

「台農 67 號」穀粒充實過程動態影像變化之研究

林資哲¹ 劉威廷² 黃國益³ 宋濟民⁴ 李長沛⁵ 吳東鴻⁵ 賴明信^{6,*}

摘要

林資哲、劉威廷、黃國益、宋濟民、李長沛、吳東鴻、賴明信。2014。「台農 67 號」穀粒充實過程動態影像變化之研究。台灣農業研究 63(2):122-128。

本研究開發一套軟體針對水稻不同穀粒充實期外觀進行影像分析，期以瞭解其動態變化。研究係以「台農 67 號」品種為材料，在抽穗後 7、14、21、28、35、42 d 進行取樣，收集穗梢往穗基之 5 個一次枝梗，對位於由小支梗尖部至基部的第 2、3、4、5 位置穀粒進行粒形的影像掃描及分析。結果顯示，穀粒粒形變化以內穎變化較外穎明顯，外穎部分在抽穗之後的變化並不大。而充實期穀粒外形輪廓的變化，主要在於穀粒之厚度，在抽穗 7 d 後快速增加，其中內穎部分以掃描 105 度至 150 度之間變化最大，且會隨著充實時間的增加會有增厚的情形。利用影像軟體進行穀粒外形輪廓掃描，是一種新型高效率的分析方法，能夠清楚描述穀粒充實期外觀之變化。

關鍵詞：水稻、「台農 67 號」、穀粒充實期、一次枝梗、影像分析。

前言

水稻是全世界三大作物之一，以水稻為主食的人口數則是全球第一。台灣地處熱帶至亞熱帶之間，氣候土壤適合水稻生長，乃台灣栽培面積最廣且最重要的糧食作物。近年來政府為提昇國產稻米品質，致力於良質米推薦品種稻種之供應，而優良且純一稻種的推廣及更新，關係這項工作的成敗。除了仰賴育種者不斷選育優良新品種外，如何快速而且準確的判別稻種純度技術之建立更是不可或缺。傳統水稻穀粒的檢測方法依賴人力，無法詳細的以肉眼進行辨別，若能藉助立體顯微鏡將穀粒做細微觀察，並以影像處理系統將外形特徵數量化，將可作為客觀而快速判別的依據 (Chou *et al.* 2011)。近年來數位化影像處理技術發展迅速，已逐步的使用於農業自動化之研究，如

將穀粒特徵與數位化影像處理結合，則有助於穀粒之判別又可加速檢驗之流程，使育種人員快速有效檢控品種之純度，並可提升水稻育種程序中穀粒性狀之評估效率。Travis & Draper (1985) 利用影像處理系統量測 49 種穀粒及雜草種子的長度和外型，發現其量測結果可達到分辨之效果。Chang *et al.* (2000) 利用紅外線及影像外觀特徵值取面積、周長、形狀、面積/周長、最大寬度值、最長軸等參數值進行 6 個水稻品種鑑別，其鑑別率可達 65.4% 以上。Tanabata *et al.* (2010) 利用影像處理技術快速有效量測植物器官的形狀及開花時期花冠面積變化情形，並可有效的辨別開花時期花色變化與老化間之關係。Tanabata *et al.* (2012) 利用影像程式快速量測水稻品種 'Koshihikari' 和 'Nipponbare' 成熟種子的長度、寬度、周長等

投稿日期：2013 年 11 月 13 日；接受日期：2014 年 1 月 29 日。

* 通訊作者：mhlai@tari.gov.tw

¹ 農委會農業試驗所作物組博士後研究。台灣 台中市。

² 國立中興大學生物醫學研究所博士後研究。台灣 台中市。

³ 國立中興大學生物產業機電工程學系副教授。台灣 台中市。

⁴ 弘光科技大學食品科技系教授。台灣 台中市。

⁵ 農委會農業試驗所作物組助理研究員。台灣 台中市。

⁶ 農委會農業試驗所作物組副研究員。台灣 台中市。

參數，可以有效快速的測量成熟種子之參數，測量結果並可以有效提供給育種人員利用。Lee *et al.* (2011) 利用電腦影像分析種植在韓國 7 種不同穀類種子，並分別對穀粒彩色圖像作數據收集，針對穀粒的 7 種顏色和外觀形態特徵的進行判別，分析結果可以有效提高辨識效率。

水稻穀粒的形狀及大小是具遺傳性的農藝性狀，它會影響產量和市場之價格(Tanabata *et al.* 2012; Wang *et al.* 2012)。水稻穀粒形狀複雜而不明確，缺乏精確的定義，一般以穀粒長寬比例來加以描述(Lu *et al.* 2003)，如何獲得準確的穀粒大小數據，俾以快速大量的測量有其實用價值。本研究材料「台農 67 號」是由行政院農業委員會農業試驗所登記命名，為 1967 年至 1987 年的領先品種；品種特性為強稈、不易倒伏、適合機械收穫、具有穩定高產潛力、適應性廣，對病蟲害之忍耐性強等，為台灣地區主要水稻栽培之對照品種(Hwang 1987)。因此，本研究擬藉由影像處理系統調查「台農 67 號」，在不同穀粒充實階段之粒長、粒寬、粒厚及粒長與粒寬比例之變化，探討穀粒充實過程外表形態改變之情形。

材料與方法

本研究以水稻「台農 67 號」(‘Tainung67 or ‘TNG67) 品種作為試驗材料，於 2012 年第二期作種植於台中市霧峰區國立中興大學農業試驗場。在抽穗前掛牌標定共 70 枝單穗，於抽穗後第 7、14、21、28、35、42 d 進行試驗材料取樣 (n = 10)，並秤其鮮重後置於 60°C 烘箱，烘乾 72 h 後秤其乾物重。強勢粒取樣是參考 Ishimaru *et al.* (2003) 進行，收集穗梢往穗基之 5 個一次枝梗，對位於由小支梗尖部至基部的第 2、3、4、5 位置之穀粒取樣後秤其重量，放入 FAA (formol-acetic acid-alcohol) 固定液 (75% ethanol : formalin : glacial acid = 90 : 5 : 5, v/v/v) (Hong *et al.* 1996) 中固定 2 d，取出穀粒進行影像拍攝。正面影像分析先利用影像程式描繪出穀粒輪廓，並檢測出穀粒之最長軸，由長軸之中心點位子，每 0.5 度從內穎向稈尖進行掃描，並記錄從 0 至 180 度內穎變

化，及記錄從 180 度至 360 度外穎變化之情形。側面影像分析是由長軸之中心點位子，每 0.5 度由護穎向稈尖進行 360 度掃描並進行紀錄。影像拍攝設備為 UI-2280SE (IDS, Germany) 之 CCD，鏡頭為 ML-3519 (MORITEX, Japan)。

結果

充實時期之穀粒外形變化

本試驗以「台農 67 號」為材料，於 2012 年 8 月種植至田間，種植後 72 d ± 2 d 開始抽穗，充實時期穀粒外形的動態變化如圖 1A、1B，穗之鮮重、乾重及強勢粒重量的變化如圖 1C。結果在圖 1A、1B 觀察到「台農 67 號」抽穗後 7 d，穀粒外形輪廓尚未有膨脹情形，穀粒外形輪廓在抽穗後 14 d 開始有產生膨大情形，且抽穗 14 d 時穀粒之厚度有明顯增加，並會隨著充實日數的增加穀粒厚度會有增厚的情形，且在抽穗 28 d 後穀粒顏色也由綠色轉變成金黃色。穀粒充實時期穗的鮮重及乾重變化如圖 1C，在充實 42 d 時平均穗重的鮮重及乾重達到最重，分別為 4.82 g 及 3.36 g。在不同穀粒充實時期的強勢粒重量的變化，以穀粒充實時 35 d 的平均強勢粒重量 0.45 g 為最重，其次為充實時 42 d 0.440 g，充實時 7 d 0.027 g 最輕。

充實時期穀粒之輪廓變化

取「台農 67 號」在不同充實時期之穀粒，以 CCD 攝影設備進行取像，經影像程式去除芒及小枝梗後，進行影像分析，穀粒平面影像從 0 度至 180 度為內穎的範圍、180 至 360 度為外穎的範圍。圖 2A 及 2B 為穀粒充實時，平面和側面影像之掃描圖，而圖 2C 及 2D 為不同充實時期，穀粒外形的平面及側面變化曲線。穀粒平面變化曲線圖 (2C) 顯示，內穎長度在穀粒充實 21 d 後有明顯增加，內穎長度較其他生育期之內穎長度長，穀粒外形掃描曲線在 40 度至 120 度部位的長度變化，明顯長於其他部位；但不同充實時期之穀粒外穎長度變化並不明顯。由掃描的結果得知，不同充實時期穀粒平面外觀輪廓變化情形，以內穎變化較外穎明顯；外穎部分在抽穗之後的變化並沒

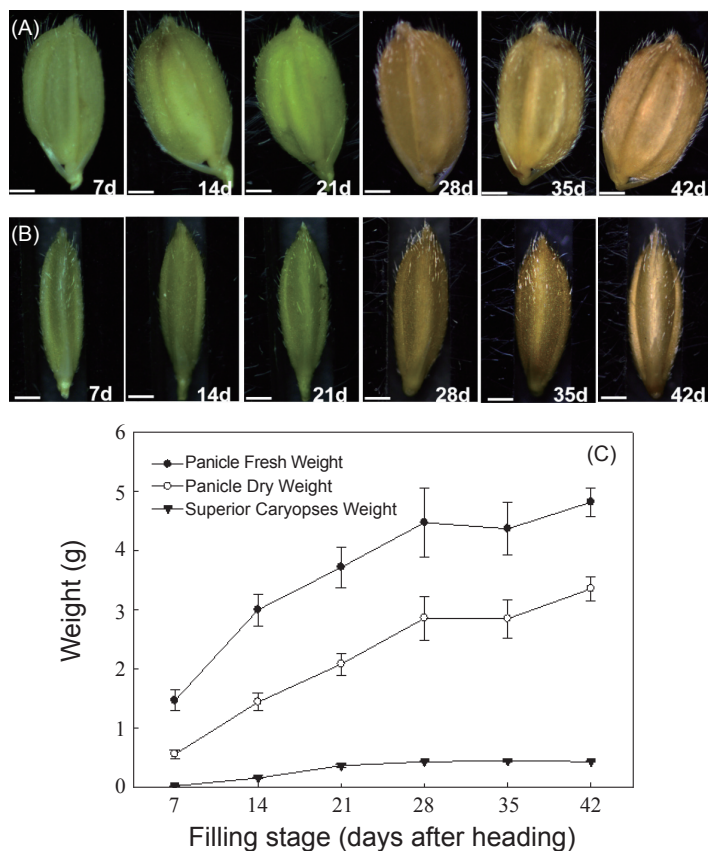


圖 1. 「台農 67 號」穀粒充實期間粒形變化情形。(A) 平面圖；(B) 側面圖；(C) 乾物重。

Fig. 1. The images were shown according to the time courses during grains filling stage of rice cultivar 'Tainung67'. (A) surface-view; (B) lateral-view; and (C) biomass accumulation. (bar = 1 mm)

有太大的差異。而不同穀粒充實時期的側面輪廓外觀變化如圖 2D，不同穀粒充實程度在抽穗 7 d 後，穀粒會隨著充實日數的增加內外穎的厚度會有增加的情形，其中以充實 28 d 增加較為明顯。本試驗結果顯示了不同充實期穀粒外觀輪廓的變化，均以穀粒中心點到邊緣的直線距離的量測結果來表示，由圖 2E 顯示穀粒充填過程，內穎擴充增大的幅度明顯大過外穎；大約在 10 度至 50 度之間，隨著穀粒充實過程，是內穎擴充增大最明顯的範圍。而穀粒側面變化，由圖 2F 顯示約在 105 度至 150 度之間，穀粒的厚度會隨穀粒充實日數的延長，增加則最為明顯。

充實時期穀粒之粒形參數變化

將不同充實時期之穀粒，利用影像掃描分

析 7、14、21、28、35 及 42 d 穀粒之長度、寬度、厚度、長寬度比值等參數，其結果如表 1 所示。不同充實時期穀粒水平掃描後，穀粒長度介於 7.00–7.38 mm 之間，穀粒充實至 35 d 時最長，粒長為 7.38 mm，穀粒在充實 42 d 時穀粒長度有縮短的情形產生。不同充實時期，穀粒寬度變化介於 3.50–3.97 mm 之間，以充實 35 d 寬度可達 3.97 mm 最寬，充實 28 d 後穀粒之寬度變化則無明顯差異。不同充實時期穀粒側面掃描後，穀粒厚度介於 1.72–2.56 mm 間，隨著穀粒充實時間的增加，以充實 35 d 種子厚度可達 2.56 mm 最厚。不同充實時期穀粒長寬比值介於 1.82–2.00 之間，以充實 7 d 長寬比值為 2.00 最大，而充實時 42 d 長寬比值 1.82 較小。而且不同充實時期穀粒長寬

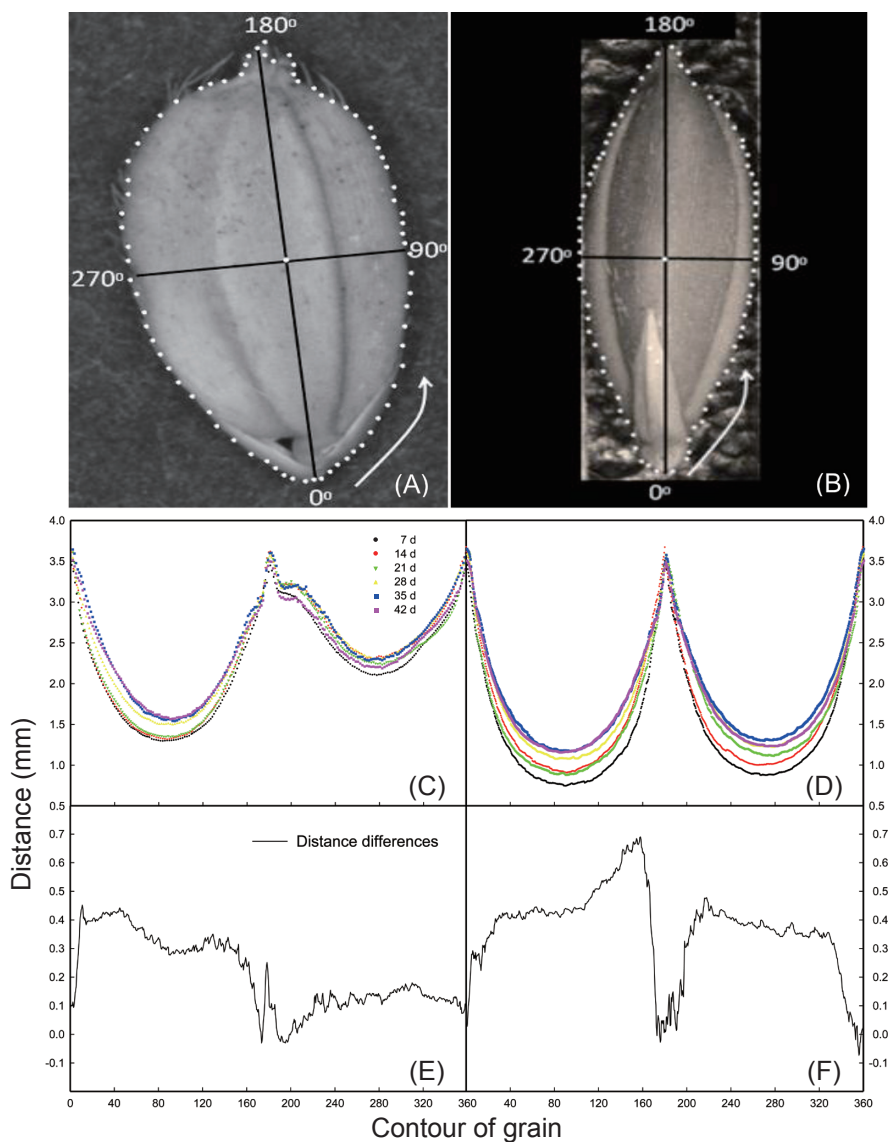


圖 2. 影像軟體分析穀粒表面及側面之情形。(A) 平面影像；(B) 側面影像；(C) 分析後表面圖像輸出；(D) 分析後側面圖像輸出；(E) 平面圖像充實期間變化量；(F) 側面圖像充實期間變化量。

Fig. 2. The software can analyze both surface and lateral image of grain automatically. (A) Surface image; (B) lateral image; (C) output for the analysed surface image; (D) output for the analysed lateral image; (E) distance differences of surface image during filling period; and (F) distance differences of lateral image during filling period.

比值的變化，會隨著抽穗期日數的增加，比值會有降低的情形。

討論

水稻穀粒外形變化的同時，其內部也在同步進行充實與成熟。一般水稻穀粒的成熟初期

顏色為綠色，待成熟時會轉為金黃色。而穀粒成熟期間質地也由乳狀、糊狀而轉變為成熟時堅硬的質地。因此，水稻穀粒的成熟過程，可分為乳熟、黃熟、完熟及枯熟幾個時期 (Matsuo *et al.* 1993)。穀粒是稻穗重要的組成性狀之一，更是水稻結實過程中同化產物的接收器

表 1. 「台農 67 號」穀粒充實期間穀粒最長的長度 (A)、最長的寬度 (B)、穀粒厚度及穀粒之長寬比之情形。
Table 1. During the filling stage, the longest length (A), longest width (B), longest thickness and ratio of A to B for rice cultivar 'Tainung67'².

Filling stage (days after heading)	Longest length (A) (mm)	Longest width (B) (mm)	Longest thickness (mm)	A/B
7	7.00 ± 0.13 b	3.50 ± 0.19 c	1.72 ± 0.16 e	2.00
14	7.34 ± 0.20 a	3.76 ± 0.13 b	2.01 ± 0.06 d	1.95
21	7.35 ± 0.21 a	3.73 ± 0.13 b	2.16 ± 0.14 c	1.97
28	7.26 ± 0.22 a	3.96 ± 0.11 a	2.41 ± 0.08 b	1.83
35	7.38 ± 0.30 a	3.97 ± 0.14 a	2.56 ± 0.13 a	1.85
42	7.14 ± 0.12 ab	3.92 ± 0.14 a	2.50 ± 0.09 ab	1.82

² Means ± standard errors (n = 10) within each column followed by different letters are significantly different at the $P = 0.05$ level.

官，在生產上直接影響收穫的經濟產量 (Liang *et al.* 2003)。本研究觀察「台農 67 號」不同充實時期穀粒外觀變化之情形，結果由圖 1 顯示「台農 67 號」在不同充實時期，穀粒的重量變化很大。在抽穗初期乾物質累積較為緩慢，14 d 後乾物質快速累積，至 28 d 後乾物質累積逐漸減緩。而不同抽穗時期之強勢粒的重量，也由原本抽穗後 7 d 的 0.027 g 增加至 0.439 g，增加重量高達 16 倍以上。此外，並觀察到在抽穗 28 d 後，穀粒顏色由綠色轉變為金黃色，由此顯示「台農 67 號」再抽穗 28 d 後進入成熟時期。當穀粒成熟時胚乳內乾物質繼續增加，水分已逐漸地減少並由乳漿狀轉變為團狀，且胚乳的中心部分也轉變為透明並向外擴展 (Matsuo & Hoshikawa 1993; Krishnan & Dayanandan 2013; Zhou *et al.* 2013)。

近年來數位化影像處理技術發展迅速，已逐步的使用於農業自動化之研究，並可以協助傳統以肉眼觀察之辨識工作。影像處理分析研究用於小麥最多 (Travis & Draper 1985; Shouche *et al.* 2001)。Paliwal *et al.* (1999) 使用 Canada Western Red Spring wheat, Canada Western Amber Durum wheat, barley, oats, and rye 共 5 種小麥品種為樣本，以小麥的外型輪廓、長度和顏色為參數的基礎，進行分析辨別率可以高達 93%。Paliwal *et al.* (2001, 2003) 使用 5 種小麥品種為樣本，以影像處理技術擷取小麥外觀的面積、周長、最長軸、最短軸等 8 個及 230 個外觀參數，結果可以有效且適合作小麥品種的分類。目前穀粒影像分析技術的

使用，可以準確及快速地量測出穀粒的特徵及其形狀參數，據此應用於辨識品種間或品種內粒形的變化。Liu *et al.* (2005) 將 5 種水稻的外觀形狀及顏色作為參數，利用影像處理技術及類神經網路進行品種鑑別，在 20 個參數中可以有效的進行水稻品種的判別分析。本研究利用影像掃描分析「台農 67 號」不同充實時期穀粒外形的變化，試驗的結果指出不同充實時期，穀粒外形變化以內穎變化較外穎明顯，且不同充實階段穀粒厚度會隨著充實時間的增加會有增加的現象。根據 Matsuo & Hoshikawa (1993) 指出水稻開花時子房位於偏內穎一側，受精後子房先是斜向內穎伸長，然後增加穀粒寬度與厚度，本研究試驗結果以內穎變化較外穎明顯此與說明相同。

另外「台農 67 號」不同充實時期，穀粒外形輪廓量測的結果顯示，抽穗後 35 d 最長、最寬且最厚，充實期穀粒長寬比值的變化會隨著充實期時間的增加，比值會有降低的情形。由此可知，穀粒的生長是一種規律化的生長，穀粒生長時先進行長、寬的生長，最後增加厚度。當穀粒之粒長、粒寬及粒厚度的生長定型後，穀粒大小就不再改變；並在成熟後期會因水分含量的降低，穀粒大小會略有變小的情形。

本研究利用影像分析技術進行「台農 67 號」不同充實期穀粒量測，除了可以提供快速非破壞性測量外，其目的是透過取得水稻種子外觀影像，並將外觀特性性狀量化進行分析處理後。未來可進一步開發成水稻種子影像判別資訊系統，使水稻種子檢測工作及純度判別具

備快速檢測、品種判別的功能，並期能達到田間即時判別之目標。同時，更可進一步擴大成爲國內水稻育種及品種權認證的背景資料庫。

引用文獻

- Chang, H. W., J. T. Shaw, S. M. Lee, and M. C. Hong. 2000. Classifying varieties of paddy rice by near-infrared and image processing technique. *J. Agric. Mach.* 9:1–16. (in Chinese with English abstract)
- Chou, M. Y., M. S. Yuan, Y. C. Tsai, S. P. Huang, and T. C. Yang. 2011. The review of detection and assessment techniques for plant seedling quality. *Seed Nursery* 13:1–25. (in Chinese with English abstract)
- Hong, S. K., H. Kitano, H. Satoh, and Y. Nagato. 1996. How is embryo size genetically regulated in rice. *Development* 122:2051–2058.
- Hwang, C. H. 1987. *Rice Varieties in Taiwan*. Council of Agriculture, Executive Yuan. Taipei. 204 pp. (in Chinese with English abstract)
- Ishimaru, T., T. Matsuda, R. Ohsugi, and T. Yamagishi. 2003. Morphological development of rice caryopses located at the different positions in a panicle from early to middle stage of grain filling. *Funct. Plant Biol.* 30:1139–1149.
- Krishnan, S. and P. Dayanandan. 2003. Structural and histochemical studies on grain-filling in the caryopsis of rice (*Oryza sativa* L.). *J. Biosci.* 28:455–469.
- Lee, C. Y., L. Yan, T. Wang, S. R. Lee, and C. W. Park. 2011. Intelligent classification methods of grain kernels using computer vision analysis. *Meas. Sci. Technol.* 22:1–6.
- Liang, K. J., W. X. Lin, Z. X. Chen, Y. J. Li, Y. Y. Liang, Y. C. Guo, H. Q. He, and F. Y. Chen. 2003. Developmental genetic analysis of grain weight under different environmental conditions in Rice (*Oryza sativa* L.). *Sci. Agric. Sin.* 36:1113–1119. (in Chinese with English abstract)
- Liu, C. C., J. T. Shaw, K. Y. Poong, M. C. Hong, and M. L. Shen. 2005. The effect of parameter selection on classifying paddy rice. *J. Agric. Mach.* 14:17–32. (in Chinese with English abstract)
- Lu., H. Y., M. L. Wei, C. T. Lu, and L. F. Chan. 2003. Quantitative analysis of the shape of rice grain I determination of shape parameters. *J. Agric. Res. China.* 53:311–323. (in Chinese with English abstract)
- Matsuo, T. and K. Hoshikawa. 1993. *Science of Rice Plant. V1. Morphology*. Food and Agriculture Policy Research Center. Tokyo. 686 pp.
- Paliwal, J., N. S. Visen, and D. S. Jayas. 2001. Evaluation of neural network architectures for cereal grain classification using morphological parameters. *J. Agric. Engng. Res.* 79:361–370.
- Paliwal, J., N. S. Shashidhar, and D. S. Jayas. 1999. Grain kernel identification using kernel signature. *Trans. ASAE.* 42:1921–1924.
- Paliwal, J., N. S. Visen, D. S. Jayas, and N. D. G. White. 2003. Comparison of a neural network and a non-parametric classifier for grain kernel identification. *Biosyst. Eng.* 85:405–413.
- Shouche, S. P., R. Rastogi, and S. G. Bhagwat. 2001. Shape analysis of grains of Indian wheat varieties. *Comput. Electron. Agric.* 33:55–76.
- Tanabata, T., T. Shibaya, K. Hori, K. Ebana, and M. Yano. 2012. Smart grain: High-throughput phenotyping software for measuring seed shape through image analysis. *Plant Physiol.* 160:1871–1880.
- Tanabata, T., T. Yamada, Y. Shimizu, Y. Shinozaki, M. Kanekatsu, and M. Takano. 2010. Development of automatic segmentation software for efficient measurement of area on the digital images of plant organs. *Hort. Res.* 9:501–506.
- Travis, A. J. and S. R. Draper. 1985. A computer based system for the recognition of seed shape. *Seed Sci. Technol.* 13:813–820.
- Wang, S., K. Wu, Q. Yuan, X. Liu, Z. Liu, X. Lin, R. Zeng, H. Zhu, G. Dong, Q. Qian, G. Zhang, and X. Fu. 2012. Control of grain size, shape and quality by *OsSPL16* in rice. *Nat. Genet.* 44:950–955.
- Zhou, S. R., L. L. Yin, and H. W. Xue. 2013. Functional genomics based understanding of rice endosperm development. *Curr. Opin. Plant Biol.* 16:236–246.

Study on Changes of Grain Shape of Rice Cultivar ‘TNG67’ during Filling Stage by Image Analysis

Tzu-Che Lin¹, Wei-Ting Liu², Kuo-Yi Huang³, Jih-Min Sung⁴, Charang-Pei Li⁵,
Dong-Hong Wu⁵, and Ming-Hsin Lai^{6,*}

Abstract

Lin, T. C., W. T. Liu, K. Y. Huang, J. M. Sung, C. P. Li, D. H. Wu, and M. H. Lai. 2014. Study on changes of grain shape of rice cultivar ‘TNG67’ during filling stage by image analysis. *J. Taiwan Agric. Res.* 63(2):122–128.

A software was developed to feature the grain's shape through digital images taken during grain filling stage in this study. First top 2nd, 3rd, 4th and 5th single grain sampled from top 5 primary branches of each panicle were collected for image analysis in 7, 14, 21, 28, 35, 42 days after heading for rice cultivar ‘TNG67’. The results were shown that there are more significant differences on grain shape during filling stage in inner husk than outer husk, and there is no significant difference in outer husk after heading date. Main differences of contour were observed in thickness of grain, and increased dramatically from the 7th day after heading date. There were most significant differences between 105–150 degree of angle in inner husk, and increasing thickness was observed as grains' filling time increased. The high throughput and efficient method was developed for featuring contour of rice grain by image software to evaluate the differences of grain shape during the filling stage.

Key words: Rice, ‘TNG67’, Grain filling stage, Primary branches, Image analysis.

Received: November 13, 2013; Accepted: January 29, 2014.

* Corresponding author, email: mhlai@tari.gov.tw

¹ Research Associate, Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

² Research Associate, Institute of Biomedical Sciences, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC.

³ Associate Professor, Department of Bio-industrial Mechatronics Engineering, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC.

⁴ Professor, Department of Food Science & Technology, Hung-Kuang University, Taichung, Taiwan, ROC.

⁵ Assistant Research Fellows, Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

⁶ Associate Research Fellow, Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.