

水稻「臺南 16 號」倒伏指數估測模式之建立¹

劉祐廷、陳榮坤²

摘 要

劉祐廷、陳榮坤。2023。水稻「臺南 16 號」倒伏指數估測模式之建立。臺南區農業改良場研究彙報 81：18-29。

水稻「臺南 16 號」米飯品質優良，深受消費市場喜愛及肯定，惟稻株帶有易倒伏特性，種植技術門檻高。為建立「臺南 16 號」之氮肥施用量與農藝性狀及倒伏性的關係，本研究進行「臺南 16 號」不同氮肥施用等級的栽培試驗，分析成熟期農藝性狀與倒伏的相關性，並利用多元線性迴歸分析法建立倒伏指數的估測模式。結果顯示第一期作估測模式 ($R^2 = 0.8111$) 及第二期作估測模式 ($R^2 = 0.6265$) 參數皆包含株高及稻穀產量，顯示成熟期株高及稻穀產量為影響「臺南 16 號」倒伏的關鍵性狀。為進一步建立倒伏指數估測模式，以提供穗肥施用管理作業使用，本研究分析「臺南 16 號」穗肥施用前的農藝性狀、穗肥氮素施用量與倒伏的相關性。結果顯示，第一期作估測模式 ($R^2 = 0.7884$) 參數包含葉面積指數及穗肥之氮肥施用量，第二期作估測模式 ($R^2 = 0.6022$) 參數包含株高、分蘗數及穗肥氮素施用量。本研究建立之倒伏指數估測模式可提供管理者根據水稻植株生長現況，以決定穗肥氮素施用量，助益於減少水稻「臺南 16 號」之倒伏風險，穩定農民收益。

現有技術：採用固定的施肥模式進行水稻「臺南 16 號」肥培管理。

創新內容：建立水稻「臺南 16 號」倒伏指數估測模式，以生育現況決定穗肥氮素施用量。

對產業影響：有助於減少水稻「臺南 16 號」倒伏情況發生，降低農民生產風險。

關鍵字：水稻「臺南 16 號」、倒伏、倒伏估測模式

接受日期：2023 年 5 月 18 日

1. 行政院農業委員會臺南區農業改良場研究報告第 556 號。

2. 行政院農業委員會臺南區農業改良場助理研究員、副研究員兼嘉義分場分場長。712009 臺南市新化區牧場 70 號。

前 言

原產於日本的梗型品種「越光」，在臺灣受到消費者歡迎，約 40 年前，臺灣引進「越光」種植，然而「越光」在臺灣環境適應不良，導致產量減少，米飯食味口感明顯降低⁽⁹⁾。臺南區農業改良場為改善「越光」在臺灣的適應性，遂以「越光」為母本、利用分子輔助回交育種方法育成水稻品種「臺南 16 號」，其遺傳背景與「越光」相近，相似度約 95%⁽⁷⁾。「臺南 16 號」米粒外觀及產量比越光更加優異，自 2012 年品種命名至今，歷年來獲獎無數，深受消費市場喜愛及肯定⁽⁹⁾。然而，「臺南 16 號」產量雖高於「越光」，惟仍低於一般栽培品種，且承襲「越光」易倒伏的缺點。

施用氮肥是提高水稻產量的主要措施，過量施用會增加水稻株高、分蘗數及提高莖稈主軸重心，進而導致倒伏⁽²⁷⁾。水稻若發生倒伏情形，不但造成田間管理及收穫作業操作困難，更降低產量及影響品質，「臺南 16 號」由於其易倒伏特性，若施肥過量，相較一般栽培品種更容易發生倒伏情況，種植技術門檻高，合理且適時的氮肥管理為減少倒伏的關鍵⁽⁶⁾。

稻株高度是影響倒伏的重要因素，稻株愈高導致莖稈主軸重心提高，愈易倒伏。研究顯示水稻葉片、株高及穗彎曲度等均隨穗肥之氮肥施用量而增大⁽³⁾。當氮肥用量增加，上位 5 段節間長度均隨著增加，衍生株高增加、重心提高，增加倒伏的機會^(10,33)。穗抽出長度亦是影響倒伏其中一個因素，氮肥施用具有調整穗抽出程度的效果，當穗肥施用時期愈晚，造成穗的抽出長度愈長⁽¹⁾。於幼穗形成始期，穗肥施用前，利用株高、葉面積及葉色等指標，能簡易預測未來倒伏可能性，藉以調整穗肥氮素施用量，減少倒伏發生^(15,17)，由於不同水稻品種之莖稈強度不同，預測模式須各別建立。過去對於水稻倒伏的相關研究，多以日本及中國水稻之莖稈型態研究為主^(4,8,26,29)，倒伏與產量的相關研究於 1962 年即有學者提出⁽²³⁾，但少有探討倒伏與農藝性狀的相關性研究。本研究探討水稻「臺南 16 號」於臺灣兩期作環境下，不同氮肥等級之株高、穗長及產量構成因素等水稻農藝性狀與倒伏性的關係，分析影響倒伏之關鍵性狀，並嘗試建立穗肥施用前的倒伏估測模式，作為水稻「臺南 16 號」穗肥施用的管理依據。

材料與方法

一、田間試驗與佈置

本研究參試材料為水稻「臺南 16 號」(*Oryza sativa* L. cv. Tainan 16, TN16)，試驗設計採逢機完全區集設計，三重複，於 2022 年進行田間試驗，試驗地點為臺南區農業改良場嘉義分場，田區土壤質地為黏土。田間氮肥管理分為 10 個等級，分蘗期氮肥施用總量及穗肥之氮肥施用量如表 1，磷鉀每公頃 72 公斤、氧化鉀每公頃 84 公斤，當稻株主莖幼穗生長至 0.2 公分時，進行穗肥施用。每小區面積 12.10 平方公尺，8 行區每行 28 叢，行株距 30 × 18 公分，收穫調查中間 4 行，面積 6.05 平方公尺，多本植，第一期作及第二期作秧苗移植日期分別為 2022 年 1 月 27 日及 8 月 2 日。田間利用除草劑進行雜草防除，灌溉排水作業與病蟲害防治依實際需要進行管理。

二、穗肥施用前農藝性狀調查

為比較穗肥施用前農藝性狀與倒伏性的關係，於穗肥施用前一日進行下列項目調

查，每小區調查 6 株：

1. 株高 (plant height)：將稻株葉片抓住向上伸展，量測稻株基部至頂部最高葉尖之長度。
2. 分蘗數 (tiller number)：計算三葉齡以上 (含) 的稻株分蘗數量。
3. 葉綠素計值 (SPAD value)：葉綠素計值測定方法參照羅等人⁽¹³⁾，以葉綠素計 (chlorophyll meter, model SPAD-502, Konica Minolta Co., Tokyo, Japan) 進行測定，調查稻株由上而下第二片完全展開葉之中段。
4. 第一葉葉長 (first Leaf length)：調查穗肥施用前稻株由上而下第一片完全展開葉的長度，穗肥施用前之第一片完全展開葉等同於成熟期稻株由上而下之第四葉。
5. 葉面積指數 (leaf area index, LAI)：葉面積指數測定方法參照羅和林⁽¹²⁾，以植冠分析儀 (plant canopy analyzer, model LAI-2000, LI-COR Co., Lincoln, United States) 進行葉面積指數測定。

表 1. 試驗田區氮素施用處理

Table 1. The different nitrogen application treatments in the test field

組別 Group	分蘗期氮素施用量 Nitrogen top-dressing during tillering stage (kg/ha)	穗肥氮素施用量 Nitrogen top-dressing during panicle initiation (kg/ha)	總氮素施用量 Total Nitrogen fertilizer (kg/ha)
N1	60	15	75
N2	60	30	90
N3	75	15	90
N4	75	30	105
N5	90	15	105
N6	90	30	120
N7	105	15	120
N8	105	30	135
N9	168	42	210
N10	217	63	280

三、成熟期農藝性狀及稻穀產量調查

為比較成熟期農藝性狀、稻穀產量與倒伏性的關係，於成熟期每小區調查 6 株稻株之株高及穗數，並調查各區倒伏指數，接著逢機收取 3 株進行產量構成因素調查，最後將剩餘稻株收割脫粒、烘乾並秤取乾穀重量，依行株距及株數推算稻穀產量。倒伏性評估參考八木等人⁽¹⁴⁾，將成熟期倒伏性依倒伏程度分為 5 個倒伏等級，以倒伏指數 (lodging index, LI) LI1、LI3、LI5、LI7 及 LI9 表示。倒伏定義為稻株傾倒至與地面角度小於 30 度，LI1 為無稻株倒伏；LI3 為發生 1 ~ 10% 稻株倒伏；LI5 為發生 11 ~ 30% 稻株倒伏；LI7 為 31 ~ 60% 稻株倒伏；LI9 為稻株倒伏 61% 以上。

四、統計分析及建立倒伏指數估測模式

本研究採用 R 軟體 (R-4.0.3 版, R Core Team 2020) 進行統計分析及建立倒伏指數

估測模式，以結合了向前選擇法 (forward selection procedure)、向後削去法 (backward elimination procedure) 的逐步迴歸法 (stepwise selection procedure) 進行迴歸分析，建立倒伏指數之多元線性迴歸估測模式 (multiple linear regression model)。

結果與討論

一、成熟期農藝性狀、稻穀產量與倒伏性之關係

「臺南 16 號」之倒伏主要發生於黃熟期至完熟期，不同氮肥施用等級試驗田區的倒伏指數範圍如表 2，該表結果顯示第一期作的氮肥施用等級中，N1 ~ N5 倒伏指數為 1，倒伏風險低，N6 ~ N8 倒伏指數介於 1 ~ 3 之間，倒伏風險中等，N9 ~ N10 倒伏指數大於 3，倒伏風險高；第二期作的氮肥施用等級中，N1 ~ N2 倒伏指數為 1，倒伏風險低，N3 ~ N5 倒伏指數介於 1 ~ 3 之間，倒伏風險中等，N6 ~ N10 倒伏指數大於 3，倒伏風險高。為瞭解構成「臺南 16 號」倒伏的關鍵性狀，本研究首先進行成熟期農藝性狀與倒伏指數的相關性分析，由於第一期作與第二期作的環境氣候條件差異甚大，兩期作的數據將各別分析。倒伏指數與各農藝性狀的相關係數如表 3，第一期作與倒伏指數顯著相關的農藝性狀為株高、稻穀產量、每穗粒數、千粒重及稔實率，第二期作與倒伏指數顯著相關的農藝性狀為株高、穗數、稻穀產量、穗長、每穗粒數及稔實率。兩期作與倒伏指數顯著相關的農藝性狀有所不同，顯示氣候環境存在差異時，影響倒伏的性狀也可能隨之變化。本研究兩期作試驗中，與倒伏指數的相關性最高的性狀皆為株高 ($r = 0.7209 \sim 0.8205$)，根據 Kashiwagi 等人的研究指出⁽²⁸⁾，株高為導致倒伏的重要原因，株高影響稻株主軸重心，愈高則愈易倒伏。本研究穗長與倒伏指數的相關性雖明顯低於株高，其仍為倒伏相關的重要因子之一，穗長影響穗彎曲度，且與產量構成因素的每穗粒數呈正相關^(30,31)。當稻穀產量愈高，稻株倒伏傾向愈高⁽³⁴⁾，本研究「臺南 16 號」兩期作的稻穀產量皆與倒伏指數有顯著相關，而產量構成因素中，穗數、每穗粒數與倒伏指數呈現正相關，稔實率、千粒重與倒伏指數則呈現負相關，Dorairaj 等人研究指出，提升氮肥施用量有助於增加穗數及每穗粒數，然而對稔實率及千粒重則有負面影響，一旦發生倒伏將影響稻株的光合作用，進一步降低千粒重⁽²⁵⁾。

表 2. 水稻「臺南 16 號」兩期作不同氮肥施用處理之倒伏指數範圍

Table 2. The lodging index of TN16 with the different nitrogen application treatments in the first crop season and second crop season

期作 Crop season	不同氮肥施用處理的倒伏指數 The lodging index with the different nitrogen application treatments									
	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10
第一期作 1st crop season	1	1	1	1	1	1 ~ 2	1 ~ 2	1 ~ 3	> 3	> 3
第二期作 2nd crop season	1	1	1 ~ 2	1 ~ 3	1 ~ 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3

表 3. 水稻「臺南 16 號」兩期作成熟期農藝性狀與倒伏指數之相關係數

Table 3. The correlation coefficient of the agronomic traits and the lodging index of TN16 at the maturity stage in the first crop season and second crop season

期作 Crop season	株高 Plant height	穗長 Panicle length	穗數 Panicle number	一穗 穎花數 Spikelet per panicle	稔實率 Fertility	千粒重 1,000- grain weight	產量 Yield
第一期作 1st crop season	0.8205** ^a	0.4832	0.6739	0.8011*	-0.7995**	-0.7849**	0.8040**
第二期作 2nd crop season	0.7209**	0.5403*	0.6985**	0.5067*	-0.6128**	-0.3310	0.5530*

^a* 及 ** 分別表示成熟期農藝性狀與倒伏指數於 5% 及 1% 水準下達顯著性相關。

^a* and ** represent significance at 5% and 1% levels, respectively.

二、成熟期倒伏指數之估測模式

瞭解成熟期倒伏風險的評估，有助於應對成熟期的多變氣候環境，以採取適當的肥培管理策略。本研究顯示，「臺南 16 號」多個農藝性狀皆與倒伏指數呈現顯著相關，且兩期作顯著相關的性狀有所差異。因此，本研究接續利用多元線性迴歸分析，探討影響倒伏的關鍵性狀，建立成熟期倒伏指數的估測模式，提供生育後期田間管理決策的依據。

由多元線性迴歸分析結果顯示(表 4)，第一期作倒伏指數的估測模式(LI 1st)的決定係數(coefficient of determination, R²)可達到 0.8111，參數包含株高及稻穀產量等兩個性狀；第二期作倒伏指數的估測模式(LI 2nd)的 R² 為 0.6265，參數同樣為株高及稻穀產量等兩個性狀。兩期作的倒伏指數估測模式之參數皆為株高及稻穀產量，不含其他參數，顯示於本研究氮肥施用量範圍內，水稻「臺南 16 號」株高及稻穀產量愈高，則倒伏指數愈高，愈容易發生倒伏情況，前人研究同樣指出，增加氮肥施用量導致提升株高及穀粒產量增加，為造成倒伏的主因^(22,24,31,32)。

表 4. 水稻「臺南 16 號」兩期作成熟期之倒伏指數多元線性迴歸估測模式

Table 4. The lodging index estimation models of TN16 using multiple linear regression at the maturity stage in the first crop season and second crop season

參數 Parameter	LI = a + b H ^a + c L + d N + e S + f F + g W + h YD								樣本數 N	模式決定係數 Model R ²	p 值 p-value
	a	b	c	d	e	f	g	h			
LI 1stb (Partial R ²)	-23.3962	0.1836	—	—	—	—	—	0.0012	30	0.8111	< 0.01
	—	(0.5531)	—	—	—	—	—	(0.4789)			
LI 2nd (Partial R ²)	-25.3281	0.2144	—	—	—	—	—	0.0013	30	0.6265	< 0.01
	—	(0.4619)	—	—	—	—	—	(0.2225)			

^a H: 株高, L: 穗長, N: 穗數, S: 一穗穎花數, F: 稔實率, W: 千粒重, YD: 產量。

^b LI 1st: 第一期作倒伏指數估測模式, LI 2nd: 第二期作倒伏指數估測模式。

^a H: plant height, L: panicle length, N: panicle number, S: spikelet per panicle, F: fertility, W: 1,000-grain weight, YD: yield.

^b LI 1st: lodging index estimation model in the first crop season, LI 2nd: lodging index estimation model in the second crop season.

利用估測模式繪製第一期作及第二期作的株高、稻穀產量與倒伏指數關係圖(圖 1 及圖 2)，分別以倒伏指數 1、3、5 的迴歸線進行區間分隔。比較圖 1 及圖 2 結果，可發現第一期作與第二期作在相同的株高及稻穀產量下，第一期作的稻株較第二期作不易倒伏，此可能與兩期作根系發育狀況不同有關。第一期作生育初期溫度低，根系生長慢，但根徑粗；第二期作生育初期溫度高，根系生長快速，然而根徑細，生育後期腐敗根比率較第一期作高⁽²⁾。圖 1 及圖 2 的低倒伏風險綠色區間內，可達到稻穀產量最大值的株高稱為臨界株高，第一期作臨界株高為 96.2 公分，第二期作臨界株高為 94.0 公分，稻株高度若超過臨界株高則倒伏風險隨之提升。水稻抽穗後株高即不再變化，管理者可利用本結果作為栽培「臺南 16 號」的田間管理依據，當抽穗後稻株高於臨界高度時，採取控制田間灌溉水量、施用矽酸資材⁽²⁵⁾等因應措施，能降低倒伏風險，收穫適當稻穀產量。

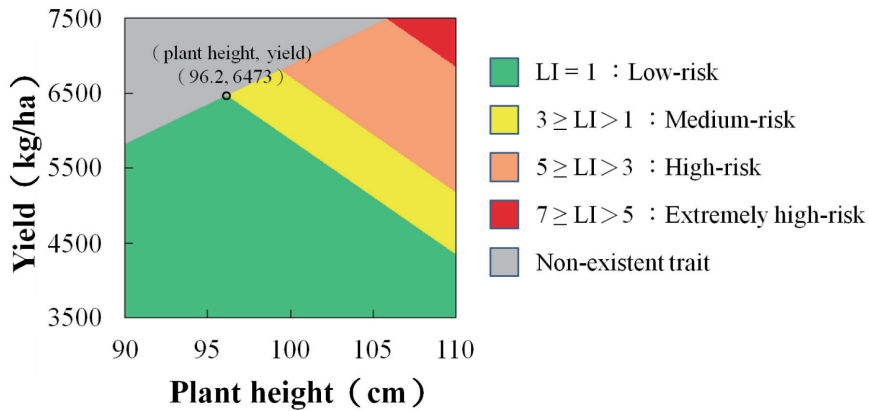


圖 1. 水稻「臺南 16 號」第一期作株高、稻穀產量及倒伏指數關係圖

Fig 1. The relationship among the plant height, the yield and the lodging index of TN16 in the first crop season

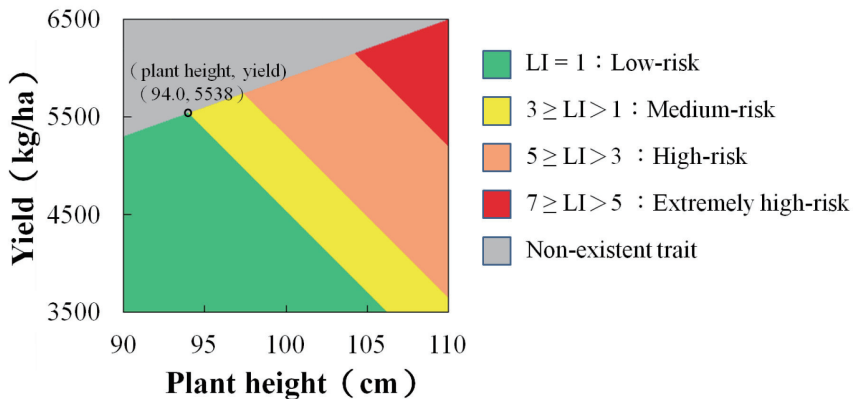


圖 2. 水稻「臺南 16 號」第二期作株高、稻穀產量及倒伏指數關係圖

Fig 2. The relationship among the plant height, the yield and the lodging index of TN16 in the second crop season

三、穗肥施用前農藝性狀與成熟期倒伏性之關係

在不同氣候環境、土壤肥力狀態下，稻株在穗肥施用前的生長狀態皆有差異，因此，根據穗肥施用前的稻株農藝性狀，調整穗肥氮素施用量，有助於控制稻株倒伏發生^(11,19)。為探討「臺南 16 號」穗肥施用前農藝性狀與成熟期發生倒伏之關係，本研究參考陳⁽⁵⁾、押川等人⁽¹⁸⁾、福島等人⁽²¹⁾的研究，選擇穗肥施用前之株高、第一葉葉長、分蘗數、SPAD、LAI 等農藝性狀及穗肥之氮肥施用量，針對成熟期倒伏指數進行相關性分析。相關性分析結果顯示(表 5)，第一期作 LAI、株高及穗肥氮素施用量與倒伏指數顯著相關，第二期作則是穗肥施用前第一葉葉長、株高與倒伏指數顯著相關，此結果與佐藤等人研究結果相似⁽¹⁷⁾，該研究指出，穗肥施用前的葉面積與稻株倒伏性有顯著相關，而穗肥施用前稻株第一片完全展開葉葉長與上位第四段及第五段節間長度有顯著相關，為稻株倒伏的觀察指標。

表 5. 水稻「臺南 16 號」兩期作穗肥施用前農藝性狀、穗肥氮素施用量與成熟期倒伏指數之相關係數

Table 5. The correlation coefficient of the agronomic traits, the nitrogen top-dressing and the lodging index of TN16 before top-dressing during panicle initiation in the first crop season and second crop season

期作 Crop season	株高 Plant height	第一葉葉長 First Leaf length	分蘗數 Tiller number	葉綠素計值 SPAD	葉面積指數 LAI	穗肥氮素施用量 Nitrogen top-dressing
第一期作 1st crop season	0.7562 ^{***}	0.3224	0.4716	0.5110	0.7778 ^{**}	0.6816 [*]
第二期作 2nd crop season	0.5530 [*]	0.6844 ^{**}	0.4450	0.3151	0.3397	0.4710

^{a*} 及 ^{**} 分別表示穗肥施用前農藝性狀與倒伏指數於 5% 及 1% 水準下達顯著性相關。

^{a*} and ^{**} represent significance at 5% and 1% levels, respectively.

四、建立穗肥氮素施用量對於成熟期倒伏指數之估測模式

增加穗肥氮素施用量，有助於稻穀產量，同時也會提升株高，提高倒伏風險⁽²⁰⁾，為降低「臺南 16 號」發生倒伏情況，本研究利用多元線性迴歸分析，建立穗肥前農藝性狀及穗肥氮素施用量對成熟期倒伏指數的估測模式，作為水稻「臺南 16 號」穗肥的合理施用參考。

多元線性迴歸分析結果顯示(表 6)，第一期作倒伏指數的估測模式(LI 1st)的 R^2 達到 0.7884，參數包含穗肥施用前 LAI 及穗肥施用量；第二期作倒伏指數的多元線性迴歸估測模式(LI 2nd)的 R^2 為 0.6022，參數為穗肥施用前之株高、分蘗數及穗肥氮素施用量。利用前述估測模式，於施用穗肥前調查相關性狀，即可計算合理穗肥氮素施用量，控制水稻「臺南 16 號」倒伏發生情況。由於第一期作估測模式參數包含 LAI，LAI 須利用植冠分析儀測定，一般農民不易取得該設備，本研究另外以穗肥施用前之株高、穗數、第一葉葉長及葉綠素計值等參數建立穗肥施用前 LAI 估測模式(表 7)，結果顯示可利用穗肥施用前之株高、穗數進行穗肥施用前之 LAI 估測， R^2 可達到 0.8921。因此，將第一期作倒伏指數的多元線性迴歸估測模式，以穗肥施用前之株

高、分蘗數及穗肥氮素施用量等參數重新進行迴歸分析(表 6)，得到第一期作調整後估測模式(LI 1st adj.)，R² 雖降低至 0.7381，然而參數性狀調查較為容易，便於推廣農民利用。

表 6. 水稻「臺南 16 號」兩期作穗肥施用前之倒伏指數多元線性迴歸估測模式
Table 6. The lodging index estimation models of TN16 using multiple linear regression before top-dressing during panicle initiation in the first crop season and second crop season

參數 Parameter	LI = a + b H ^a + c L + d N + e S + f F + g W + h YD							樣本數 N	模式決定係數 Model R ²	p 值 p-value
	a	b	c	d	e	f	g			
LI 1stb (Partial R ²)	-14.6120 —	— —	— —	— —	— —	7.6426 (0.6583)	0.0225 (0.2125)	30	0.7884	< 0.01
LI 1st adj. (Partial R ²)	-16.2297 —	0.2390 (0.4111)	— —	0.0475 (0.1060)	— —	— —	0.0232 (0.1258)	30	0.7381	< 0.01
LI 2nd (Partial R ²)	-23.3849 —	0.2297 (0.2129)	— —	0.1548 (0.0991)	— —	— —	0.1396 (0.2632)	30	0.6022	< 0.01

^a PH：穗肥施用前株高，PL：穗肥施用前第一葉葉長，PT：穗肥施用前分蘗數，PS：穗肥施用前葉綠素計值，PLAI：穗肥施用前葉面積指數，PN：穗肥施用量。

^b LI 1st：第一期作倒伏指數估測模式，LI 1st adj.：第一期作調整後之倒伏指數估測模式 LI 2nd：第二期作倒伏指數估測模式。

^a PH: plant height before top-dressing during panicle initiation, PL: first Leaf length before top-dressing during panicle initiation, PT: tiller number before top-dressing during panicle initiation, PS: SPAD value before top-dressing during panicle initiation, PLAI: leaf area index before top-dressing during panicle initiation, PN: nitrogen top-dressing before top-dressing during panicle initiation.

^b LI 1st: lodging index estimation model in the first crop season, LI 1st adj.: lodging index estimation model which was adjusted in the first crop season, LI 2nd: lodging index estimation model in the second crop season.

表 7. 水稻「臺南 16 號」第一期作穗肥施用前之 LAI 多元線性迴歸估測模式
Table 7. The LAI estimation models of TN16 using multiple linear regression before top-dressing during panicle initiation in the first crop season

參數 Parameter	PLAI = a + b PH ^a + c PL + d PT + e PS					樣本數 N	模式決定係數 Model R ²	p 值 p-value
	a	b	c	d	e			
PLAI 1st ^b (Partial R ²)	-0.3059 —	0.0344 (0.7502)	— —	0.0015 (0.1201)	— —	30	0.7381	< 0.01

^a PH：穗肥施用前株高，PL：穗肥施用前第一葉葉長，PT：穗肥施用前分蘗數，PS：穗肥施用前葉綠素計值。

^b PLAI 1st：第一期作穗肥施用前葉面積指數估測模式。

^a PH: plant height before top-dressing during panicle initiation, PL: first Leaf length before top-dressing during panicle initiation, PT: tiller number before top-dressing during panicle initiation, PS: SPAD value before top-dressing during panicle initiation.

^b PLAI 1st: leaf area index estimation model before top-dressing during panicle initiation in the first crop season.

「越光」為日本栽培面積最大的水稻品種，由於其帶有易倒伏特性，日本建立了多種穗肥施用前的稻株診斷模式，診斷指標包含株高、分蘗數、葉色、葉長及葉面積等，不同模式其診斷指標不同，利用診斷模式可評估稻株狀態，決定穗肥施用量，避免倒伏發生^(15,16,18,21)。本研究利用「臺南 16 號」不同氮肥施用等級之穗肥施用前農藝性狀及穗肥氮素施用量，針對倒伏指數建立簡易估測模式，作為「臺南 16 號」穗肥施用量依據，期望降低栽培技術門檻，減少倒伏風險，穩定農民收益。

結 論

本研究透過成熟期株高及稻穀產量可簡易估測水稻「臺南 16 號」倒伏程度，並建立水稻「臺南 16 號」穗肥施用前農藝性狀及穗肥之氮肥施用量等參數對倒伏指數的估測模式，提供農民作為穗肥氮素施用量之指標，有利於減少水稻「臺南 16 號」發生倒伏，使農民收穫合適產量，獲得穩定收益。

引用文獻

1. 李紅嬌、張喜娟、李偉娟、徐正進、徐海。2009。不同穗型粳稻品種抗倒伏性的比較。中國水稻科學 23 卷 2 期：191-196。
2. 侯清利、黃天成。1984。一、二期稻作土壤環境、根部活力與產量之分析比較。臺灣省農業試驗所特刊 16：45-57。
3. 袁藝宇、李成章、朱德民、張學錕。1987。水稻抗倒伏與農藝性狀相關之研究。I. 水稻抗倒伏性與其莖桿組織之外部形態之相關。農藝彙報 10：1-9。
4. 閻川、丁豔鋒、王強盛。2008。穗肥施量對水稻植株形態、群體生態及穗葉溫度的影響。作物學報 34(12)：2176-2183。
5. 陳榮坤。2016。臺灣地區水稻植冠結構變化對光能利用、產量及外觀品質的影響。國立中興大學農藝學系博士班博士論文。臺中。臺灣。
6. 陳榮坤、陳宗禮。2015。氮肥施用量對水稻莖稈生育的影響。臺南區農業改良場研究彙報 66：24-38。
7. 陳榮坤、林彥蓉、羅正宗。2012。水稻新品種臺南 16 號之育成。臺南區農業改良場研究彙報 60：1-12。
8. 張濤、殷紅、辛明月。2010。水稻冠層光合有效輻射的分布特徵及其與葉面積指數的關係。中國農業氣象 31(2)：251-254。
9. 劉祐廷、陳榮坤。2020。臺版越光米—水稻「臺南 16 號」的推廣成果與迴響。臺南區農業專訊 111：20-23。
10. 閻川、丁豔鋒、王強盛。2008。穗肥施量對水稻植株形態、群體生態及穗葉溫度的影響。作物學報 34(12)：2176-2183。
11. 羅正宗。2007。水稻越光品種安定生產之穗肥診斷技術的研究。臺南區農業改良場研究彙報 49：24-34。
12. 羅正宗、林俊隆。2000。利用植冠分析儀測定水稻葉面積指數之標準規範。中華農藝

- 10(1) : 13-21。
13. 羅正宗、陳一心、劉啟東。2000。水稻植株葉色變化與測定方法。嘉義大學學報 69 : 15-22。
 14. 八木忠之。1998。イネの強稈性に関する育種学的研究。北陸農試報 41 : 19-78。
 15. 今川彰教、柴田康志。2006。山形県庄内地域におけるコシヒカリの穂肥対応と倒伏診断技術。東北農業研究 59 : 17-18。
 16. 佐藤勉。2002。コシヒカリの生育診断にもとづく倒伏防止技術の研究。北陸作物学会報 37 : 4-9。
 17. 佐藤勉、林恒夫、岩田忠寿。1993。画像解析を利用した水稻の生育診断技術。福井県農業試験場報告 30 : 19-26。
 18. 押川純二、川越博、吉岡秀樹、初山聡。2005。早期水稻「コシヒカリ」の簡易な倒伏予測法。九州農業研究 67 : 9。
 19. 岡本正弘、堀野俊郎。1994。米の氮素含量の品種間差異及栽培条件にむる變異と葉色との關係。育種學雜誌 44 : 177-181。
 20. 齋藤祐幸。1991。施肥と倒伏。北陸作物学会報 26 : 125-131。
 21. 福島敏和、山口正篤、青木岳央。1993。水稻「コシヒカリ」の穂肥時期前の形態による倒伏予測。日本作物学会関東支部会報 8 : 15-16。
 22. Alcantara, J. M., K. G. Cassman, M. Consuelo, O. J. Bienvenido and Samuel, P. L. 1996. Effects of late nitrogen fertilizer application on head rice yield, protein content, and grain quality of rice. *Cereal chem.* 73(5): 556-560.
 23. Basak, M. N., S. K. Sen and P. K. Bhattacharjee. 1962. Effects of high nitrogen fertilization and lodging on rice yield. *Agron. J.* 54: 477-480.
 24. Begum, S., B. Srinivas, V. R. Reddy and A. Kumari. 2021. Multiple regression, correlation and path analysis of gall midge incidence, yield and yield components in rice (*Oryza sativa* L.) hybrids. *Curr. J. Appl. Sci. Technol.* 40(2): 33-45.
 25. Dorairaj, D., M. R. Ismail, U. R. Sinniah and T. K. Ban. 2017. Influence of silicon on growth, yield, and lodging resistance of MR219, a lowland rice of Malaysia. *J. Plant Nutr.* 40(8): 1111-1124.
 26. Fukushima, A. 2007. Effects of timing of nitrogen topdressing on morphological traits in different rice varieties. *Jpn. J. Crop Sci.* 76(1): 18-27.
 27. Islam, M. S., S. Peng, R. M. Visperas, N. Ereful, M. S. U. Bhuiya and A. W. Julfiquar. 2007. Lodging-related morphological traits of hybrid rice in a tropical irrigated ecosystem. *Field Crops Res.* 101(2): 240-248.
 28. Kashiwagi, T., H. Sasaki and K. Ishimaru. 2005. Factors responsible for decreasing sturdiness of the lower part in lodging of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Prod. Sci.* 8(2): 166-172.
 29. Kamiji, Y., S. Hayashi and T. Horie. 1993. Influences of nitrogen nutrient and solar radiation in the canopy on length of lower internodes of rice. *Jpn. J. Crop Sci.* 62(2): 164-171.
 30. Li, H. J., X. J. Zhang, W. J. Li, Z. J. Xu and H. Xu. 2009. Lodging resistance in japonica rice varieties with different panicle types. *Chin. J. Rice Sci.* 23(2): 191-196.
 31. Rani, M. G., P. V. Satyanarayana, M. L. Ahmed, Y. A. Rani, V. S. Rao and P. Jhansirani. 2017.

- Breeding strategies for lodging resistance in rice. *Int. J. Bio-Resour. Stress Manage.* 8(6): 895-903.
32. Salman, D., S. Morteza, Z. Dariush, G. M. Abbas, Y. Reza, G. D. Ehsan and N. A. Reza. 2012. Application of nitrogen and silicon rates on morphological and chemical lodging related characteristics in rice (*Oryza sativa* L.) at north of Iran. *J. Agric. Sci.* 4(6): 12-18.
33. Yang, S. M., L. Xie, S. L. Zheng, J. Li and J. C. Yuan. 2009. Effects of nitrogen rate and transplanting density on physical and chemical characteristics and lodging resistance of culms in hybrid rice. *Acta Agron. Sin.* 35(1): 93-103.
34. Zhang, J., G. H. Li, Y. P. Song, Z. H. Liu, C. D. Yang, S. Tang, C. G. Zheng, S. H. Wang and Y. F. Ding. 2014. Lodging resistance characteristics of high-yielding rice populations. *Field Crops Res.* 161: 64-74.

Establishment of the lodging estimation model for rice variety “Tainan 16”¹

Liu, Y. T. and R. K. Chen²

Abstract

The rice quality of cultivar Tainan 16 (TN16) is great, and it's deeply loved and recognized by the consumers. However, the rice plants is prone to lodging so that it has a high threshold of cultivation technique. In order to explore the relationship between nitrogen application, agronomic traits and lodging traits of TN16, this study carried out the cultivation test of different nitrogen applications for TN16. We analyzed the correlation between agronomic traits and lodging index at maturity stage, and established the lodging index estimation model using multiple linear regression. The results indicated that the coefficient of determination (R^2) of the estimation model in the first crop season is 0.8111 and in the second crop season is 0.6265. The parameters of the estimation model included plant height and yield in the both first and second season. Thus, plant height and yield were the key traits affecting lodging at maturity stage. Then, we analyzed the correlation among agronomic traits, nitrogen top-dressing amount and lodging index before top-dressing during panicle initiation for the establishment of lodging index estimation models for fertilizer management during panicle initiation. The results showed that the coefficient of determination (R^2) of the estimation model in the first crop season is 0.7884 and in the second crop season is 0.6022. The parameters of the estimation model included leaf area index and nitrogen top-dressing during panicle initiation in the first crop season, and plant height, tillering numbers and nitrogen top-dressing during panicle initiation in the second crop season. In this study, we established the lodging index estimation models which can help farm managers determine nitrogen top-dressing amount according to the growth status, and alleviate the lodging risk of TN16.

What is already known on this subject?

The fertilization management of TN16 was usually based on the fixed fertilization model.

What are the new findings?

We developed the lodging index estimation models for TN16, and it can help determine the nitrogen top-dressing amount during panicle initiation.

What is the expected impact on this field?

The results in this study can be used to reduce the risk of lodging of TN16, and alleviate the risk of production.

Key words: Rice variety “Tainan16”, Lodging, Lodging estimation model

Accepted for publication: May 18, 2023

1. Contribution No. 556 from Tainan District Agricultural Research and Extension Station.
2. Assistant Researcher, Associate Researcher & Head of Chiayi Branch, Tainan District Agricultural Research and Extension Station. 70 Muchang, Hsinhua, Tainan 712009, Taiwan, R.O.C.