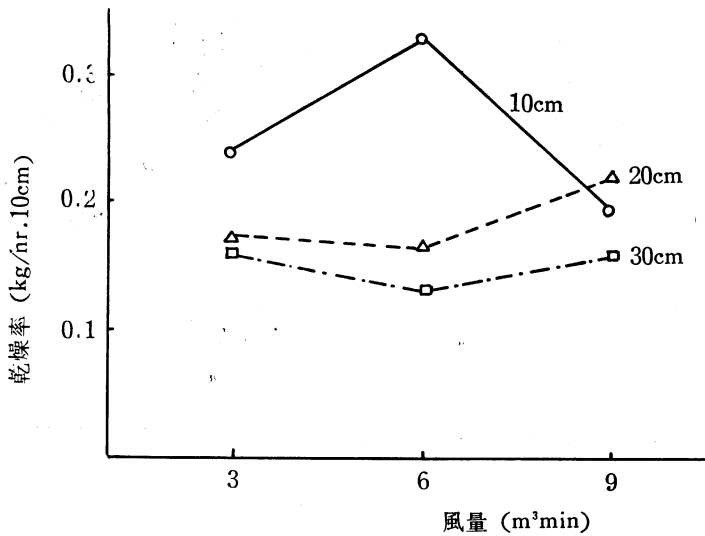


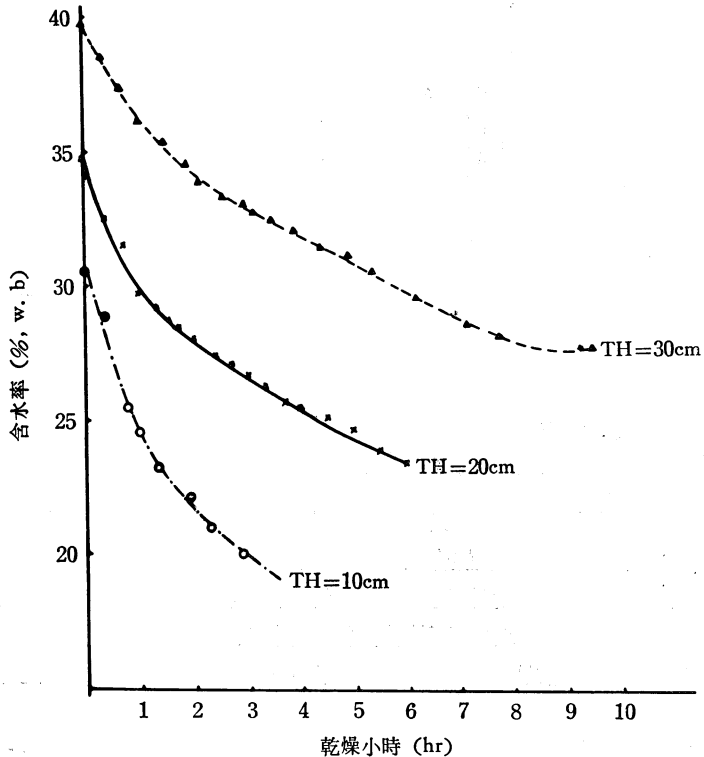
圖23. 薄層乾燥乾燥率之比較

表3. 薄層乾燥乾燥率和乾燥能力

風量 (m^3/min)	厚度 (cm)	乾燥率 ($kg/hr-10cm$)	乾燥能力 (kJ/kg)
3	10	0.240	50,520
	20	0.176	29,910
	30	0.164	23,060
6	10	0.311	26,030
	20	0.168	20,480
	30	0.123	18,960
9	10	0.228	50,030
	20	0.256	29,250
	30	0.183	24,820

比較乾燥率時， $6m^3/min$ 的風量和 $10cm$ 的乾燥厚度條件下，乾燥率最高。 10 公分的乾燥層比其他兩層較好。 20 公分和 30 公分的乾燥率相近。

綜合比較九種條件（ 3 風量 \times 3 厚度），以低熱量需求和高乾燥率為良好的作業情況。此種作業條件穀溫分佈特點如下：底層的穀溫於短時間內與熱風溫度取得熱平衡。中層穀溫低於熱風入口溫度而成穩定狀態。上層穀溫略高於出口熱風溫度。

圖24. 薄層乾燥含水率之變化 ($Q=6m^3/min$)

風量 $6\text{m}^3/\text{min}$ 時，三種乾燥厚度的含水率如圖24所示。農產品含水率與時間之變化情形為下列因素所影響：初期含水率，熱風乾燥溫度與相對濕度，風量等。含水率變化的模式和有關參數發表給他文（註3）。

薄層乾燥與發芽率之關係如圖25所示。發芽率與風速，乾燥層厚度依統計變方分析之結果並未顯著相關性。

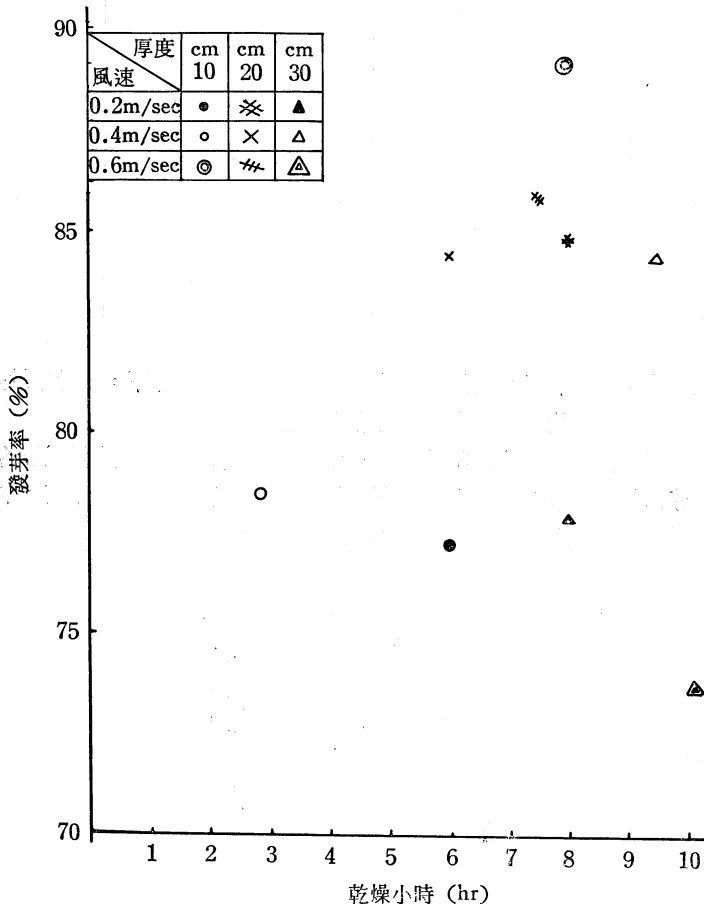


圖25. 薄層乾燥發芽率之比較

四、靜置式乾燥作業之改良

由薄層乾燥之基本試驗結果可得知高粱穗乾燥作業下的溫度分佈需求條件。在實際作業時，為達到此作業條件，對於熱風之風量與溫度可加以調整。在乾燥初期，可以以大風量和高溫（大於定溫 40°C ）之作業條件進行乾燥作業。使高粱穗穗軸中所含水份迅速蒸發逸出並為強風所帶走，而高溫高風量亦可使穀層溫度迅速提高與均勻分佈。在各層穀溫都已提昇至 40°C 之後，溫度與風量需要降低，以維持穀層溫度而持續進行乾燥作業，並減少能源浪費。在乾燥末期，風量可以再次降低。各階段的熱風風量和溫度之控制程序，需有進一步之研究，此方式對於種穗發芽率影響更需探討。

五、不規則農產品之乾燥特性

傳統的農產品乾燥的作業對象均為形狀規則之穀物如玉米粒、高粱粒、稻穀等。在乾燥作業

時，由於穀粒間堆積緊密，風阻係數大，乾燥空氣所攜之熱能為穀粒吸收之比例極高，熱效率較高。在風扇之配置設計時，風壓之條件十分重要，以用克服穀物之風阻。不規則之農產品（如高粱穗，蒜頭，藥草等）之乾燥特性與規則性外形之穀物差異極大。由於農產品堆疊時空隙大，熱風容易自空隙逸出，因而熱能為穀物吸收的比例較低，而且由於穀溫不易提高，乾燥效率差。風壓之需求條件之重要性反而不如規則性穀物。綜合上述條件，不規則農產品乾燥作業之要求在於縮短穀物加溫所需之時間而不耗費過多的熱源。所以適用的作業條件如下：在不影響品質的溫度極限下，以高風量高溫進行初期乾燥作業，而再逐漸降低乾燥空氣的風量和溫度。而在初期高風量過程中，可以以熱風回收方式減少能源浪費，在風扇設計方面，風速之要求可以降低風速，加大入口面積，以減少電力之需求。

結 論

1. 高粱穗全穗，穗軸與粒含水率的關係可知，在高含水率情況下，穗軸含水率急劇增加。粒含水率在12%與28%之間，具有顯著之線性關係。
2. 三種厚度的移動層乾燥的乾燥能率偏低，所需求的熱能大，因此隧道式乾燥方式並不符合高粱穗乾燥要求。傳統式厚層靜置乾燥方式為可行方式。
3. 為減少靜置式厚層乾燥上下層含水率的差異性，雙向風方式為一可行之改良方式，但將增加進出之作業問題。
4. 高乾燥率和低能量要求的良好作業條件可由薄層乾燥之實驗結果得知。
5. 為減少乾燥所需時間和能量耗費，以不同風量和溫度進行各階段之乾燥作業尚值得進一步之研究。

參考文獻

1. 馮丁樹 • 1985 • 飼料玉米乾燥特性之研究，中國農業工程學報31卷1期，pp. 37-55。
2. 馮丁樹 • 1986 • 高粱與玉米穗乾燥處理與調製機械化試驗研究—換向式通風乾燥玉米穗之研究，七十五年農機研究發展與示範推廣報告，臺灣省政府農林廳，pp. 128-138。
3. 陳加忠、賴建洲、曹之祖、游祥芳 • 1989 • 高粱穗乾燥模式之研究，中華農業研究38卷2期，pp. 261-275。

A study on the Drying Properties of Ear Sorghum¹

C. C. Chen, C. C. Lai, C. T. Tsao², and S. F. Yu³

Summary

In order to design a practical equipment for the drying of ears sorghum, some investigations had been conducted in this research. Experimental results indicated that the tunnel drying method is impractical for it has a lower drying rate and relative high energy requirement. Tradictional deep-bed stationery drying is then recommended, using two-way drying method to solve the uniform problem of grain moisture. In comparing with the results of thin-layer drying, the temperature distribution of grain bed for good drying performance can be obtained. Different flow rates and temperatures of drying air for each drying stage will be considered as variables in the deep-bed drying operation.

1. Contribution No. 1467 from Taiwan Agricultural Research Institute.

2. Associate researcher, Assistant researcher, junior specialist, respectively, TARI, Taichung, Taiwan, R. O. C.

3. Assistant researcher, Taiwan Seed Improvement and Prepagation Station, Taichung, Taiwan, R. O. C.