

利用累積生育度數估測水稻品質及收穫適期¹

李杏芳、羅正宗、陳榮坤²

摘 要

李杏芳、羅正宗、陳榮坤。2021。利用累積生育度數估測水稻收穫適期。臺南區農業改良場研究彙報 77：1-12。

水稻傳統以計算插秧或移植後天數來決定施肥及收穫的時間點，但其發育情形往往因品種、氣候等因素而有所改變，以插秧後天數無法精準代表生育期。根據研究指出生育度數 (Growing Degree Days, GDD) 對作物生長發育的相關性可達 95%。本研究藉由抽穗後不同收穫時期的生育度數與糙米外觀品質的變化，探討水稻主要栽培品種「臺南 11 號」、「臺南 16 號」及「臺中秈 10 號」之最適收穫時期。試驗結果顯示，此三品種隨著抽穗後生育度數增加，其糙米完整米率有隨之增加的趨勢，後期胴裂粒率增加，導致糙米的完整米率下降。根據抽穗後生育度數與糙米的完整米率之結果，得到其回歸模式，由此模式顯示一期作「臺南 11 號」、「臺南 16 號」及「臺中秈 10 號」分別於抽穗後生育度數 733 度日、671 度日及 649 度日為最佳收穫時期；二期作分別於抽穗後生育度數 718 度日、785 度日及 613 度日為最佳收穫時期。過早收穫未熟粒率高，適時收穫才能獲取最高糙米完整米率，獲得最佳稻穀品質。

現有技術：現行臺灣水稻收穫時期判斷主要採計算生育日數及穀粒外觀判斷為主。

創新內容：利用水稻栽培品種「臺南 11 號」、「臺南 16 號」及「臺中秈 10 號」不同收穫時期糙米外觀品質之變化及累積生育度數，以判斷最佳收穫時期。

對產業影響：以生育度數判斷水稻「臺南 11 號」、「臺南 16 號」及「臺中秈 10 號」最佳收穫期，以獲取最佳稻穀品質。

關鍵字：生育度數、未熟粒率、胴裂粒率、乾物重、收穫適期

接受日期：2021 年 6 月 8 日

1. 行政院農業委員會臺南區農業改良場研究報告第 530 號。

2. 行政院農業委員會臺南區農業改良場助理研究員、農糧署南區分署分署長、臺南區農業改良場副研究員兼嘉義分場分場長。712 臺南市新化區牧場 70 號。

前 言

水稻是臺灣最大宗的農作物，據農糧署統計，109 年水稻種植面積達 27 萬公頃，占所有短期作物的 56% 以上；為確保糧食生產質量，適時的收穫才能確保稻穀的產量及碾米品質。稻農常因擔心靈雨、颱風、豪雨等氣候影響，為避免受災導致損失而選擇搶收，不但容易造成聯合收穫機競搶、缺工現象，也因會提早收穫導致未熟粒率及穀粒水分含量過高，烘乾時間變長，導致收購價格降低，農民收益減少。此外，根據農糧署公糧稻穀驗收標準，以及糙米國家標準 (CNS)，三等米之規格的未熟粒不得超過糙米總重 20%，未熟粒是指未成熟或發育不良之整粒及碎粒，包括白粉質粒、青米粒。農民青割搶收，會因為未熟粒率過高，而無法達到公糧收購標準，得不償失。

稻穀的碾米品質主要是由碾糙率、白米率及完整米率所決定⁽⁶⁾。當稻米的完整米率高時，外觀整齊劃一，烹煮後口感均勻，較受消費者青睞，因此完整米率的高低是決定稻米商品價值的主要因素。提高碾糙率、降低碎米率即是確保完整米率的兩個主要方向。影響碾糙率的因子很多，除了因品種本身特性如米粒長短、形狀及稻殼之厚薄等，亦受外在因素影響，如氮肥施用量、稻穀成熟期的溫度、收穫時期、收穫後乾燥、儲存及加工方法^(6,8,9,20)等。碎米粒的產生常是起因於有裂縫或稱之為胴裂的穀粒，在碾除穀殼或磨除糠層的過程中受力破碎而形成碎米，胴裂情況可歸類為三種，即單一的橫斷、多條的橫斷、經度的或不規則的（有或沒有橫斷）裂縫，因此胴裂率被視為判斷稻米品質的指標之一。在日本，分別發現具有抗胴裂的稈稻與秈稻，且此為可遺傳之性狀⁽²⁵⁾，因此，育種家利用晚收穫、過度乾燥或是反覆乾燥-吸水等方法⁽¹⁶⁾，促進胴裂發生，進而選育出抗胴裂的品種。

根據 Russelle 等人的研究指出生育度數 (Growing Degree Days, GDD) 對作物生長發育的相關性可達 95%⁽²⁴⁾，以生育度數來預估作物生育期及生長狀況，較傳統生育日數法，準確性更高，現今已被廣泛應用⁽⁷⁾。本試驗以收穫時相對應之生育度數代表不同成熟時期，探討抽穗後不同成熟時期與糙米之完整米率的關係，作為判斷收穫適期之參考。

材料與方法

一、試驗材料與地點

本研究於臺南區農業改良場嘉義分場試驗田區進行試驗，本試驗自 107 年二期作至 108 年一期作，共進行 2 個期作。以「臺南 11 號」(TN11)、「臺南 16 號」(TN16) 及「臺中秈 10 號」(TCS10) 為試驗材料，插秧日期請參見 (表 1)。

二、田區設計

各期作田間試驗皆採完全隨機設計 (Completely Randomized Design, CRD)，三重複，每試區面積為 540 × 360 公分，栽植密度為 30 × 15 公分，四周保護行為 5 行，每 4 株 (2 × 2 排列) 為一取樣單位，每個取樣單位間隔一行及一列作為區隔，每重複有 15 個取樣單位，3 個重複共 45 個取樣單位。

三、調查內容

(一) 生育度數

於分場試驗田區的農業氣象站每日收集最高溫及最低溫等氣象因子之觀測值，

計算抽穗後至收穫期間的累加測值。生育度數 (GDD) 的計算公式如下⁽¹⁹⁾：

$$\sum \left\{ \frac{(T_{\max} + T_{\min})}{2} - T_b \right\}$$

其中 T_{\max} 為每日最高氣溫， T_{\min} 為每日最低氣溫， T_b 為生長發育臨界溫度，當溫度低於 T_b 時，作物生長發育停止，本試驗依據 Nagata 等人的研究設定水稻的臨界溫度為 10°C ⁽²¹⁾。計算抽穗後至收穫期間的累加值，即為該時段的生育度數。

(二) 抽穗期調查

抽穗是指穎花之稃尖露出劍葉鞘的時期或狀態，分蘗長出可以充實的稻穗，可作為產量構成因素之一者，稱為有效分蘗，分蘗不能長出穗或出穗不良者，稱為無效分蘗。當 50% 的有效分蘗已抽穗，即為該取樣單位的抽穗期，分別調查每個取樣單位之抽穗期。各品種之抽穗期請參見 (表 1)。

(三) 稻穀水分含量

自抽穗後 20 天起，每隔 1 ~ 3 天以人力割取 3 個取樣單位，逢機取穀粒 30 粒，以米麥單粒水分計 (model PQ-520, Kett Co., Japan) 量測濕穀之水分含量。

(四) 稻穀乾物重

收穫後之稻穗置入循環式烘箱 (正上儀器)，以 42°C 烘乾至稻穀水分含量為 13 ~ 14%。脫粒風選後隨機取 1,000 粒，利用烘箱以 80°C 烘乾 48 小時，秤重測得稻穀乾物重。

(五) 碾糙率

碾糙是指將稻穀的穀殼脫除後獲得糙米的過程，碾糙率是指糙米占稻穀重量的百分比，故分別將脫粒風選後之穀粒及碾製後之糙米秤重，計算之。碾糙率計算公式如下：

$$\frac{\text{糙米重}}{\text{稻穀重}} \times 100\%$$

(六) 未熟粒率

未熟粒率是指未熟粒重占糙米重量的百分比。未熟粒係未成熟或發育不良之整粒及碎粒，包括白粉質粒、青米粒。以人工去除碎米粒、未熟粒並分別秤重，計算其比率。未熟粒率計算公式如下：

$$\frac{\text{未熟粒重}}{\text{糙米重}} \times 100\%$$

(七) 胴裂粒率

胴裂粒率是指胴裂粒數占糙米粒數的百分比。隨機取 200 粒糙米，以糯米、白米、糙米米粒透視器 (model TX-300, Kett Co., Japan, 金震興代理) 目視判斷，胴裂粒之鑑定標準是要在米粒胚乳上有斷裂紋，且斷裂紋完全橫斷者，判定為胴裂粒，若裂紋未完全橫斷者，則不計為胴裂粒。胴裂粒率計算公式如下：

$$\frac{\text{胴裂粒數}}{\text{糙米粒數}} \times 100\%$$

(八) 糙米的完整米率

糙米的完整米率是指去除未熟粒及胴裂粒後，所得之完整糙米占糙米的百分比。計算糙米的完整米率，並進行回歸分析。糙米的完整米率計算公式如下：

$$\frac{\text{完整糙米重}}{\text{糙米粒重}} \times 100\%$$

表 1. 「臺南 11 號」、「臺南 16 號」及「臺中秈 10 號」在兩期作之插秧日期及插秧後之抽穗日數

Table 1. Transplanting date and days to heading of TN11, TN16 and TCS10 in two-cropping season.

Variety	TN11		TN16		TCS10	
Cropping season	I	II	I	II	I	II
Transplanting date	Jan. 25	Aug. 3	Jan. 29	Aug. 8	Feb. 22	Aug. 1
Days to heading	92	77	84	70	88	69

四、統計分析

本試驗資料利用 R 軟體 (R 3.6.3) 進行回歸分析並繪圖，建立回歸模型，推估資料。

結果與討論

一、抽穗後之氣溫變化

水稻抽穗後的氣溫變化與稻米品質息息相關，研究指出充實期日均溫過高，容易造成水稻最主要的供源葉片—劍葉，及穎果果皮葉綠素快速降解，導致光合作用效能降低。此外，高溫也促進了穎果內活化氧族中的過氧化氫 (H₂O₂) 大量生成，導致細胞膜脂質過氧化反應，進一步加速穎果 DNA 的分解及細胞死亡，這些生理反應干擾了水稻最終產物—澱粉及儲藏性蛋白質的合成與累積，最終導致充實不良，穗重及糙米乾物重下降；稻米外觀則產生嚴重的白垩質或胴裂，使得完整米率降低，死米比率增高，影響稻米品質⁽¹²⁾。高溫對稈型品種的生理傷害明顯比對秈型品種嚴重⁽¹⁷⁾。

水稻秧苗對低溫抵抗力較弱，若遭遇生長臨界溫度 10°C 以下的低溫，會出現葉片黃化、生長遲滯及分蘖減少等現象，依據低溫程度及持續時間的不同，有不同影響程度，嚴重者甚至會萎凋死亡⁽¹⁾。秈稻秧苗的耐寒性較稈稻差^(14,15)，一期作秈稻要避免早植，故一期作試驗中，「臺中秈 10 號」較「臺南 11 號」與「臺南 16 號」晚植 3~4 週(表 1)。

本試驗期間水稻抽穗後之日均溫，及「臺南 11 號」、「臺南 16 號」、「臺中秈 10 號」抽穗後生育度數如圖 1 所示，一期作日均溫隨生育進展逐漸上升，五月初持續一週日均溫低於 25°C，此時，「臺南 11 號」處於抽穗後 3~10 天，「臺南 16 號」處於抽穗後 7~17 天，「臺中秈 10 號」則尚未抽穗，而在穀粒充實後期的日均溫介於 25~30°C。二期作日均溫逐漸下降，穀粒充實後期的日均溫介於 20~25°C。兩期作所處氣候環境明顯不同，一期作顯然較二期作處於高溫的環境下。根據前人研究指出⁽²⁾，一期作穀粒充

實期溫度逐漸升高，稈稻授粉後，乾物質累積的有效充實期約為 11 ~ 13 天；二期作溫度逐漸變低，有效充實期延長為 16 天，直線充實速率二期作低於一期作，一期作有效充實期比二期作短，故兩期作分別進行各項比較分析。

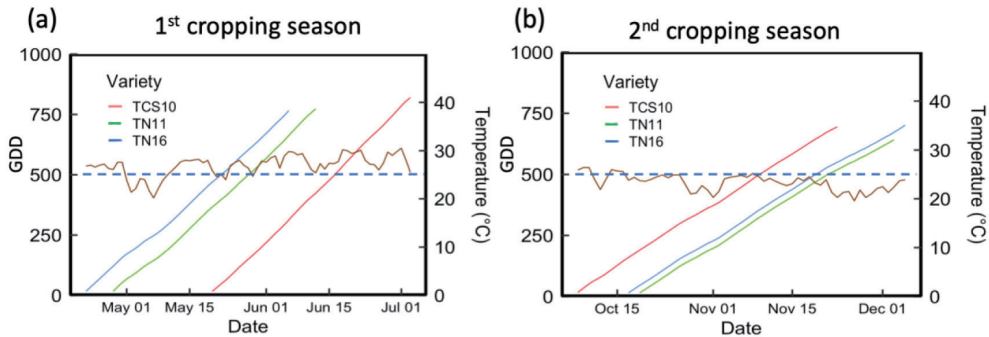


圖 1. 水稻「臺南 11 號」、「臺南 16 號」、「臺中秈 10 號」於一期作 (a) 及二期作 (b) 之抽穗後生育度數及日均溫，藍色虛線為日均溫 25°C

Fig. 1. The growing degree days (GDD) and daily mean air temperature of TN11, TN16 and TCS10 after heading in 1st cropping season (a) and 2nd cropping season (b). The blue dash line indicated daily temperature 25°C

二、不同收穫期下的穀粒充實變化

為了解不同收穫期下穀粒充實之變化，所以在抽穗後 20 天起，每隔 1 ~ 3 天進行收穫調製，比較不同收穫期與穀粒水分含量 (moisture content)、穀粒乾物重 (dry weights of grains)、碾糙率 (brown rice rate) 之變化趨勢。

(一) 穀粒水分含量

雨天收穫之稻穀受降雨影響，水分含量高於晴天，故排除雨天收穫之數據。抽穗 20 天後，隨著生育度數的增加，收穫稻穀之水分含量有逐漸下降之趨勢，兩期作的「臺南 11 號」、「臺南 16 號」及「臺中秈 10 號」之穀粒水分含量與生育度數之間呈現線性負相關 (圖 2a 及圖 2d)。「臺南 11 號」與「臺南 16 號」在一期作的線性斜率數值一致，在二期作時，兩品種線性斜率數值亦相近，表示兩品種雖然抽穗日期不同，但穀粒水分含量減少速度相同。「臺中秈 10 號」在兩期作的線性斜率數值明顯比「臺南 11 號」與「臺南 16 號」高，這顯示「臺中秈 10 號」在田間穀粒水分含量減少速度較「臺南 11 號」與「臺南 16 號」快。

(二) 穀粒乾物重

抽穗後 20 天，一期作與二期作之穀粒乾物重，隨著生育度數的增加，初期有逐漸上升之趨勢，後期隨著生育度數的增加，穀粒乾物重增加趨於平穩 (圖 2b 及圖 2e)。不同期作間比較，可看出三品種在一期作之穀粒乾物重高於二期作。「臺南 11 號」與「臺南 16 號」穀粒乾物重的上升趨勢相近，「臺南 11 號」穀粒乾物重高於「臺南 16 號」，而「臺中秈 10 號」之穀粒充實初期，乾物重高於「臺南 11 號」與「臺南 16 號」，後期上升較平緩，這表示早在試驗開始調查前，「臺中秈 10 號」穀粒乾物質已開始快速累積，抽穗後 20 天，穀粒乾物質累積已趨於平緩。

水稻穀粒充實最主要端看澱粉累積，澱粉種類又依葡萄糖鍵結方向不同分為

直鏈澱粉與支鏈澱粉，直鏈澱粉是各葡萄糖單體主要以 α (1 → 4) 糖苷鍵連接，每個直鏈澱粉分子通常含有數千個葡萄糖單體。支鏈澱粉除了有 α -1,4- 糖苷鍵連接成一直鏈，此直鏈上又可通過 α -1,6- 糖苷鍵形成側鏈，在側鏈上又會出現另一個分支側鏈，形成樹枝狀分支結構的多醣。根據 Nagato 等人的研究指出⁽²²⁾，在穀粒充實初期，秈稻品種不論在胚乳細胞增殖或是澱粉粒累積速度均高於稈稻品種，且秈稻品種比稈稻品種更早達到穀粒成熟階段，此與本試驗結果相符，「臺中秈 10 號」在穀粒充實初期，乾物重高於「臺南 11 號」與「臺南 16 號」。更有相關研究證明⁽¹⁸⁾，秈稻穀粒澱粉累積速率高於稈稻，主要是因為秈稻的支鏈澱粉合成相關酵素活性，在授粉後 10 天最高，支鏈澱粉合成相關基因表現量更是稈稻的數倍高，之後逐漸下降；在授粉後 4 ~ 13 天，稈稻支鏈澱粉合成相關基因表現量緩緩上升，但表現量均低於秈稻，證明秈稻澱粉累積速度高於稈稻主要是因秈稻支鏈澱粉大量合成，本實驗「臺中秈 10 號」在試驗調查初期穀粒乾物重高於「臺南 11 號」與「臺南 16 號」，之後乾物重增加緩慢，很有可能是因為「臺中秈 10 號」在授粉後 10 天支鏈澱粉合成相關酵素活性高，穀粒乾物質中支鏈澱粉快速累積。

(三) 碾糙率

一期作與二期作之碾糙率隨著抽穗後生育度數的增加，初期有逐漸上升之趨勢，後期隨著生育度數的增加，碾糙率趨於平穩(圖 2c 及圖 2f)。「臺南 11 號」與「臺南 16 號」碾糙率的上升趨勢相近，「臺中秈 10 號」之碾糙率上升較平緩。由不同品種間進行比較，「臺中秈 10 號」碾糙率略低於稈型的「臺南 11 號」與「臺南 16 號」，主要是因秈穀粒型的緣故，秈稻細長的粒形碾糙率較低⁽⁵⁾。而不同品種的稈稻，也會因品種本身具有的特性如米粒形狀、稻殼厚薄，其碾糙率亦不同。此外，諸如稻穀成熟期的溫度、氮肥施用量、收穫時期、稻穀乾燥、儲存及加工方法等不同，亦會影響碾糙率^(6,8,9,20)。

三、不同收穫期對糙米品質的影響

為了解不同收穫期對糙米品質之影響，故前述碾糙後所得之糙米，繼續比較不同收穫期與未熟粒率 (immature kernels rate)、胴裂率 (cracking rate) 及糙米的完整米率 (head brown rice rate) 之關係。

(一) 未熟粒率

一期作與二期作之穀粒未熟粒率隨著抽穗後生育度數的增加，有逐漸下降之趨勢(圖 3a 及圖 3d)。青米粒或未成熟粒的成因有很多，主要是因過早收穫，或因栽培管理的緣故，導致成熟期不一致，例如：插秧過深抑制下節位分蘖，曬田過晚導致分蘖時間延長，造成抽穗不整齊、施用之穗肥氮素比例過高等⁽¹³⁾。低於 20/15°C 之日 / 夜溫可明顯造成未熟粒、青米粒、青死米粒及畸型粒比率的增加⁽⁹⁾。

隨著抽穗後生育度數的增加，一期作與二期作之穀粒充實前期，穀粒未熟粒率有逐漸下降之趨勢(圖 3a 及圖 3d)。在相同生育度數下，「臺中秈 10 號」的未熟粒率較「臺南 11 號」與「臺南 16 號」低，兩期作均有相同結果，與前述「臺中秈 10 號」之穀粒乾物質累積較快，導致其未熟粒率較「臺南 11 號」與「臺南 16 號」低有關。

依照 CNS 糙米國家標準，三等米的未熟粒率需低於 20%，一期作「臺南 11 號」、「臺南 16 號」及「臺中秈 10 號」此時的抽穗後生育度數分別為 623 度日、

618 度日及 483 度日，此時，分別相當於抽穗後 35、35 及 25 天。二期作「臺南 11 號」、「臺南 16 號」及「臺中秈 10 號」此時的抽穗後生育度數分別為 572 度日、599 度日及 461 度日，此時，分別相當於抽穗後 40、42 及 31 天。

(二) 胴裂率

隨著抽穗後生育度數的增加，一期作與二期作穀粒胴裂率有逐漸上升之趨勢。兩期作間做比較，在相同生育度數下，一期作的胴裂率明顯比二期作高，「臺中秈 10 號」在二期作胴裂率趨近於零 (圖 3b 及圖 3e)。

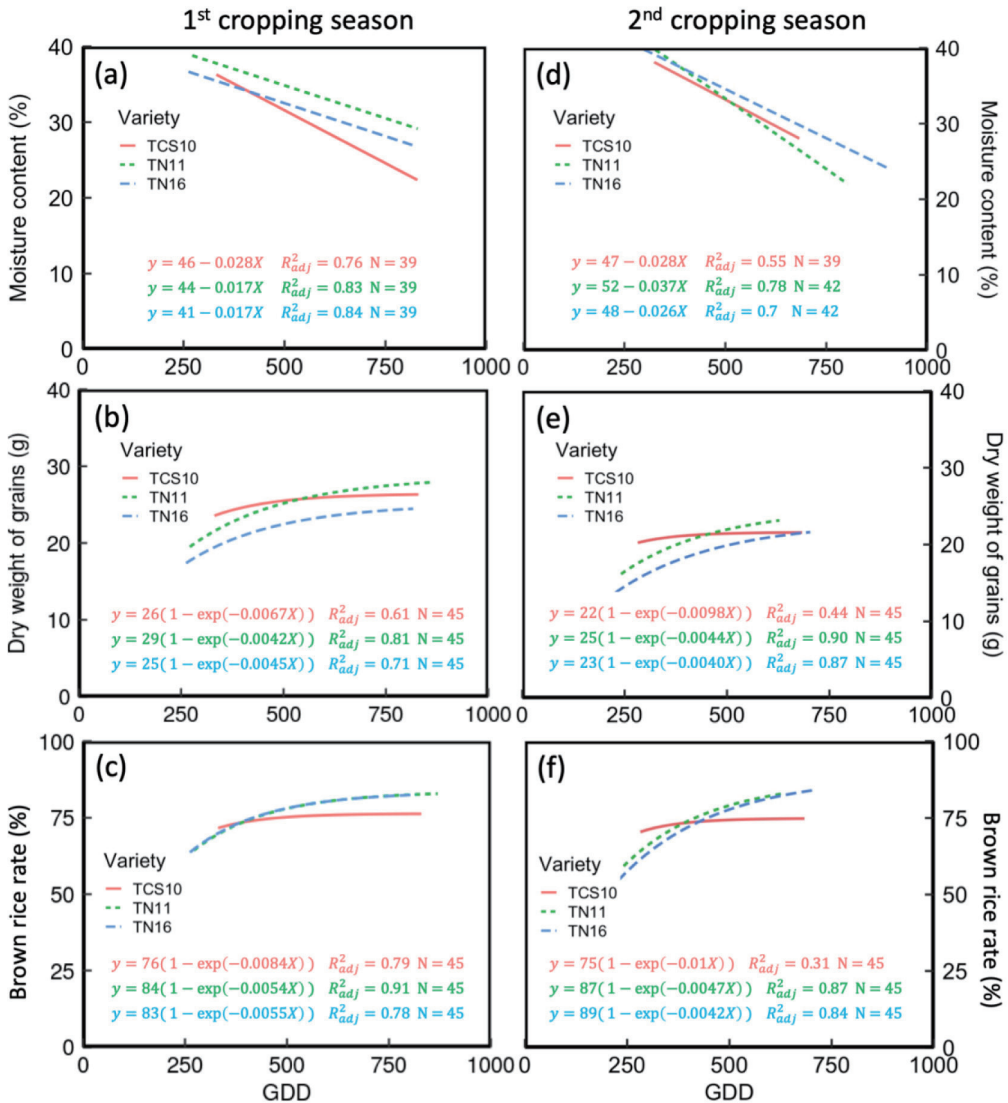


圖 2. 抽穗 20 天後之生育度數與稻穀水分含量 (a 及 d)、穀粒乾物重 (b 及 e) 及碾糙率 (c 及 f) 之關係

Fig. 2. Correlations between moisture content (a and d), dry weights of grains (b and e), and brown rice rate (c and f) in different growing degree days (GDD) during 20 days after heading

穀粒充實期的天氣因素，如下雨、焚風及高溫，導致越晚收成的稻作越容易出現胴裂米。日本有研究指出，日高溫超過 28°C，即可明顯導致胴裂率的增加⁽¹⁹⁾。成熟稻穀收穫時遭遇降雨，因穀粒水分含量變化大，也會提高胴裂粒的比率。而一期作穀粒充實期（五、六月）之日高溫低於 28°C，108 年只有 7 天，且分布在 5 月 1 日至 5 月 8 日期間，此時「臺中秈 10 號」尚未抽穗，「臺南 11 號」及「臺南 16 號」尚處於充實初期。充實期遇高溫，使得一期作胴裂率比二期作高，這與前人試驗所得之結果一致⁽¹¹⁾。此外，根據研究指出，長粒型的秈稻胴裂率較寬厚的秈稻低⁽¹⁰⁾，若以不同品種的秈稻作比較，可發現厚度薄的秈稻品種胴裂率較低⁽²⁵⁾。本研究結果亦顯示「臺中秈 10 號」胴裂率比「臺南 11 號」及「臺南 16 號」低。

此外，收穫後稻穀水分含量變化太快或變化過劇，也容易造成胴裂發生，例如稻穀以高溫烘乾方式急速乾燥、乾燥後稻穀含水率低於 12%，乾燥後快速吸濕等情形，均會使胴裂粒增加^(3,4)。提早收穫稻穀水分含量高，烘乾時間延長或儲存過程中也會因吸濕，導致規則的橫向胴裂。在栽培管理上，若在幼穗分化及抽穗期施以適當的肥培管理，可有效減少胴裂粒的發生⁽²²⁾。

(三) 糙米的完整米率

去除穀殼、碎米、未熟粒及胴裂粒之後，即為完整糙米。隨著抽穗後生育度數的增加，糙米的完整米率有逐漸上升之趨勢，後期隨著生育度數的增加，糙米的完整米率逐漸下降。前期糙米的完整米率上升主要是因未熟粒率快速降低，而後期糙米的完整米率下降主要是因胴裂率逐漸上升，使得碎米增加（圖 3c 及圖 3f）。「臺中秈 10 號」與「臺南 11 號」在一期作與二期作的表現一致，「臺南 16 號」在二期作糙米完整米率較一期作高，主要是因「臺南 16 號」在二期作胴裂率較低，致使糙米完整米率較高。

由回歸分析的結果推估糙米的完整米率，一期作「臺南 11 號」、「臺南 16 號」及「臺中秈 10 號」分別於抽穗後生育度數 733 度日、671 度日及 649 度日為最佳收穫時期，此時，分別相當於抽穗後 40、38 及 34 天。二期作「臺南 11 號」、「臺南 16 號」及「臺中秈 10 號」分別於抽穗後生育度數 718 度日、785 度日及 613 度日為最佳收穫時期，此時，分別相當於抽穗後 47、50 及 42 天。「臺中秈 10 號」因未熟粒率較早趨近於零，胴裂率低，所以較另外兩品種早達到最佳生育度數。此外，二期作的「臺南 16 號」胴裂粒發生較「臺南 11 號」晚，故最佳收穫時期較晚，糙米的完整米率亦較高。

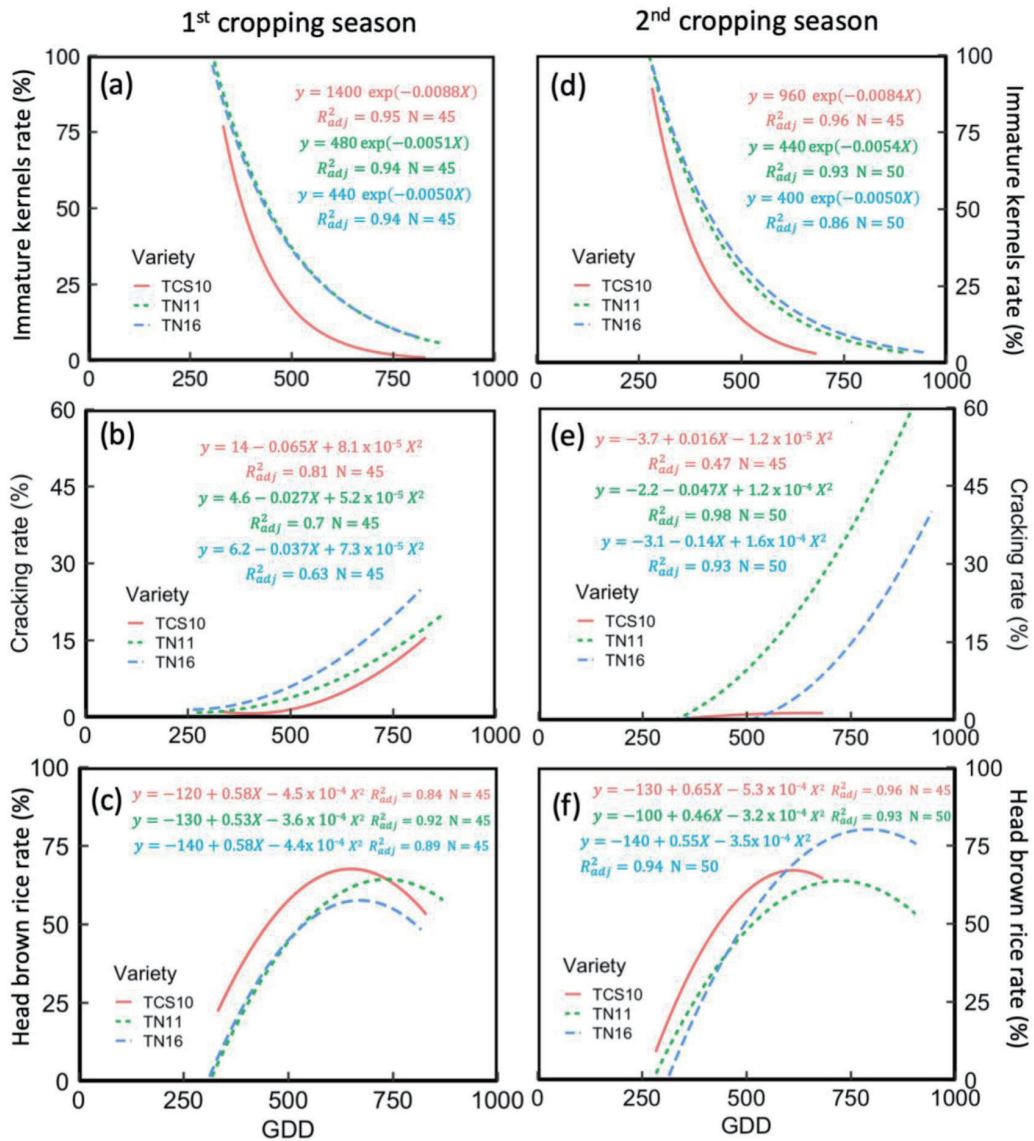


圖 3. 抽穗 20 天後之生育度數與未成熟粒率 (a 及 d)、胴裂粒率 (b 及 e) 及糙米的完整米率 (c 及 f) 之關係

Fig. 3. Correlations between immature kernels rate (a and d), cracking rate (b and e), and head brown rice rate (c and f) in different growing degree days (GDD) during 20 days after heading

結 論

目前農民判斷水稻收穫時期主要採計算生育日數、穀粒外觀或以未熟粒率多寡作為判別依據。利用生育度數來評估水稻收穫適期較傳統計算生育日數法，具更高準確性。生育度數的計算屬於非破壞性的檢測，無須反覆在田間取樣判斷穀粒成熟度，僅需在遠端計算生育度

數即可判斷出水稻的收穫適期。農民可藉由本試驗結果應用於田間實務，以計算所種植品種之收穫適期。實際應用時，可藉由中央氣象局設立的觀測資料查詢系統，查詢農地所在地的每日氣象資料，獲取當地之每日最高氣溫及每日最低氣溫，依據生育度數的計算公式，計算水稻抽穗後的每日生育度數並加總，即可推算該水稻於當地的最佳收穫時期，精準掌握最佳收穫時機，獲取最大收益。

引用文獻

1. 丁文彥。2012。極端溫度對水稻生育的影響。臺東區農業專訊 82：16-18。
2. 朱鈞、郭華仁、邱淑芬。1980。一、二期水稻發育中穀粒乾物質之蓄積與充實特性。科學發展月刊 8：414-427。
3. 何榮祥、宋勳、許愛娜、林國照。1991。乾燥方法與稻穀成熟度對稻米胴裂率及食味品質之影響。臺中區農業改良場研究彙報 30：1-13。
4. 何榮祥、許愛娜、林國照。1988。乾燥技術對稻米胴裂率及食味品質之影響。稻米品質研討會專集 259-268。
5. 宋勳。1974。臺灣長秈稻品質之探討。臺灣農業季刊 12(3)：98-105。
6. 宋勳、洪梅珠、許愛娜。1991。臺灣稻米品質之研究。臺中區農業改良場特刊第 24 號。
7. 林士閔、呂椿棠、卓緯玄、呂秀英。2014。水稻生育階段預測模式之建立與驗證。臺灣農業研究 63(1)：30-42。
8. 徐開民。1977。稻米儲藏條件影響碾米率與脂肪酸度之研究。國立臺灣大學農業工程研究所碩士論文。
9. 黃基倬、盧虎生。2000。穀粒充實期間溫度對穀粒米質之影響 (1) — 溫度處理對產量構成要素、穀粒碾米性狀、及理化性質之影響。中華農學會報 1(4)：370-389。
10. 趙政男。1990。米粒外觀與胴割粒率間相關性之探討。中華農業研究 39(2)：77-83。
11. 趙政男。1992。氣候環境與成熟期對水稻胴割粒率之影響。中華農業研究 41(3)：225-232。
12. 鄭家綺。2012。充實期高溫對水稻產量及白垩質的影響。臺中區農業改良場 101 年專題討論專集 271-276。
13. 羅正宗、吳炳奇、呂奇峰、江汶錦、陳榮坤、張淳淳、石榆鳳。2015。有機水稻栽培管理技術。臺南區農業改良場技術專刊 104-2 (No.161)。
14. Andaya, V. C. and D. J. Mackill. 2003. QTLs conferring cold tolerance at the booting stage of rice using recombinant inbred lines from a *japonica* × *indica* cross. *Theor. Appl. Genet.* 106: 1084-1090.
15. Glaszmann, J. C., R. N. Kaw and G. S. Khush. 1990. Genetic divergence among cold tolerant rices (*Oryza sativa* L.). *Euphytica* 45: 95-104.
16. Hayashi, T., A. Kobayashi, K. Tomita and T. Shimizu. 2015. A new method for evaluation of the resistance to rice kernel cracking based on moisture absorption in brown rice under controlled conditions. *Breed. Sci.*, 65(5): 381-387.
17. Hu, C. Y., J. X. Shi, S. Quan, B. Cui, S. Kleessen, Z. Nikoloski, T. Tohge, D. Alexander, L. Guo,

- H. Lin, J. Wang, X. Cui, J. Rao, Q. Luo, X. Zhao, A. R. Fernie and D. Zhang. 2014. Metabolic variation between *japonica* and *indica* rice cultivars as revealed by non-targeted metabolomics. *Sci. Rep.* 4: 5067.
18. Inukai, T. 2017. Differential regulation of starch-synthetic gene expression in endosperm between *indica* and *japonica* rice cultivars. *Rice* 10: 7-16.
19. Gilmore, Jr. E. C., and J. S. Rogers. 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agron. J.* 50: 600-615.
20. Leesawatwong, M., S. Jamjod, J. Kuo, B. Dell, and B. Rerkasem. 2005. Nitrogen fertilizer increases seed protein and milling quality of rice. *Cereal Chem.* 82(5): 588-593.
21. Nagata, K., T. Takita, S. Yoshinaga, K. Terashima, and A. Fukuda. 2004. Effect of air temperature during the early grain-filling stage on grain fissuring in rice. *Jpn. J. Crop Sci.* 73: 336-342.
22. Nagato, K. and F. M. Chaudhry. 1969. A comparative study of ripening process and Kernel development in *japonica* and *indica* rice. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan* 38: 425-433.
23. Owusu, R. K., I. Sugri, W. Dogbe, D. S. Adogoba, and J. Kugbe. 2020. Cracking and breaking response in four rice varieties as influenced by fertilization regime and storage duration. *Afr. J. Agric. Res.*, 16(7): 1044-1049.
24. Russelle M. P., W. Wilhelm, R.A.Olson, and J. F. Power. 1984. Growth analysis based on degree days. *Crop Sci.* 24: 28-32.
25. Takita, T. 1992. Varietal differences in crack formation in *japonica* and *indica* rice. *Jpn. J. Breed.* 42: 397-402.

Using growing degree days to estimate quality and optimal harvest time in rice¹

Lee, H. F., J. C. Lo and R. K. Chen²

Abstract

In tradition, farmers counted the number of days after transplanting the rice seedling to determine the time point of fertilization and harvest. However, the number of days after transplanting could not completely represent the growth stage. According to previous research, the growing degree days has 95% correlation with crop growth and development. This study aims to understand the relationship between the different harvesting periods after heading and the head brown rice rate of rice. The goal is to find the optimal harvest time for the main rice cultivars 'Nardares No. 11', 'Nardares No. 16', and 'Taichung sen No. 10'. The results showed that the head brown rice rate of the three tested varieties increased with daily growing degree days (GDD) after heading. The rate of head brown rice decreased in the later growth stage due to the increase of cracking rate. Based on these results, a regression model for predicting the head brown rice rate was developed. This model showed that the GDD of the optimal harvest time of the first cropping season for 'Nardares No. 11', 'Nardares No. 16', and 'Taichung sen No. 10' respectively were 733, 671, and 649 degree days after heading. In the second cropping season, the optimal harvest time for 'Nardares No. 11', 'Nardares No. 16', and 'Taichung sen No. 10' were 718, 785, and 613 degree days, respectively.

What is already known on this subject?

The current rice field management of the harvesting period in Taiwan is mainly based on the count of growing days and appearance.

What are the new findings?

Changes in brown rice quality at different harvesting periods for 'Nardares No. 11', 'Nardares No. 16', and 'Taichung sen No. 10'

What is the expected impact on this field?

Assist the rice field management for the optimum harvest time based on GDD.

Key words: GDD, immature kernel rate, cracking rate, dry weight of grains, optimum harvest time

Accepted for publication: June 8, 2021

-
1. Contribution No. 530 from Tainan District Agricultural Research and Extension Station.
 2. Assistant Researcher of Tainan District Agricultural Research DARES, Director of Southern Region Branch, Agriculture and food Agency, and Associate Researcher & Head of Chiayi Branch, DARES. 70 Muchang, Hsinhua, Tainan 712, Taiwan, R.O.C.