# 稻米的乾燥與加工

蕭 介 宗
台大農機系

## 1. 前 言

人工曬穀作業，隨著曬穀場日漸減少及勞力不足，目前雖仍佔26％，但會逐年降低。因乾燥機每年僅在收穫季節使用，使用率低、維護不易、穀塵污染控制不易等因素，農林廳從民國76年起，配合輔導良質米產銷計畫成立乾燥中心，自民國80年起農委會又陸續推動「穀物儲運設備及加工機械作業自動化」，以期建立稻穀收穫後處理之自動化，包括過磅、計價、品質檢定、乾燥、碾穀、儲存、精米、及包裝等一貫作業之自動化（如圖1）。目的在降低人工成本,維護加工稻米的品質，改善工作環境及增强決策經營與管理 (蕭等，1994)。目前已完成大甲鎮、後龍鎮、新營市、大安鄉、清水鎮、草屯鎮、豐原市及西螺鎮等8個農會稻穀收穫後處理自動化，而進行中尚有新市鄉、苑裡鎮、八德市、五結鄉及池上鄉等5個農會。本文僅將討論收穫後處理中有關乾燥及加工作業影響稻米的品質。

## 2.乾 燥

目前聯合收穫機採收的稻穀含水率太高，容易受黴菌的感染及稻穀本身吸收作用不適合儲藏及加工的條件，所以稻穀必須乾燥到13％的含水率才適合做爲長期的儲藏或到15－16％的含水率做爲良質米的加工。表1爲Tangonan and Jindal (1981)以15％ 含水率的稻穀在儲藏溫度30℃，若以損失0.5％ 乾物重做爲安全儲藏期，允許的安全儲藏期爲66天。

### 2.1 乾燥機的型式

台灣常見的稻穀乾燥機有箱式及循環式兩種 (蕭，1995)。箱式乾燥機之耗油率及胴裂率比循環式乾燥機高，而減乾率及乾燥均勻度比循環式低，因此目前在稻穀乾燥中心常使用循環式乾燥機圖2 (蕭，1994) 。美式的稻穀乾燥機有乾燥倉如圖3 (盧，1993)，蕭等(1994)曾引進類似乾燥倉試用於乾燥雜糧，但乾燥本省稻穀的資料尚缺。圖4、圖5和圖6分別爲直交型稻穀乾燥機、混流型稻穀乾燥機、及2段同向稻穀乾燥機在本省均少見 (蕭，1994；Brooker et al. 1992)。

### 2.2 乾燥對米質的影響

乾燥對米質的影響包括碾米率、顏色、食味、發芽率等均有影響，分別敘述如下。

表1 乾物損失0.5% 時之稻穀安全儲藏期(天)

| 含水率 % (濕基) | 溫度 (℃) | 乾物損失 0.5% |
|---|---|---|
| 10 | 10 | 220.0 |
| 10 | 20 | 182.0 |
| 10 | 30 | 161.0 |
| 10 | 40 | 153.0 |
| 10 | 50 | 140.0 |
| 15 | 10 | 123.0 |
| 15 | 30 | 98.00 |
| 15 | 30 | 66.00 |
| 15 | 40 | 41.00 |
| 15 | 50 | 36.00 |
| 20 | 10 | 23.00 |
| 20 | 20 | 14.00 |
| 20 | 30 | 8.000 |
| 20 | 40 | 5.000 |
| 20 | 50 | 4.000 |
| 25 | 10 | 16.00 |
| 25 | 20 | 8.000 |
| 25 | 30 | 5.000 |
| 25 | 40 | 3.000 |
| 25 | 50 | 2.000 |
| 30 | 1υ | 13.00 |
| 30 | 20 | 6.000 |
| 30 | 30 | 3.000 |
| 30 | 40 | 1.000 |
| 30 | 50 | 1.000 |

2.2.1 碾米率

乾燥速率在不影響乾燥作業的條件下，乾燥速率愈低，胴裂率愈低，碾製整粒米率愈高。在考慮減乾率與乾燥作業時間的平衡點，0.7%／h以下之減乾率會有最高的整粒米率；減乾率若提高到1.4%／h，整粒米率可能減少5%(陳，1993a)。

洪等(1994)，報導台灣主要水稻品種間之平均完整米粒稻爲65.9%，秈稻爲58.3%，相差約7.6%。但不當的快速乾燥，影響完整米粒之效果可能相當於品種的差異，對碾米加工業者的收益影響至鉅。

陳(1993b)指出乾燥風量，乾燥對均化時間比，及乾燥溫度對減乾率及碾米率均有顯著的影響。在風量0.23－0.3CMM/kg，乾燥時間10分鐘及均化75分鐘，乾燥熱風溫度40℃時，

對碾整米率不會有影響，其他較高的乾燥溫度45℃及50℃高的乾燥均化時間15／70分均會減少碾整米率。

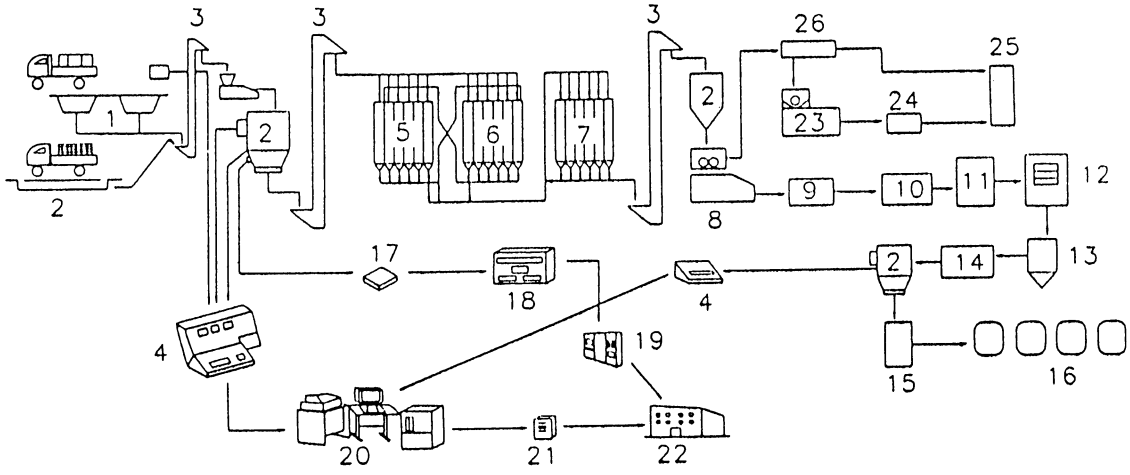
本省循環式的稻穀乾燥機常在熱風室停留10－20分，在均化室停留50－80分，熱風溫度約50℃，每一循環時間約在60－100分。在此條件下，減乾率每小時0.6－1.0％，國家乾燥機測試標準允許5％以下的重胴裂率。而胴裂率，對長粒稻穀除胴裂稻穀碾成碎米之外，另外可能有10％的完整穀粒也碾製成碎米。中粒稻穀碾製成碎米率約相當於胴裂率 (陳，1981;陳，1983)。

2.2.2 顏　色

稻米變黃的原因，可能在乾燥前或乾燥過程之非酵素的變黃和黴菌的吸收有關(Phillips et al.， 1988; Brooker et al., 1992)。

2.2.3 食味及發芽率

Calderwood和Webb(1971)利用多段連續流動商業用乾燥機，稻穀溫度從38到50℃，均化時間從9到12小時，風量從160-99CMM/t，在乾燥室停留時間15－25分鐘等不同的乾燥處理作業對稻米的烹調品質沒有影響。




1.卸坑
2.數字秤
3.上升機
4.控制盤
5.濕穀儲存筒
6.乾燥機
7.乾穀儲存筒
8.礱穀機
9.去石機
10.選別機
11.調質機
12.精米機
13.白米儲存筒
14.碎米選別機
15.自動包裝機
16.小包裝白米
17.取樣機
18.樣品乾燥機
19.全自主檢定裝置
20.電腦及控制室
21.帳單
22.農會
23.稻穀粉碎機
24.製品
25.生產者
26.稻殼倉

圖1 稻穀乾燥調製中心之示意圖

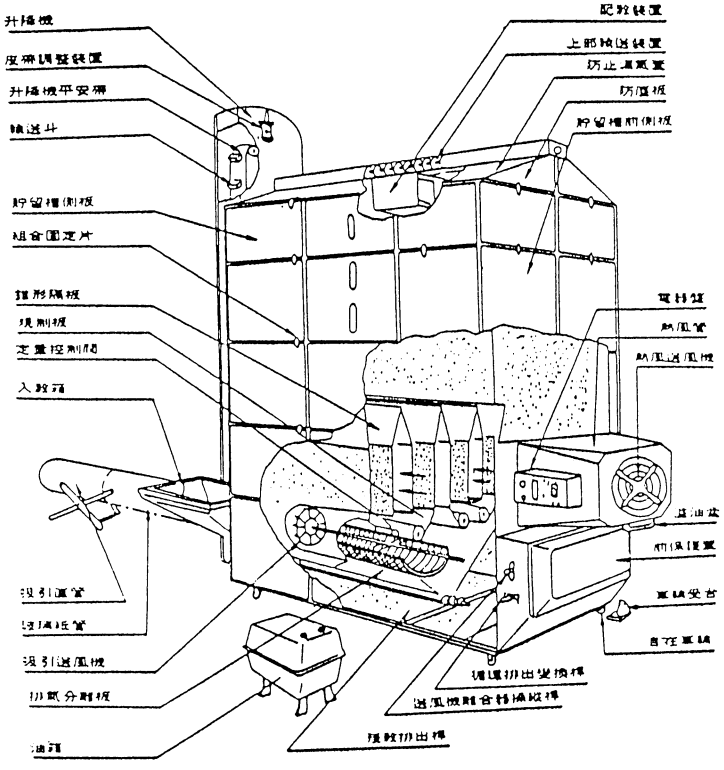


圖2　循環式稻穀乾燥機之結構圖

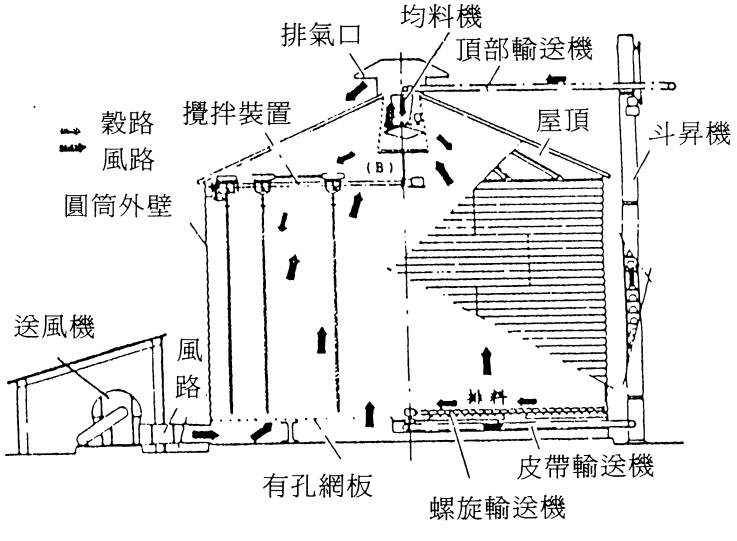



圖3　乾燥倉

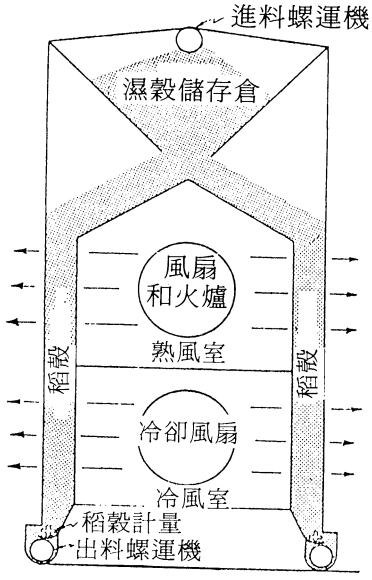



圖4　直交型稻穀乾燥機

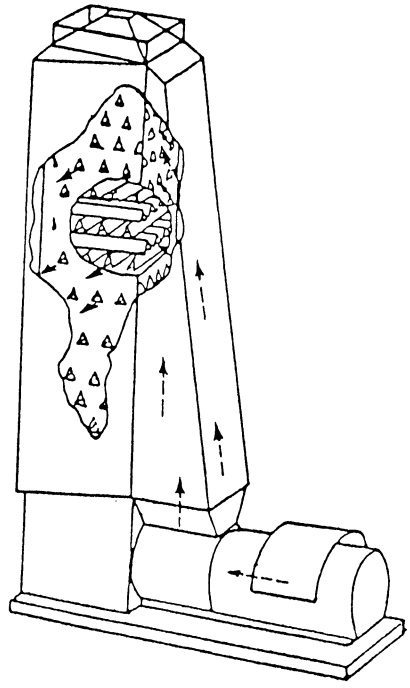


圖5　混流型稻穀乾燥機

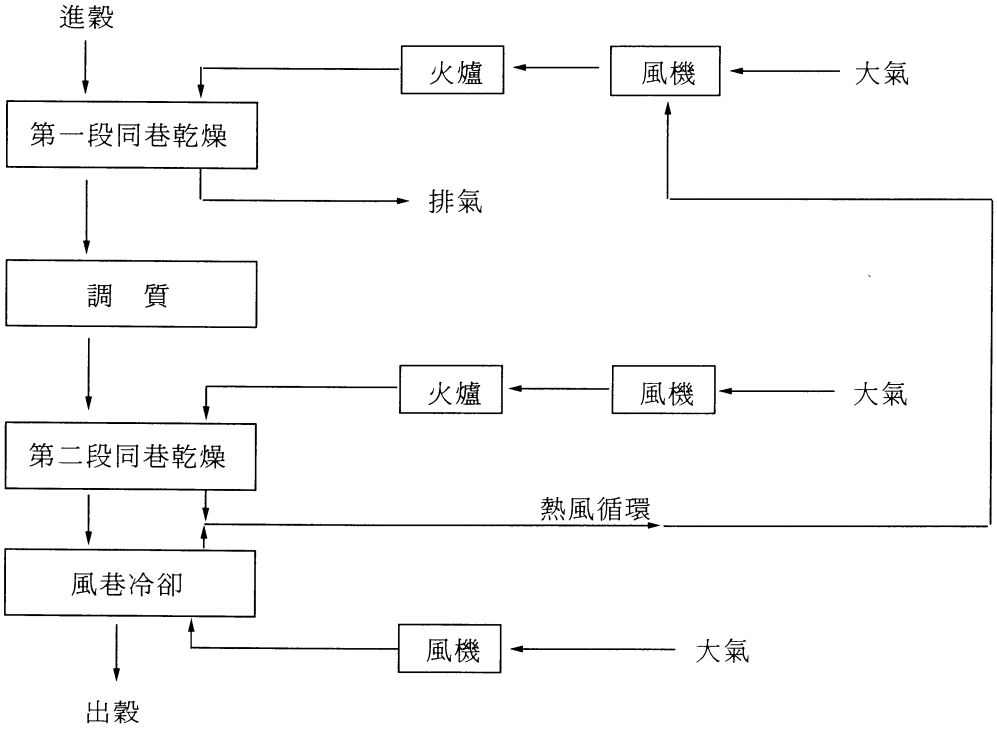



圖6　2段同向稻穀乾燥機具有反向冷卻及熱風循環方塊圖

Yamashita(1993)指出食味值與稻穀發芽率有很好線性關係如圖7，可用來評估稻米的品質，爲保持乾燥的稻穀保有95％的發芽率，濕穀的含水率與採用乾燥溫度必須在圖8的安全範圍內如濕穀初含水率24％時採用40℃，濕穀初含水率19％時採用50℃乾燥熱風溫度(Yamashita, 1993)。因此爲保持良好稻米食味，愈高的初含水率要用愈低的溫度來乾燥。但乾燥熱風溫度太低，乾燥作業時間加長，人事費也增加。黃(1993)指出低溫乾燥良質米時，若乾燥溫度高於40℃時，不論連續式或間歇式，其完整米率及發芽率均急速下降，提高乾燥對均化時間比可以有效地提高乾燥速率，且對發芽率及碾米率無顯著的影響。

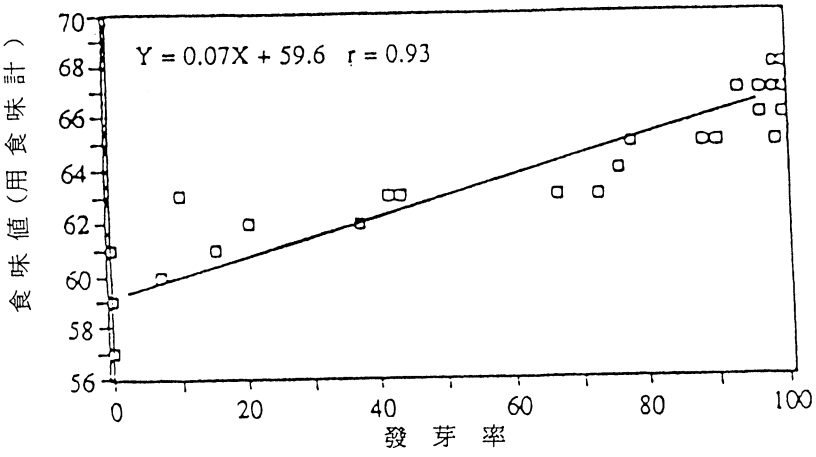



圖7 食味與發芽率的關係

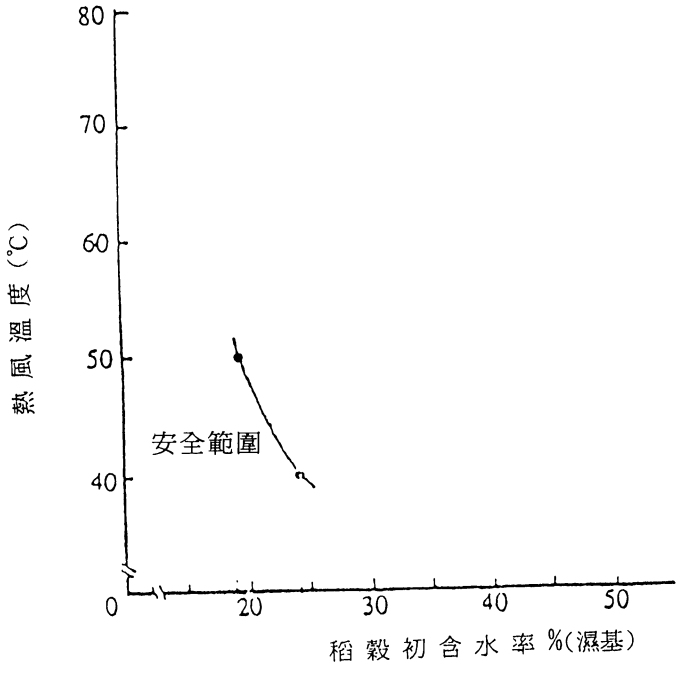



圖8 爲維持稻穀有95％發芽率在不同濕穀含水率可採用的熱風溫度

## 3. 加　工

本節將以Satake(1994)及Yamashita(1993)之資料爲主體，並加上最近之參考文獻，重點在介紹新的稻米加工技術以改進碾米率、效率及品質。一些基礎的加工技術可參看Luh(1980)、Juliano(1985)及稻米加工自動化技術服務團新編的技術手冊及專輯。

### 3.1 新直立式精米系統

新式的精米系統結合高速的滾磨式和低速的摩擦式精米機的安排。此改良式的系統適用於各種品種的水稻，而且可在直立摩擦式之精米機之最後過程噴霧以冷卻白米及移除米糠達到淨米的目標。此新式的精米系統分爲直立摩擦式及直立滾磨式兩種分別說明如下：

(1)直立摩擦式精米機如圖9，糙米由進料口，經進料螺旋、進料滾筒、精米滾筒及出料口排出。清理口用來移除精米後在精米室的殘料。

(2)直立滾磨式精米機如圖10，糙米由進料口，經進料螺旋、進料滾筒、抗阻環(調節進料量)、滾磨滾筒及出料口排出。同樣地清理口以移除殘料。

此直立式的安排，糙米的密度和壓力比水平式的精米機較均勻，改進碾米效率及減少碎米率。其碾米滾筒之型式亦改變如圖11，以增加糙米之攪拌效果。此外直立式精米機尚有節省空間及底部進料不必連接運送機的優點。

圖12是4台精米機之安排圖，前1和2台爲滾磨式精米機，3和4台爲摩擦式精米機。完成有效率、高碾米率及高品質的精米系統。

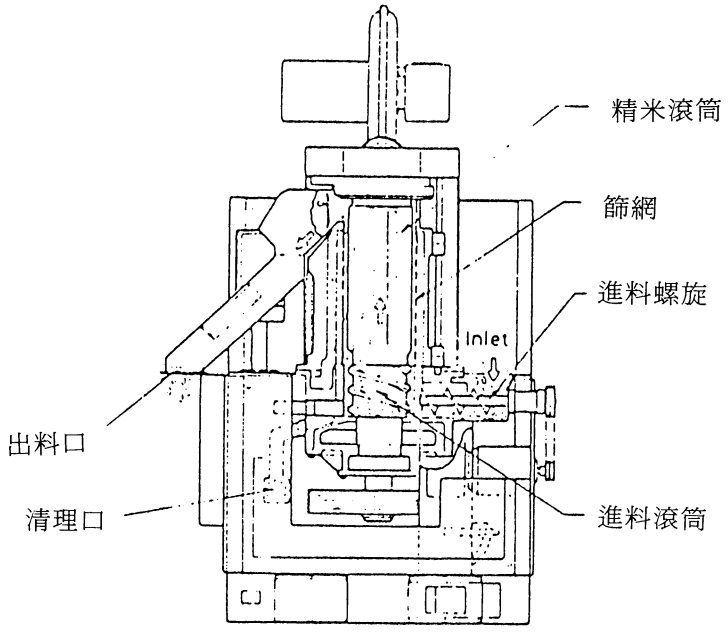



圖9　直立摩擦式精米機

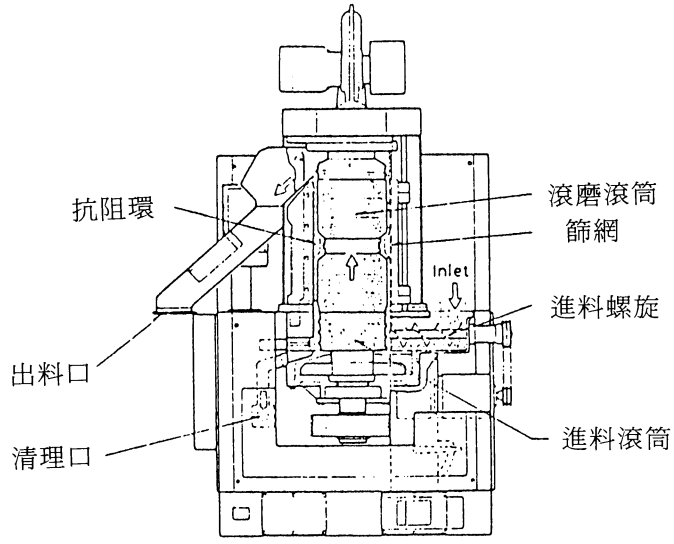



圖10 直立滾磨式精米機

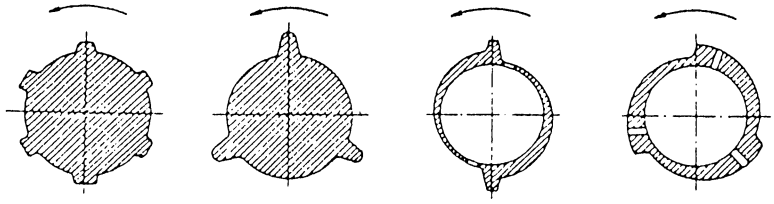



圖11 水平和直立式摩擦精米機滾筒之型式比較

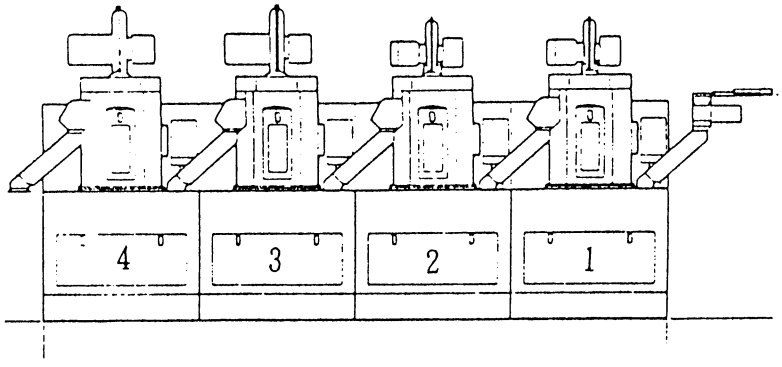
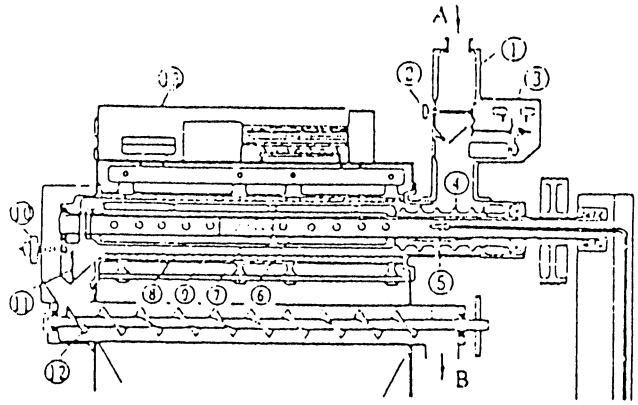



圖12 直立式精米機之安排糙米流經1、2、3、4台
(1和2台爲滾磨式，3和4台爲摩擦式)

### 3.2 淨米系統

利用噴霧量爲精米重量的0.3到0.4%，藉著搓揉及强氣流移除白米表面之糠粉，使白米表面變成透明亮麗的白米稱爲淨米。淨米過程因噴霧也可使白米顆粒表面溫度下降及軟化，減少碎米率。淨米因爲去除糠粉比一般白米有7到10天較長的儲藏期。淨米機也用來清理因運送及長期儲運變味之白米。

圖13爲淨米系統之示意圖 (Yamashita,1993) 。白米之流程爲從A，1，2，3，4，6，11，12到B，完成淨米作業。




1：進料斗
2：調整流量螺旋
3：流量控制
4：螺旋
5：噴水口
6：主軸
7：攪拌滾筒
8：篩網
9：內支架
10：加重
11：抗阻平盤
12：螺運機
13：控制箱
A：白米進料口
B：白米出料口

圖13　淨米機示意圖

### 3.3 加濕調質系統

適合碾製的含水率通常高於長期儲藏的含水率。在低含水率時，稻米物性較剛硬，碾製時碎米率會增加及煮飯時米粒裂開，澱粉流出，降低米飯的食味值。

從含水率13%加濕調質到15%時，傳統的白米調質機如圖14 (Satake,1994) ，爲避免胴裂，每小時僅可加濕0.2%。

新式的加壓式調質機如圖15 (Satake,1994) ，在1.2×105 N/m2的加壓調質室內，每小時加濕1到2%的含水率不會引起白米大量的胴裂。在33－37。C 加壓室內停留的時間約20分鐘，含水率從13.5%變成14.6%，碎米率沒有明顯增加。

圖15顯示穀物從上方進入，經過一切換閥，加壓艙加濕，經過下方之切換閥釋出，連結斗升機做成循環迴路，加濕穀物靜置時間爲20分，含水率感測器用來調整每次噴射入艙的水份量。

碾製的糙米硬度受到溫度與濕度的影響，可用下列表示之。爲碾米的品質和食味，理想的硬度範圍爲7到8kgf，溫度爲15－25℃,含水率爲15.5－16.5％(濕基)〔Anonym, 1990〕。

$Z = -0.1X - Y + 25$

Z：糙米的碾製硬度(kgf)

X：糙米的碾製溫度(℃)

Y：糙米的碾製含水率(濕基，％)

白米之吸水率和白米的浸泡時間有關，可由圖16表示之(Anonym, 1990)。

此加濕調質系統不僅減少煮飯時米粒裂開，保留較佳的米飯食味外，也增加稻米的體積及重量，對加工業者而言此項投資之成本可以回收，未來可能是加工業者必備的加工設備。

### 3.4 洗米系統

精米即使經過淨米系統仍有可能糠粉附在米粒表面。視加工與消耗的期限長短，圖17是4種白米儲藏期間，脂肪酸度變化的情形(Yamashita, 1993)。游離脂肪酸產生臭味，洗米機可將附著的糠粉洗掉，避免此問題。

洗米系統如圖18包括清洗、乾燥、選別及包裝作業(Satake, +1994)。圖19爲廢水處理過程，以移除懸浮物和沈澱固形物，讓廢水排入下水道之前合乎環保排放標準。

### 3.5 稻米食味計

稻米食味是一官能值，因爲品種之不同而異。食味計發展用來測定日本人的平均稻米食味值。分析過去許多研究，影響食味的主要因素爲澱粉的結構(直鏈澱粉與支鏈澱粉的比例)，含水率，蛋白質與油脂被氧化的程度〔Satake(1990)；Yamashita(1993)〕、品質指標K可用下式表示之：

$$K = (\text{直鏈澱粉A})^{\alpha} (\text{蛋白質含量P})^{\beta} \left[ (15 + \left| 15 - \text{含水率M} \right| \right]^{\gamma} \left[ \text{脂肪酸度F} \right]^{\delta} \quad \text{.....(1)}$$

Q是一常數用來代表完美的食味分數100，食味測試值T可用下式表示之：

$$T = Q/K^2 \quad \text{...(2)}$$

此處 $\alpha = 1.0$，$\beta = 0.3$，$= 0.75$，$= 0.1$　在式(1)。

例如，A＝17.5％，P＝5.55％，M＝15％和F＝5％，稻米食味值T爲100是最大的理想值。

官能測試食味值與化學分析之計算食味值之關係可用圖20表示。其相關係數爲0.9452，迴歸方程式可用下式表示之：

$$Y_1 = 25.26X1 + 65.02$$

此處$Y_1$：化學分析計算之食味值

$X_1$：官能測試食味值

式(1)和(2)之K,T值用測定值代入較大的誤差，經修改之後，目前用下式(4)和(5)估算，K、T值，改爲K'、T'：

$$K' = 5.950 \times 10\text{-}3M - 0.1845M + 2.433 \quad \cdots\cdots(4)$$

$$T' = 5 \times 106 / (A \cdot P0.3 \times 7.622K')^2 \quad \cdots\cdots(5)$$

#### 3.5.1 用近紅外線光譜儀測定化學成份

(1)直鏈澱粉的含量

直鏈澱粉用Technicon Analyzer之結果與用化學分析的結果之迴歸方程式與相關係數如

圖21，直鏈澱粉適用範圍從17.5％到22.9％。利用多變數迴歸分析，直鏈澱粉含量A可用下列表示之：

$A = F_{00} + F_{21}\Sigma$ (Kimi) ……(6)

$A = 12.52 + 4934m_1 - 2601m_4 - 4681m_6 + 1457m_7 + 1093m_{10}$ ……(7)

此處 $F_{00}$：Bias (截距)

$F_{21}$：skew (斜率)

$K_i$：每一光譜過濾器之常數。

$m_i$：每一光譜過濾器之吸收率。

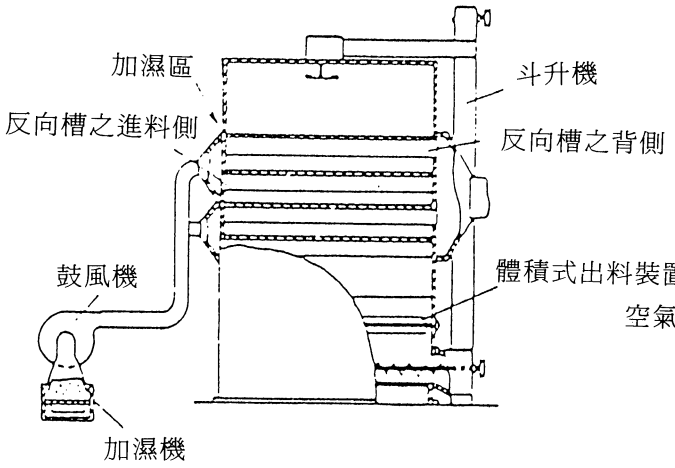



圖14 傳統式的加濕調質機

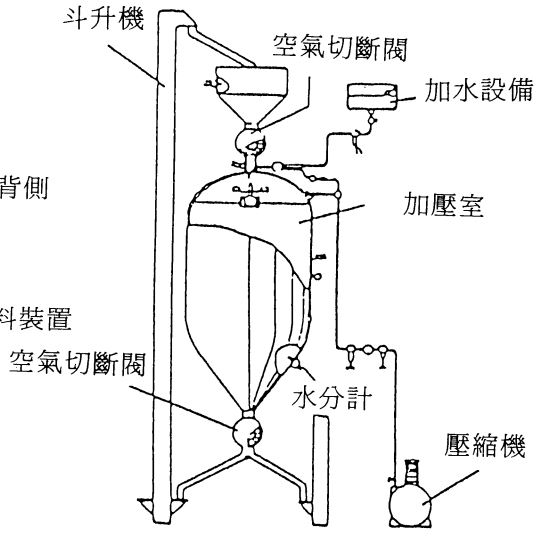



圖15 加壓式調質機

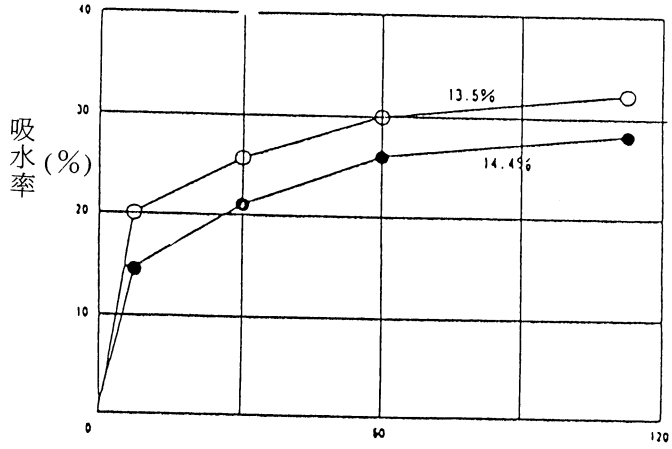



圖16 不同含水率白米在不同浸泡時間之吸水率

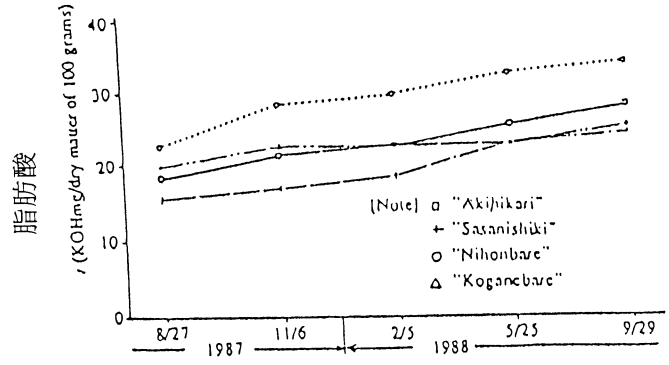



圖17 脂肪酸隨著貯藏期而改變之情形

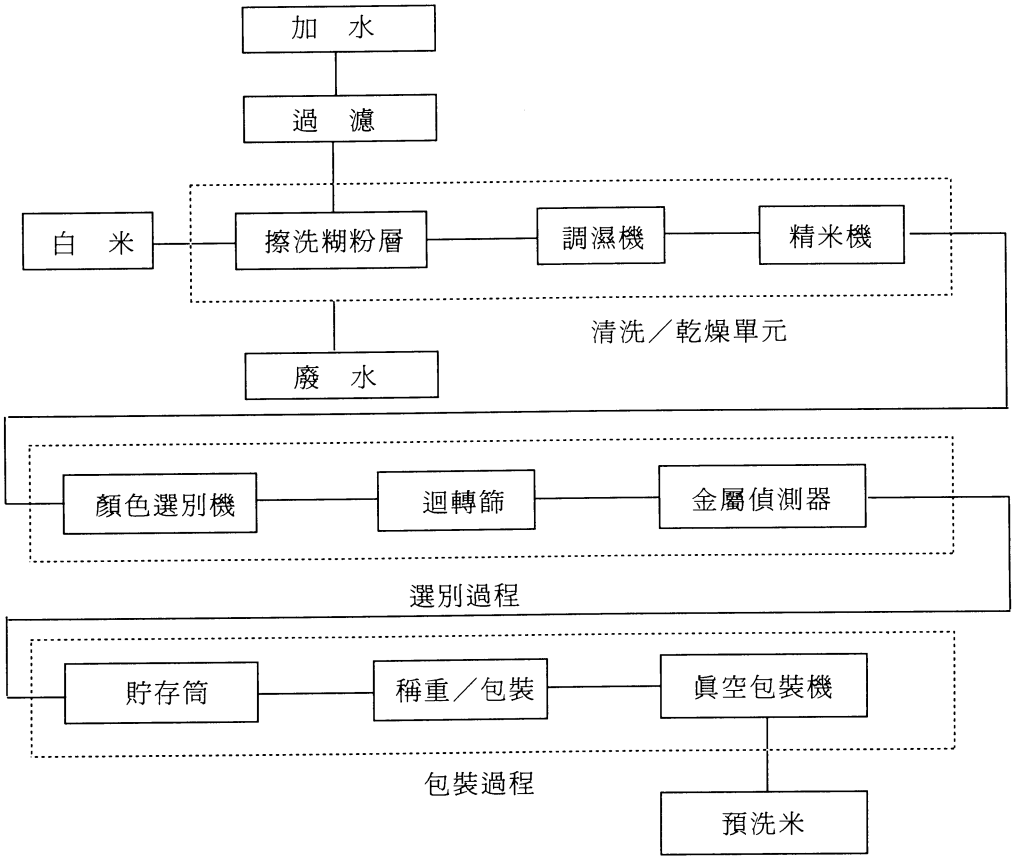



圖18 Satake 之洗米系統

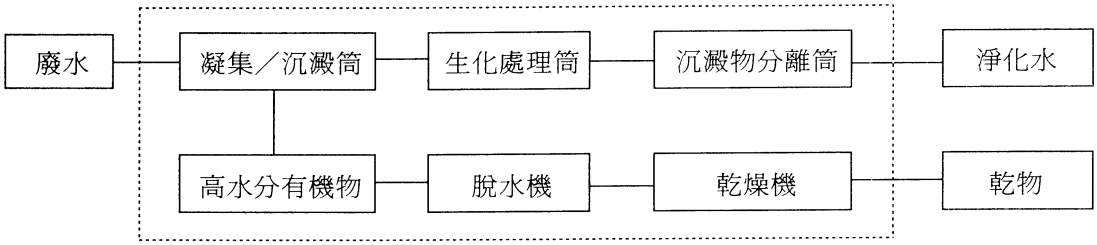



圖19　洗米系統之廢水處理過程

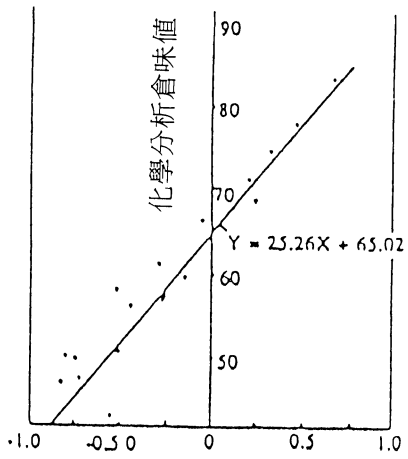



圖20 官能試驗與化學分析食味值之關係

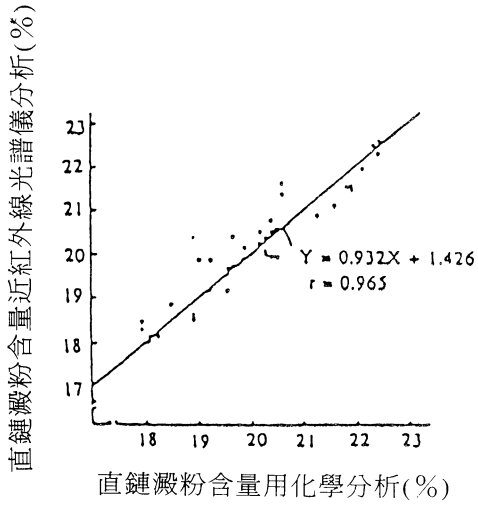



圖21 直鏈澱粉含量用化學分析與近紅外線光譜儀分析之關係

⑵蛋白質含量

蛋白質含量(P)利用化學分析與近紅外線分析之關係，相關係數爲0.958，其迴歸方程式參看圖22。利用近紅外線分析，蛋白質含量可用下式代表之：

$$P = 3.004 + 12.33F_1 + 1335.9F_2 + 13.73F_3 + 188.2F_5 - 314.8F_7 - 9.758F_8 \quad \cdots(8)$$

此處　Fi：與每一濾光器之吸收率有關。

圖23爲 3 個不同儀器公司之儀器測定值與化學分析值之比較；蛋白質含量從5.6％到7.7％，化學分析值與每一公司儀器之測定值相關係數超過0.95和在1％的顯著水平。

⑶含水率

標準方法是用 5 公克的研碎樣品在105℃溫度乾燥5小時，此方法測定的含水率與用近紅外線測定之相關係數爲0.916，其迴歸方程式參看圖24。

用近紅外線光譜分析之含水率可用下列式子表示：

$$M = -2.932 + 481.3F_1 - 604.0F_2 - 1374F_3 + 1112F_4 + 374.8F_5 - 668.6F_6 + 311.5F_7 + 92.08F_8 + 753.2F_9 - 88.32F_{10} \quad \cdots\cdots(9)$$

此處$F_i$：每一光譜過濾器之吸收率

M：含水率，%(濕基)

⑷脂肪酸

化學分析法是用氫氧化鉀(KOH)中和脂肪酸之值，圖25爲化學分析與用近紅外線光譜分析結果之相關係數(r＝0.956)及迴歸方程式。用近紅外線分析之脂肪酸(F)可用下列式中代表之：

$$F = 67.85 - 5026F_1 + 2017F_2 - 3614F_3 + 6121F_5 + 506.7F_7 + 10.08F_8 \quad \cdots\cdots(10)$$

圖17與24說明脂肪酸與官能試驗食味值，隨著貯藏和品種而變，貯藏期增加，脂肪酸增加，食味值下降。

⑸用儀器分析食味值

圖20是官能食味值與化學分析食味值之關係。把上述儀器分析值代入式(1)和計算指數$\alpha$、$\beta$、$\gamma$和$\delta$，圖27表示以儀器及官能分析食味值的關係。式(11)是食味值用儀器與化學分析之關係式：

$$Y_2 = 25.78X_2 + 65.16 \quad \cdots\cdots\cdots(11)$$

$X_2$：官能食味值

$Y_2$：儀器分析食味值

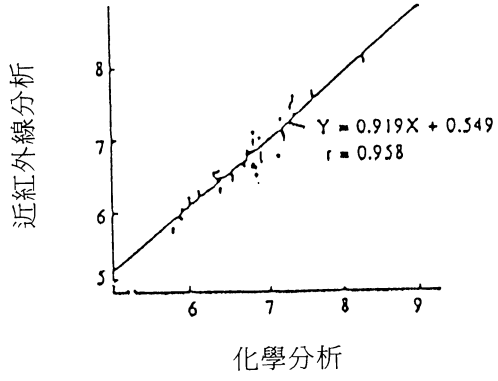



圖22 蛋白質含量利用化學分析與近紅外線光譜儀分析之關係

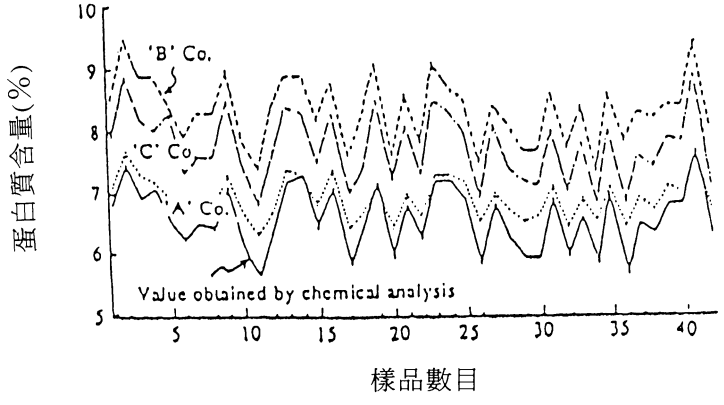



圖23 比較三個不同的儀器蛋白質的之測定值與化學分析之差異

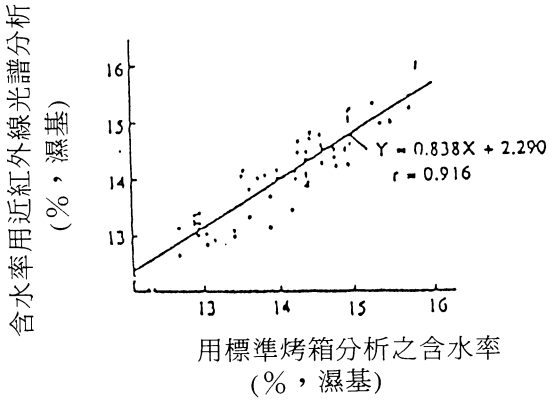



圖24　含水率用近紅外線光譜分析與用標準烤箱分析結果之關係

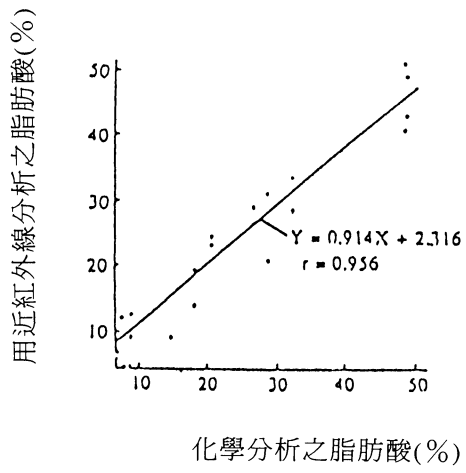



圖25　用近紅外線分析與化學分析之脂肪酸關係圖

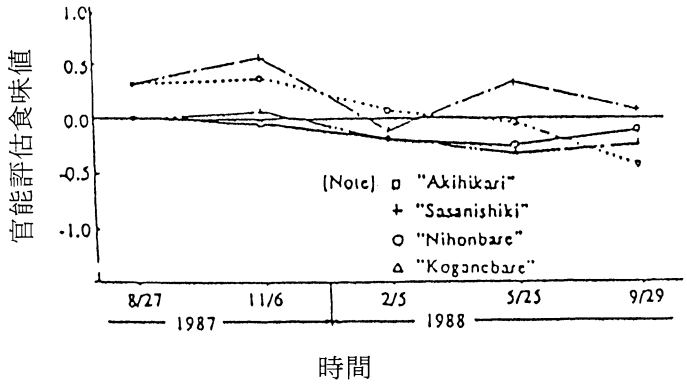



圖26　官能評估食味值隨貯藏期改變之情形

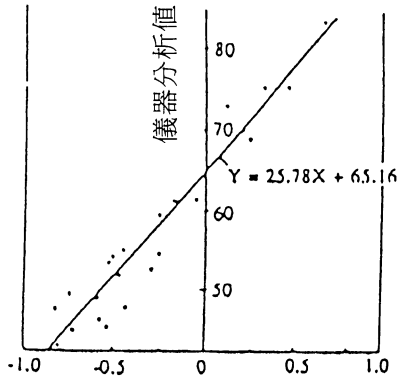



圖27　用標準官能食味值與儀器分析值之關係

3.5.2 稻米食味計之組成

圖28是稻米食味計之組成，包括精米機、粉碎機、恒溫箱、近紅外線光譜分析儀，換算化學成份的方程式，分析電腦，決定食味值的方程式，列印或顯示食味值。

稻米的化學組成分子被近紅外線激發之光譜吸收率，由近紅外線光譜分析儀收集的資料，換算化學成份之方程式，和食味值決定方程式，經由電腦分析，顯示或列印食味值。樣品處理單元目標不僅使粉碎顆粒大小一致，而且確認加工的條件一致。

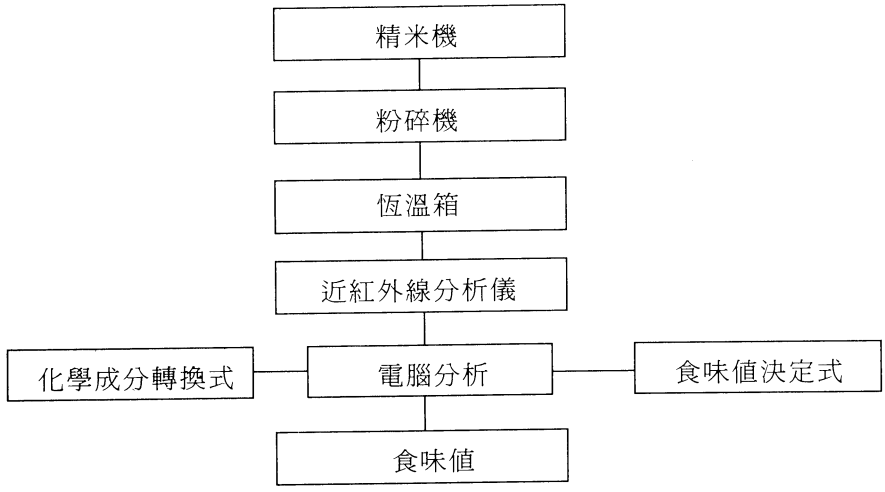
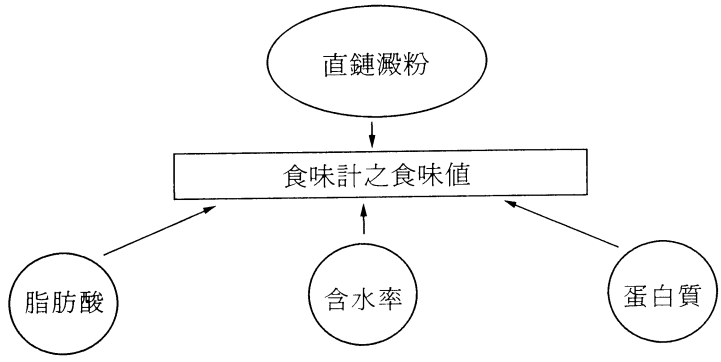



圖28 稻米食味計之組成

3.5.3 影響食味值的因素

前述影響食味值的因素爲直鏈澱粉含量、蛋白質含量、水份率、和脂肪酸度，但稻米的狀況、成熟度、乾燥與貯藏的情形、煮飯前的含水率均影響食味值參看圖29。




影響食味值的因素：

稻米的型式－稻穀、糙米、白米、淨米

成 熟 度－成穗後之天數　稻米的厚度

乾燥儲藏之條件－含水率　溫濕度

煮沸時的含水率－品質調整劑15-16％含水率（濕基）

圖29 影響食味值的因素

目前國內有關的研究有劉與蕭 (1995) 、彭 (1995) 、陳 (1995) 等陸續發表於相關的研究報告或專輯。

## 參考文獻


1.洪梅珠、許愛娜、宋勳。1994。台灣的稻米品質。稻米加工自動化專輯第一冊稻米品質之檢驗及加工。行政院農業委員會稻米加工自動化技術服務團。

2.黃朝松。1993。低溫乾燥對良質米品質之影響。碩士論文，中興大學農機所。

3.陳一心。1995。近紅外光分析儀在省產稻米成分分析應用現況。第6章於第二冊穀物非破壞性檢驗。行政院農業委員會稻米加工自動化技術服務團。

4.陳貽倫。1981。稻穀胴裂與碾米損失。中國農業工程學報27 (1)：40-48。

5.陳貽倫。1983。稻穀之吸濕、胴裂、與碎米。中國農業工程學報29 (2)：24-35。

6.陳貽倫。1993a。乾燥條件對稻穀碾米率之影響。農業機械學刊2 (1)：23～30。

7.陳貽倫。1993b。循環乾燥模式中之稻穀減乾率、碾整率與乾燥熱效率。農業機械學刊2(3)：1-10。

8.彭智平。1995。以近紅外線分光度計測定影響稻米食味之主要成分。碩士論文。台大農機所

9.劉民卿。蕭介宗。1995。以近紅外線分光度計偵測稻米的含水率及蛋白質含量。農業機械學刊4(3)：1-14。

10.蕭介宗、周瑞仁、歐陽又新、彭智平、陳怡仁。1994。自動化水稻收穫後系統之發展。農業機械學刊3(1)：67-73。

11.蕭介宗。1995。乾燥機械。農作篇(一)253－254頁。台灣農家便覽。財團法人豐年社。

12.蕭介宗編著。1994。農產品儲運機械講義。台大農機系。

13.蕭介宗、張漢聖、賈精石。1994。鋼皮圓筒倉多用途之研究(II)乾燥高粱及玉米之結果。農業工程學報40(2)：18-32。

14.盧福明。1993。稻穀乾燥機的種類與構造。台灣農業機械8(6)：1-6。

15.Anonym。1990。Modern rice milling technology。Satake Engineering Co.Ltd,Tokyo,Japan.

16.Brooker, D.B., F.W. Bakker-Arkema, and C.W. Hall. 1992. Drying and storage of grains and oilseeds. Van Nostrand Reinhold, New York.

17.Calderwood O.L. and B. O. Webb, 1971. Effect of the method of dryer operation on performance and on the milling and cooking characteristics of rice. Transaction of the ASAE 14(1):142-146.

18.Juliano, B.O., 1985. Rice: chemistry and technology. AACC, St. Paul, Minnesota, USA.

19.Luh, B.S., 1985. Rice: production and utilization, AVI Publishing Company, Westport, Connecticut, USA.

20.Phillips, S.,S. Widjaja, A. Wallbridge, and R. Cooke.1988. Rice yellowing during post-harvest drying by aeration and during storage. J. Stored Prod. Res. 24(3):173-181.

21.Satake, T. 1990. Studies on modern rice milling technology, Tokyo University Shuppankai.

22.Satake, R.S., 1994. New methods and equipment for processing rice. Chapter 11 in Rice science

and technology ed. by Marshall and Wadsworth, Marcel Dekker, Inc. Hong Kong.

23.Tangonan,R.G.and V.K.Jindal. The rate of respiration of rough rice in Improvement of post-harvest facilities system,the Southeast Aisa Cooprative Post-harvest Reserch and Development Programme, Searca, College,Laguna,Philippines 3720.

24.Yamashita, R. 1993. New technology in grain postharvesting. Farm Machinery Industrial Research Corp. Takyo 101, Japan.