

高溫逆境對水稻幼苗光生理指標影響之研究

陳昶璋^{1,3*} 楊志維² 郭宇翔¹ 林柏齡¹ 黃文達^{1**} 楊棋明^{1,3**}

¹國立台灣大學農藝學系 ²行政院農業委員會桃園區農業改良場 ³中央研究院生物多樣性研究中心
聯絡人服務單位：中研院生多中心 cmyang@gate.sinica.edu.tw 聯絡人 電話：02-2787-1095

摘要

本研究之目的在瞭解高溫 (42°C) 對台南11號 (TN 11) 及台中私10號 (TCS 10) 水稻 (*Oryza sativa* L.) 幼苗葉片色素、脂質過氧化物 MDA 與光生理指標之影響，以建構高溫逆境下水稻產量預測之光生理指標。結果顯示，在高溫處理後 TN 11 及 TCS 10 葉片葉綠素 a+b、類胡蘿蔔素的含量皆有上升的情況，於葉綠素 a/b 比值則是呈現下降趨勢，而脂質過氧化物 MDA 變化未達顯著差異。高溫處理後水稻的葉綠素螢光 ($F'v/F'm$)、PSII 的實際光化學效能 (Φ_{PSII}) 及光化學消散 (qP) 不如預期呈現下降趨勢。而非光化學消散 (NPQ) 變化在品種之間有顯著差異，以 TCS 10 大於 TN 11；另外高溫處理後水稻幼苗的光化學反射指數 (PRI) 值 TCS10 高於 TN 11。上述結果說明，在高溫逆境下水稻幼苗消散過量的光能時， qN 和 PRI 之間的關連性，並確認 PRI 所反應的葉黃素循環在高溫逆境下替水稻幼苗消散多餘的游離能，以保護光合系統II，降低高溫逆境對水稻幼苗的傷害。

材料與方法

- ◆ 參試品種: 水稻 (*Oryza sativa* L.) 台南11號 (TN11) 與台中私10號 (TCS10) 三葉齡水稻幼苗。
- ◆ 處理方法: 黑暗四小時高溫 42°C 處理對照 25°C 黑暗處理。恢復兩天後取幼苗第三葉進行調查與分析。
- ◆ 調查項目
光生理指標:
 - (1) 測量葉片紅光與近紅外光波段之反射率:
 $NDVI$ (normalized difference vegetation index)
 $NDVI = (IR-R)/(IR+R)$
 $R=660\text{ nm}, IR=740\text{ nm}$
 - (2) 測量 531 nm 與 570 nm 之光化學反射率:
PRI (photochemical reflectance)
 $PRI = (R_{531} - R_{570}) / (R_{531} + R_{570})$
 - (3) 測量水稻葉片 $F'v/F'm$ 、 Φ_{PSII} 、 qP 、 qN 與 NPQ。
- ◆ 色素分析: 測量葉綠素 (Chlorophylls)、類胡蘿蔔素 (Carotenoids)。
- ◆ TBARS分析: 測量丙二醛 (Malondialdehyde, MDA)。

熱逆境後色素與MDA含量變化

- ◆ 類胡蘿蔔素上升，葉綠素 a/b 比值下降，高溫已影響光合色素合成途徑。
- ◆ MDA 皆未顯著，顯示高溫尚未對膜系造成傷害。

表1. 水稻 TN 11 及 TCS10 處理熱逆境後，測量 MDA、各色素含量變化情形。

Var	Treat	Chl a+b	Carotenoid	Car/Chl	MDA
		----- ($\mu\text{g g}^{-1}\text{ DW}$) -----			($\mu\text{g g}^{-1}\text{ DW}$)
TN11	CK	15,797 ab*	5,006 a	0.32 a	87.5 a
	HT	16,223 a	5,149 a	0.32 a	83.0 a
TCS10	CK	14,020 bc	4,033 b	0.29 b	94.0 a
	HT	13,681 c	4,328 b	0.32 a	95.1 a

*不同字母代表LSD分析達5%顯著差異。

- ◆ TN11:
 - 葉綠素 a+b 上升。
 - 類胡蘿蔔素上升。
 - 葉綠素 a/b 比值下降。
 - MDA 未顯著。
- ◆ TCS10:
 - 葉綠素 a+b 下降。
 - 類胡蘿蔔素上升。
 - 葉綠素 a/b 比值下降。
 - MDA 未顯著。

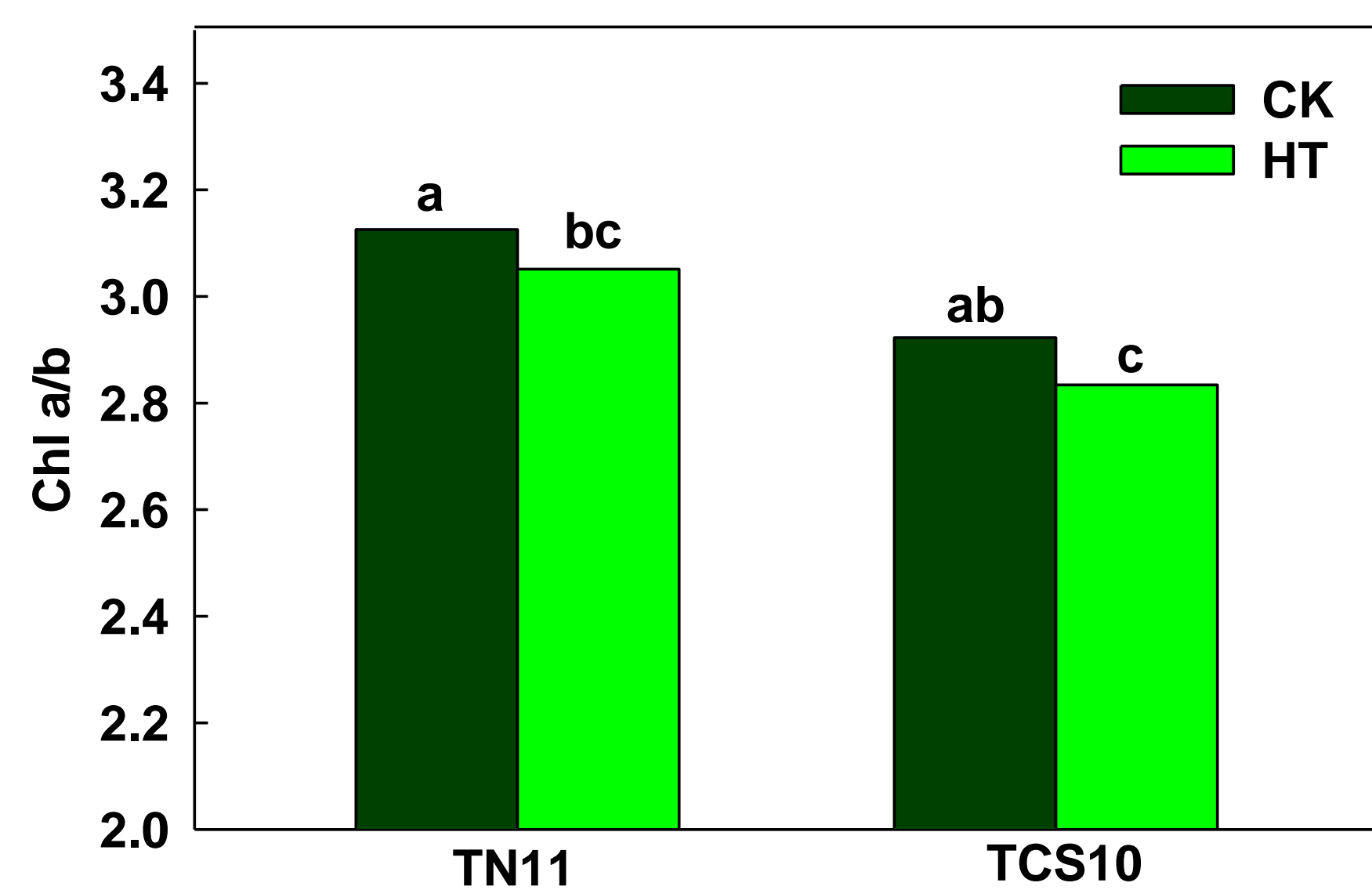


圖1. 水稻 TN11 及 TCS10 熱逆境後 Chl a/b 變化趨勢圖。不同字母代表LSD分析達5%顯著差異。

熱逆境後葉綠素螢光曲線

- ◆ NPQ 及 qN 隨著 PAR 增加而上升，TCS10 上升幅度較大，PRI 呈現下降，TCS10 較小。
- ◆ 推測 TCS10 由葉黃素循環消散能力較佳。

- ◆ TN11:
 - $F'v/F'm$ 及 Φ_{PSII} 隨 PAR 增加呈顯著下降。
 - qP 不如預期下降。
- ◆ TCS10:
 - $F'v/F'm$ 及 Φ_{PSII} 隨 PAR 增加呈下降趨勢。
 - qP 亦不如預期下降。

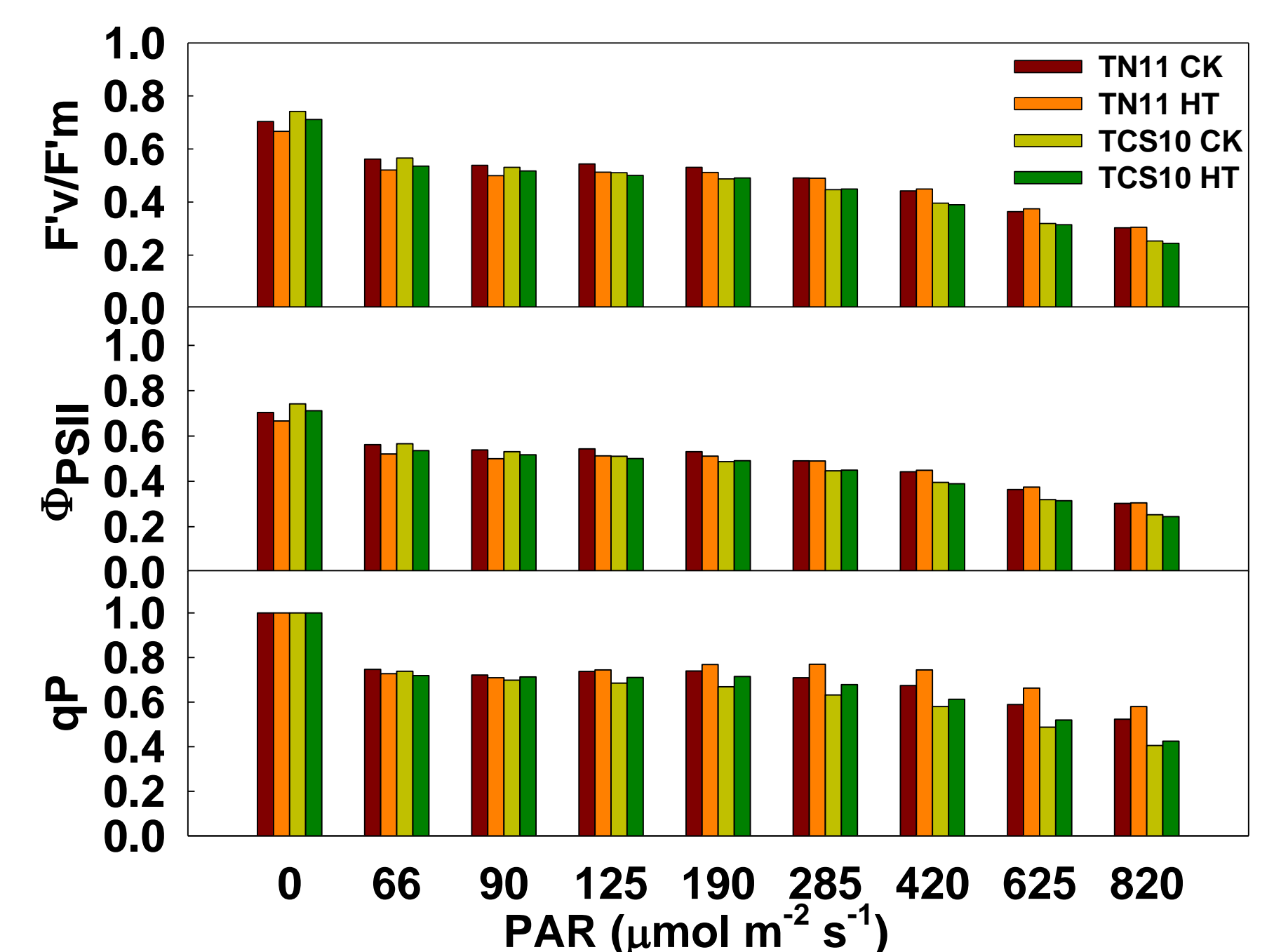


圖2. 水稻 TN11 及 TCS10 處理常溫 (CK) 及高溫 42°C (HT)，在 PAR (光合作用有效能量) 增加時，光化學消散指標 $F'v/F'm$ 、 Φ_{PSII} 、 qP 之變化。

- ◆ TN11
 - NPQ 及 qN 隨 PAR 增加而上升。
- ◆ TCS10
 - NPQ 及 qN 亦隨 PAR 增加而上升。

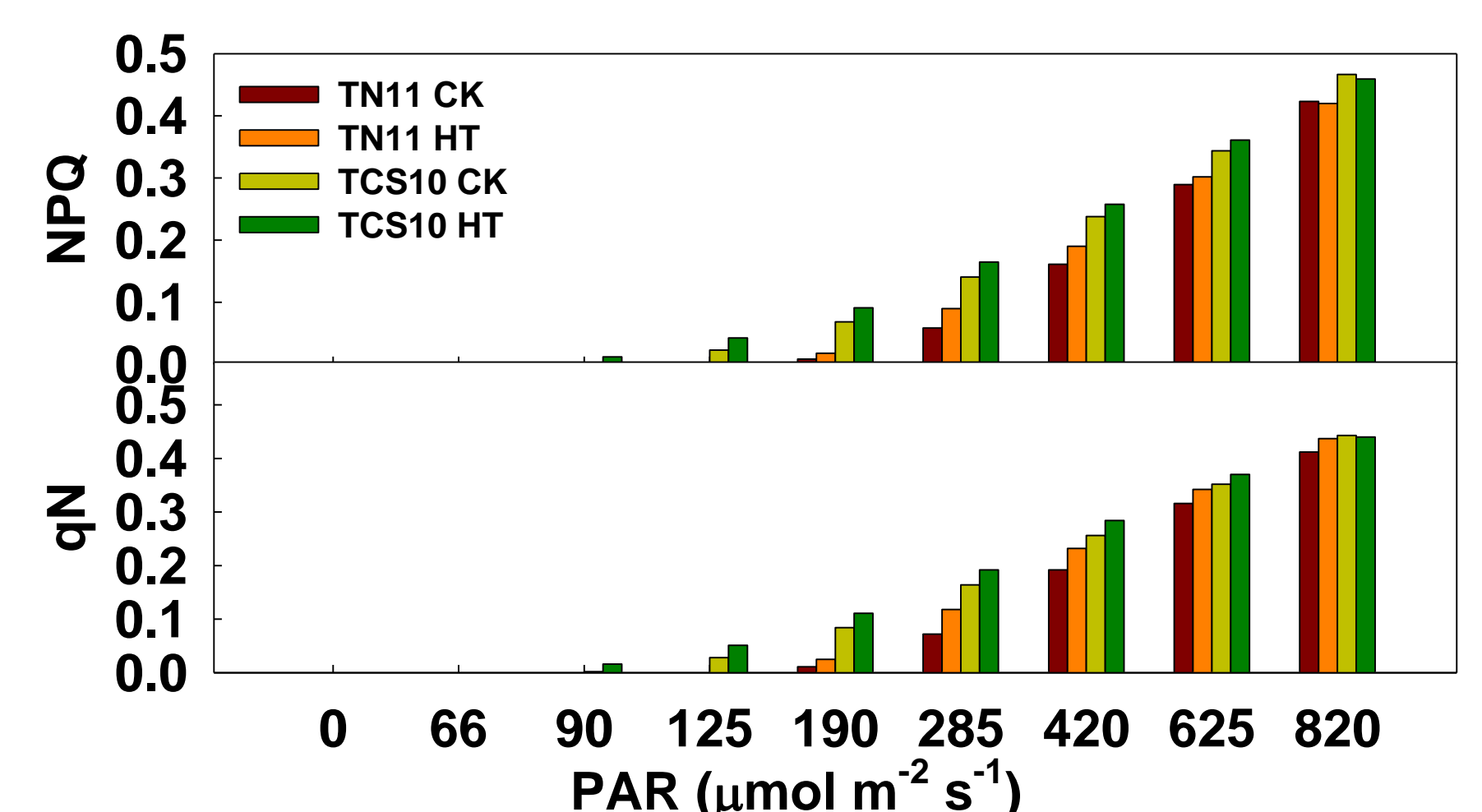


圖3. 水稻 TN11 及 TCS10 處理常溫 (CK) 及高溫 42°C (HT)，在 PAR (光合作用有效能量) 增加時，非光化學消散 NPQ、 qN 之變化。

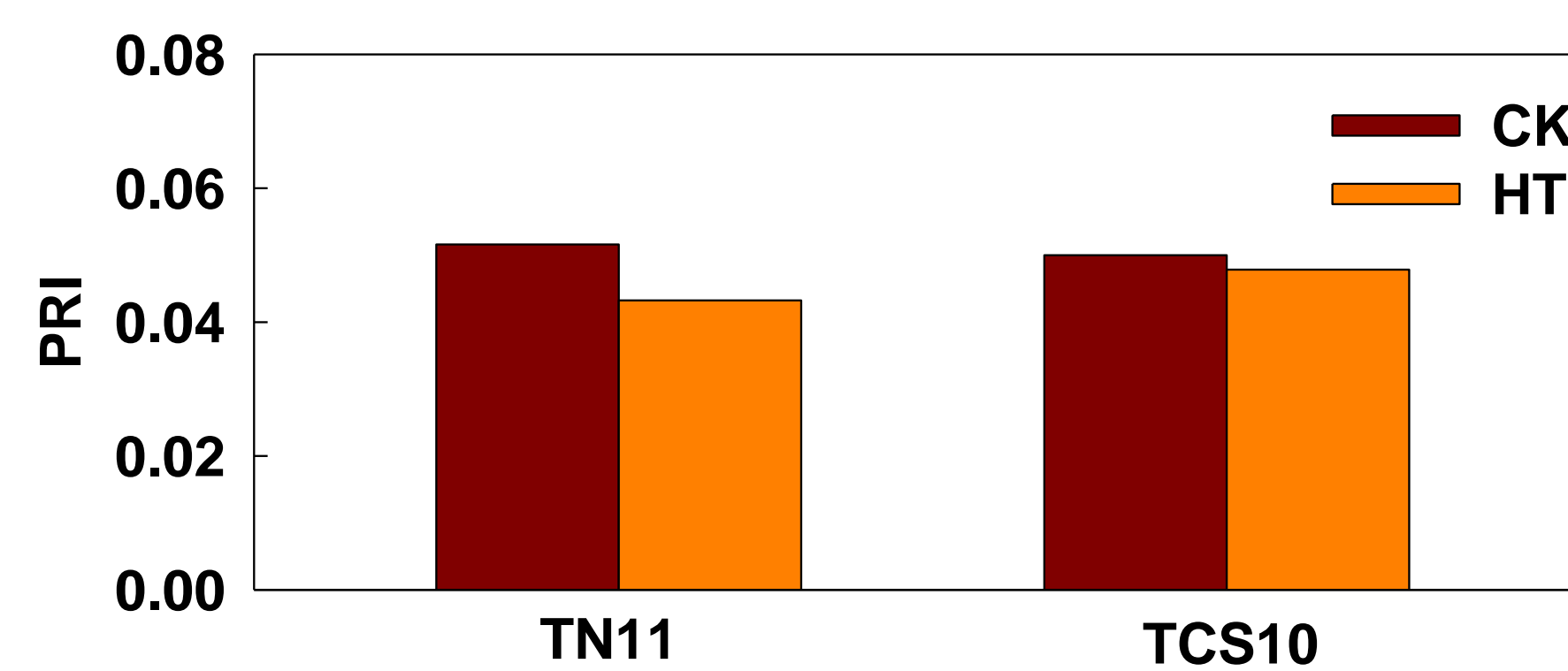


圖4. 水稻 TN11 及 TCS10 熱逆境後葉片中 PRI 變化。

- ◆ TN11:
 - 42°C 熱處理後 PRI 下降。
- ◆ TCS10:
 - 42°C 熱處理後 PRI 亦呈下降。

結論

- ◆ 光生理指標能有效反應水稻生育狀態中光合作用效率。
- ◆ 品種間 TCS10 之 NPQ 較 TN11 高，結合 PRI 結果推論可能藉由葉黃素循環來消散過多的熱能。
- ◆ 本次實驗部分結果差異在統計上未達顯著，推論本次之高溫處理對幼苗而言並不是非常嚴峻的逆境。
- ◆ 光生理指標可達到快速且非破壞性的監測水稻生育之功能。

- ◆ 建立逆境中的光生理指標，未來面臨全球化變遷可透過快速探測其指標了解生理狀態。
- ◆ 針對不同水稻生育時期測量葉片之光生理指標，與各項農藝性狀進行關聯性分析，建立高溫逆境下水稻生育表現與光生理指標之關聯性，使光生理指標成為篩選耐高溫水稻之早期輔助選拔工具。