

利用 SPAD 值與電解質滲漏率評估高溫環境下 狼尾草生長變化⁽¹⁾

蔡立中⁽²⁾⁽³⁾ 李姿蓉⁽²⁾ 鍾萍⁽²⁾

收件日期：110 年 3 月 23 日；接受日期：110 年 8 月 25 日

摘 要

全球氣候變遷，高溫、乾旱等極端氣候對牧草作物之產量與品質產生不良影響，其問題越來越嚴重。本研究探討國內選育之狼尾草品種於夏季高溫下之生長狀況與 SPAD (Soil-Plant Analysis Development) 值之相關性，期望能加快選育耐逆境牧草新品種之速度。狼尾草台畜草 1 至 8 號 (Napiergrass Taishu No. 1 to No. 8, NP cv. TS 1 - 8) 於夏季高溫環境下栽培於不透風溫室內 8 週，調查其 SPAD 值與電解質滲漏率，以及株高、產量等農藝性狀表現，進行農藝性狀與 SPAD 值及電解質滲漏率相關性分析。結果顯示，狼尾草第 1 週至 8 週內株高之總改變率以台畜草 6 號最高。SPAD 值以狼尾草台畜草 6、7 號較高，而 4、5 號較低；電解質滲漏率在各品種間則無顯著差異。將 SPAD 值與株高生長率作相關性分析，除與台畜草 1 號及 2 號不顯著外，其餘品種則皆為顯著正相關，大部分品種之相關係數為介於 0.3 至 0.7 之間之中度相關，而最高者為台畜草 4 號，其相關係數達 0.716。電解質滲漏率與株高生長率相關性之顯著性分析，除台畜草 3 號以外皆不顯著。本研究之結果，多數狼尾草品種於高溫環境下，SPAD 值與株高生長率之間具正相關性，可做為未來新品種選育之參考指標。

關鍵詞：高溫、狼尾草、SPAD 值、電解質滲漏率。

緒 言

因全球氣候變遷，極端化氣候頻傳，臺灣近年來年平均溫度更是逐年增高。高溫氣候對植物之影響可造成植物在結構、形態、生理、生化及遺傳等層次上發生改變，因而降低其產量或品質 (陳等, 2013)。植物之耐熱性 (Heat tolerance) 為可遺傳及馴化的生理反應 (Ismail and Hall, 1999)，而耐熱性篩選可分為外部形態和經濟性狀、微觀結構、生理生化指標及分子標誌等四大類 (陳, 2013)。國內畜牧常用芻料作物種類諸如狼尾草、盤固草、尼羅草、青割玉米和甜高粱等，近年來曾觀察到在遭遇持續 1 至 2 週高溫、乾旱，陸續出現黃葉和節間縮短等現象，但有些品種 (系) 牧草則表現較不明顯，顯示品種 (系) 間可能具有耐熱及耐旱程度上之差異。

植物葉片之葉綠素含量可利用葉綠素計做非破壞性測量，葉綠素計測得讀值 SPAD (Soil-Plant Analysis Development) 之原理為測量植株葉片 650 nm 和 940 nm 兩個波長的透射率，以此估計葉片之綠色程度，即葉片中的相對葉綠素濃度 (Barutçular *et al.*, 2016)。SPAD 值與葉片萃取之葉綠素含量呈高度線性相關，張及張 (1998) 以葉綠素計測定三種果樹葉片之 SPAD 值，結果顯示芒果、荔枝及梨之 SPAD 值與丙酮萃取法取得之葉綠素含量皆呈現二次效應迴歸方程式關係，其決定係數都高於 0.9。Netto *et al.* (2005) 指出咖啡葉中之葉綠素 a (Chlorophyll a)、葉綠素 b (Chlorophyll b)、類胡蘿蔔素 (Carotenoids) 及總葉綠素含量等光合色素皆與 SPAD 值呈現正向指數關係。Lombard *et al.* (2010) 之研究顯示兩種楊屬 (*Populus*) 植物葉片之 SPAD 值與總葉綠素含量呈正向直線關係，決定係數分別為 0.66 及 0.85。光合色素之多寡可反應植物光合作用功能之完整性 (廖, 2018)，因此於高溫環境下，利用 SPAD 值間接測量植株之葉綠素含量，藉以評估其生長狀況，是簡單、快速鑑定植物耐熱性的方法之一 (羅等, 2019)。

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 2678 號。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所飼料作物組。

(3) 通訊作者，E-mail: humanspider123@tlri.gov.tw。

細胞膜由雙層磷脂質所構成，在植物遭遇高溫、低溫、乾旱、淹水和高鹽等逆境時，細胞之代謝途徑異常，造成細胞膜構造改變，使之通透性增加，導致細胞電解質滲漏 (Electrolyte leakage, EL) 提高 (陳, 2013)。過去已有多篇農藝及園藝作物研究報告指出，利用此細胞膜之滲漏特性能有效鑑別出不同耐逆境能力之品種，為一敏感且可快速評估作物耐熱性之方法 (王及葉, 2013; 陳等, 2013; Dong *et al.*, 2013)。

狼尾草 (*Pennisetum purpureum* Schum.) 為國內畜產業重要芻料作物之一，可細切鮮飼或製成青貯料利用。自 1961 年從菲律賓引進以來，行政院農業委員會畜產試驗所依據產業需求陸續研發出株高、產量、品質皆各有其特色，適合各種用途之狼尾草台畜草 1 至 8 號 (李等, 2018; 林等, 2018)。過去狼尾草雖已建立基本性狀資料庫，但仍未有精準、快速之耐熱性評估方法。牧草外部形態與經濟性狀之田間調查耗時費力，若能以 SPAD 值與細胞電解質滲漏率等較為方便測量之指標作為輔助，間接評估在高溫環境下之生長狀況，作為牧草耐熱或耐旱性評估指標之依據，將有助於加速選育耐逆境之牧草新品種。本研究探討各狼尾草品種在高溫下之生長表現，並測量其 SPAD 值與細胞電解質滲漏率，使之結合作相關性分析，供牧草新品系選拔之參考，為未來之選育工作邁出第一步。

材料與方法

I. 試驗材料與試驗規劃

本試驗以狼尾草台畜草 1、2、3、4、5、6、7、8 號 (Napiergrass Taishu No. 1 to No. 8, NP cv. TS 1 - 8) 為試驗材料。台畜草 1、7、8 號為半矮性狼尾草，葉尖株高約 120 至 170 cm；其中台畜草 7 及 8 號高度適中，莖粗不容易倒伏，有利於機械採收。台畜草 3、6 號為矮性狼尾草，葉尖株高約 40 至 95 cm，形態特徵上與其他品種相比，其葉莖比高。台畜草 2、4、5 號為高莖型狼尾草，葉尖株高可超過 200 cm，產量上較高；其中台畜草 5 號因富含花青素，莖葉呈現紫色，可作為保健食品之原料 (林等, 2018; 范等, 2019)。

每一狼尾草品種採 3 重複，栽培於 40 × 40 × 35 cm 之盆栽內，並採取一般慣行之栽培模式。於夏季高溫環境下生長 2 週後將盆栽移至不透風之玻璃溫室內，模擬植株在高溫環境下生長之情形。玻璃溫室內放置一枚溫度記錄器 (HOBO Pro U23 系列) 以記錄溫度，儀器設定為每小時記錄一次。田間排列採完全隨機設計 (Completely randomized design, CRD)。

II. 農藝及經濟性狀調查

- (i) 試驗期間 2020 年 8 月 24 日至 10 月 16 日，每週記錄一次葉尖株高 (Plant height of leaf tip, PHL)，每盆測量 3 支，共計記錄 8 個週次，並於試驗結束後收割材料，量測每盆產量。
- (ii) 株高生長率：計算每週間株高的改變量，其計算方法為 $[(H_1 - H_0) / H_0] \times 100\%$ ， H_0 ：前一週之株高； H_1 ：當週之株高；株高生長率之計算結果若為負數則強制將其定為零。
- (iii) 第 1 週至 8 週內株高之總改變率：計算 8 週生長期內株高的淨改變量，其計算方法同上，然而 H_0 為第一週之株高； H_1 為則最後一週之株高。

III. SPAD 值與電解質滲漏率之分析方法

- (i) SPAD 值：以葉綠素計 (SPAD 502 Plus) 對植株葉片進行非破壞性之 SPAD 值測量，每週記錄 5 日，每日上、下午各記錄一次，共計記錄 8 週。測量部位為由植株頂端數下第 3 至 4 片成熟葉，每盆測量 2 葉，每葉測量一點，選擇葉片中央葉寬最大之處並避開中肋進行測量。
- (ii) 電解質滲漏率 (Electrolyte leakage rate)：每週測量一次，共計記錄 8 個週次。電解質滲漏率之測定方法及計算公式參考周等 (2017) 及廖 (2018) 之方法，每盆植株取 5 片避開中肋之成熟葉圓片 (直徑為 0.55 cm)，以去離子水洗淨後置入離心管並加入 15 mL 之純水。以 100 rpm 震盪 3 小時，後以電導度計測定初始電導度 (Initial electrical conductivity, EC_0)。接著將離心管置入 95 – 100℃ 之熱水浴 30 分鐘以破壞細胞膜，待其回復至室溫後測定最大電導度 (Maximum electrical conductivity, EC_1)。電解質滲漏率之計算公式： $EC (\%) = (EC_0 / EC_1) \times 100\%$ 。

IV. 統計分析

試驗結果以 SPSS 軟體 (2011) 進行變方分析與相關性分析，SPAD 值之結果顯示其資料母群體不符合常態分佈 (未通過 Shapiro-Wilk 常態性檢定)，因此以 Kruskal-Wallis test 進行無母數分析，並以鄧肯氏法 (Duncan's test) 進行事後比較；電解質滲漏率之結果以 One-Way ANOVA test 比較其差異顯著性。將每週調查之 SPAD 值與電解質滲漏率分別與株高生長率做相關性分析，SPAD 值將每日之調查資料先換算成每週之平均再做分析，相關性分析以皮爾森積差相關分析 (Pearson correlation) 進行之。

結果與討論

I. 溫室內之溫度環境

溫室內之每週之晝溫、夜溫及全天均溫如圖 1 所示，2020 年 8 月 24 日至 10 月 16 日共 8 週試驗期內之總平均晝溫為 33.1℃，溫度範圍為 25 至 36℃。總平均夜溫為 26.8℃，溫度範圍最低為 25.2℃，最高為 29.2℃。溫室內最熱時段（10 時至 14 時）之總平均溫度可達 35.6℃。

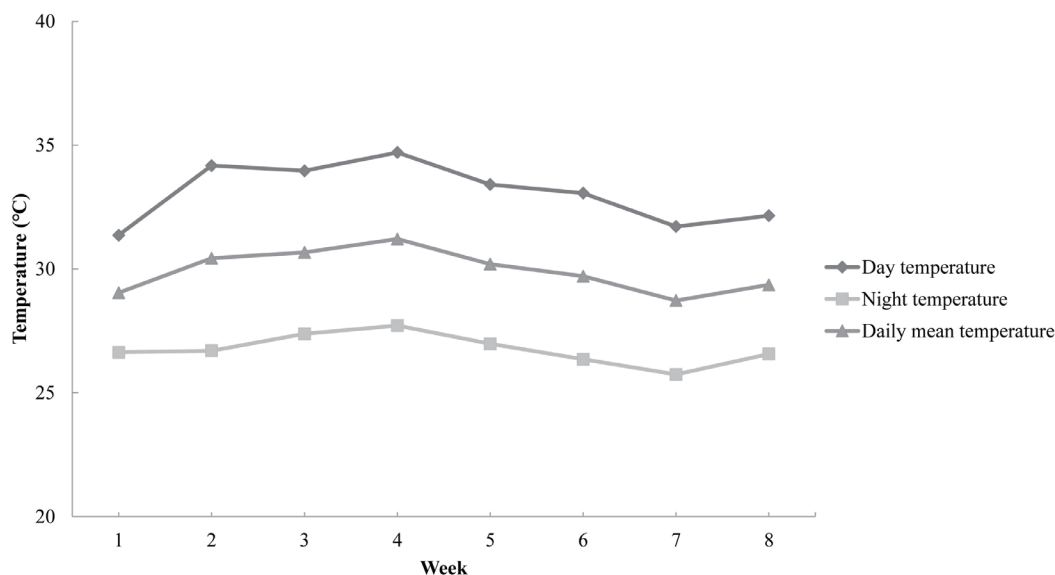


圖 1. 溫室內各週之晝溫、夜溫及全天均溫。

Fig. 1. The day temperatures, night temperatures, and daily mean temperatures in the greenhouse for each week.

II. 農藝性狀表現

狼尾草各品種於高溫下生長之農藝性狀結果如表 1，包含第 8 週株高、第 1 週至 8 週內株高之總改變率及第 10 週之每盆鮮重產量。第 1 週至 8 週內株高之總改變率以台畜草 6 號最高，共生長了 220.2%；鮮重產量方面以台畜草 2 號最低。

表 1. 不同狼尾草品種於高溫下生長之農藝性狀

Table 1. The agronomic traits of different napiergrass varieties grown under high temperature environment

| Variety | Plant height [#] cm | Changing rate of plant height % | Fresh forage yield kg/pot/cut |
|--------------------------|---------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| NP cv. TS 1 [@] | 87.8 ± 16.3* | 111.5 ± 41.8 | 0.42 ± 0.20 |
| NP cv. TS 2 | 129.9 ± 38.7 | 78.0 ± 64.3 | 0.29 ± 0.11 |
| NP cv. TS 3 | 94.3 ± 8.7 | 91.0 ± 29.5 | 0.54 ± 0.01 |
| NP cv. TS 4 | 168.9 ± 29.5 | 144.3 ± 17.7 | 0.44 ± 0.20 |
| NP cv. TS 5 | 181.9 ± 24.6 | 125.9 ± 75.6 | 0.50 ± 0.18 |
| NP cv. TS 6 | 149.1 ± 14.3 | 220.2 ± 46.0 | 0.54 ± 0.11 |
| NP cv. TS 7 | 120.4 ± 9.7 | 83.4 ± 26.9 | 0.49 ± 0.08 |
| NP cv. TS 8 | 124.5 ± 11.8 | 67.1 ± 16.6 | 0.66 ± 0.11 |

* Mean ± SD.

[#] Plant height: plant height at the 8th week; Changing rate of plant height: changing rate of plant height for the period from the 1st week to the 8th week; Fresh forage yield: fresh yield cut at the 10th week.

[@]NP cv. TS 1 - 8: Napiergrass Taishu No. 1 to No. 8.

株高生長率大致呈現 3 週前較高，之後隨著週數增加而遞減之趨勢（圖 2），此結果顯示高溫環境下狼尾草株高上的生長主要集中在第 1 至 3 週之生長前期，約至第 4 週後生長逐漸趨緩，之後維持穩定的生長速率。台

畜草 6 號於第 7 週至第 8 週間具有較高之株高生長率，而其他品種之生長率則較低，試驗中觀察到台畜草 6 號約於第 6 週之時開始抽穗，可能為造成其株高在最後一週仍大幅度抽高之原因。

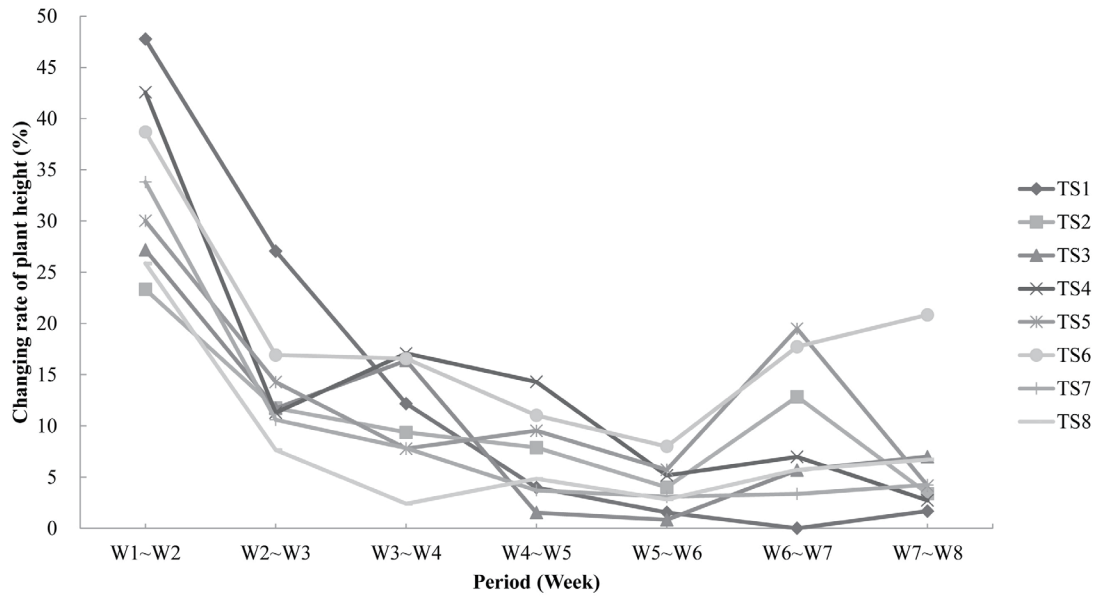


圖 2. 高溫環境下不同狼尾草品種各週之株高生長率。TS1 至 TS8 為狼尾草台畜草 1 至 8 號。

Fig. 2. Changing rates of plant height of different napiergrass varieties grown under high temperature environment for each week. TS1 to TS8 indicate NP cv. TS 1 to NP cv. TS 8.

III. SPAD 值與電解質滲漏率

在第 8 週，即最後一週之 SPAD 值以狼尾草台畜草 6、7 號較高，而 4、5 號較低 (Kruskal-Wallis test, $H = 59.73$, $P < 0.001$, 表 2)。本試驗中不同狼尾草品種於高溫生長條件下之 SPAD 值具顯著差異。高溫環境下 8 個狼尾草品種於生長期 8 週內 SPAD 值每週之平均如圖 3 所示，SPAD 值大致上呈現隨著生長期增加而遞減之趨勢。羅等 (2019) 之研究顯示 32 個芥藍品系在 S_6 、 F_7 世代於高溫處理下生長 7 日後，其 SPAD 值有下降的趨勢。陳等 (2013) 選用「清華」與「萬福」兩品種之青花菜為試驗材料，比較其高溫處理下 4 日之生理表現，發現兩品種皆隨著高溫處理時間延長，總葉綠素含量持續下降，而生長於正常溫度下之對照組則大致維持穩定不變。本研究與以上之文獻呈現一致結果，SPAD 值隨著在高溫下生長之時間延長而降低，可能說明高溫使各狼尾草品種之葉綠素含量下降，光合作用受到影響，而 SPAD 值之下降趨勢，隨著生長至晚期而逐漸趨緩。

表 2. 高溫環境下不同狼尾草品種第 8 週之 SPAD 值與電解質滲漏率

Table 2. SPAD values and electrolyte leakage rates of different napiergrass varieties grown under high temperature environment at the 8th week

| Variety | SPAD value [#] | Electrolyte leakage rate % |
|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| NP cv. TS 1 [@] | 36.3 ± 3.3 ^{ab*} | 25.7 ± 0.5 |
| NP cv. TS 2 | 34.4 ± 2.6 ^{abcd} | 22.3 ± 3.5 |
| NP cv. TS 3 | 32.6 ± 4.9 ^{bcd} | 23.9 ± 0.2 |
| NP cv. TS 4 | 31.3 ± 1.7 ^d | 28.6 ± 4.5 |
| NP cv. TS 5 | 31.8 ± 4.6 ^{cd} | 24.9 ± 1.1 |
| NP cv. TS 6 | 40.9 ± 8.0 ^a | 23.1 ± 4.2 |
| NP cv. TS 7 | 36.8 ± 4.0 ^a | 23.5 ± 3.6 |
| NP cv. TS 8 | 35.6 ± 5.2 ^{ab} | 22.6 ± 2.7 |

* Mean ± SD.

[#] SPAD value: Soil-Plant Analysis Development value.

^{a, b, c, d} Means in the same column with different superscripts differ ($P < 0.05$).

[@]NP cv. TS 1 - 8: Napiergrass Taishu No. 1 to No. 8.

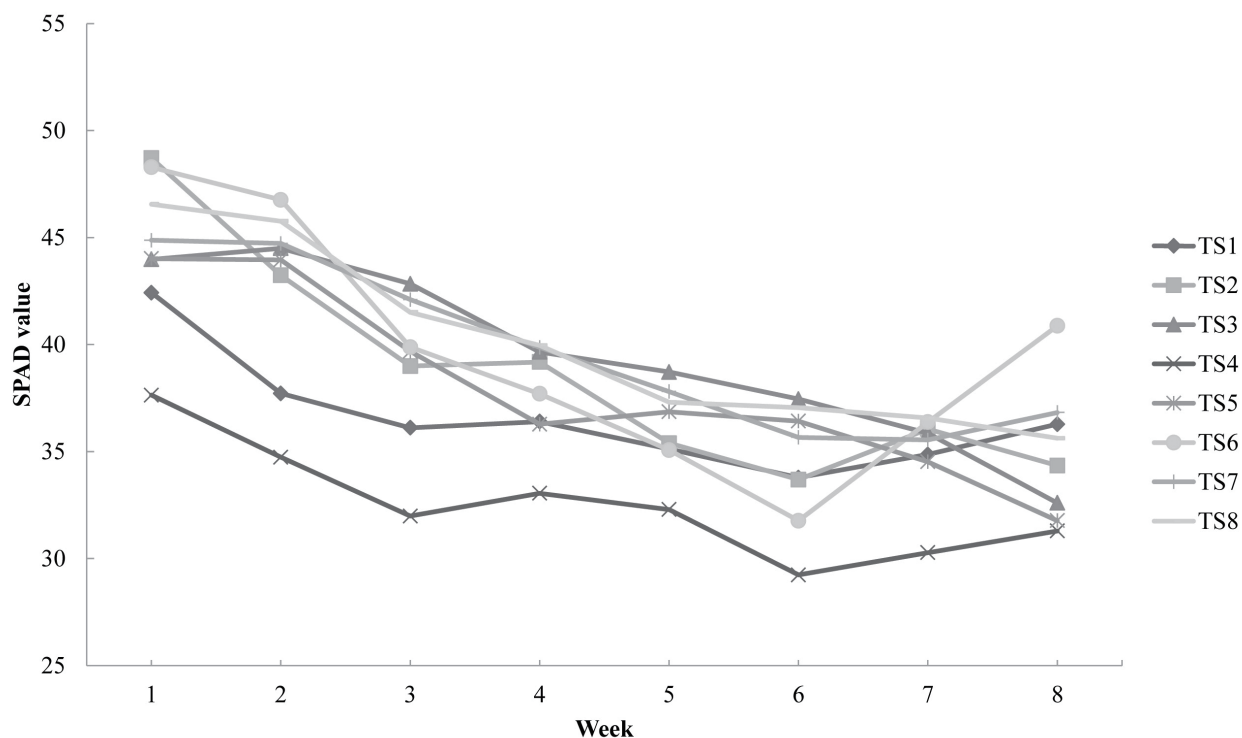


圖 3. 高溫環境下不同狼尾草品種各週之 SPAD 值平均。TS1 至 TS8 為狼尾草台畜草 1 至 8 號。

Fig. 3. Averages of SPAD values of different napiergrass varieties grown under high temperature environment for each week. TS1 to TS8 indicate NP cv. TS 1 to NP cv. TS 8.

第 8 週之電解質滲漏率以台畜草 1、4 號較高，2、8 號較低，然而並無顯著差異 (One-Way ANOVA test, $F = 1.44$, $P = 0.26$, 表 2)。當植物遭受逆境傷害時，細胞膜之破壞常使其通透性上升，細胞內之電解質因而外滲，造成外液導電率上升之現象 (羅等, 2019)，因此植株之電解質滲漏率上升時，表示其生理表現變差，具有不良之生長狀況。過去許多耐熱相關研究皆以電解質滲漏率作為測定指標，電解質滲漏率已廣泛做為植物之耐逆境指標 (吳等, 2017)。透過測定植株細胞膜之熱穩定性與電解質滲漏率，亦可判別品種間的耐熱性程度。陳等 (2013) 比較「清華」與「萬福」兩品種之青花菜在高溫處理下之電解質滲漏率，結果顯示兩品種高溫處理之數值皆高於對照組，且處理結束後，熱敏感品種「清華」之電解質滲漏率上升 29.79%，而耐熱品種「萬福」只上升了 2.21%。稜角絲瓜 (*Luffa acutangula*) 也有類似情形，過去研究發現經過高溫處理之稜角絲瓜幼苗，其電解質滲漏率隨著處理時間延長而增加，熱敏感品種之電解質滲漏率上升了 113%，而耐熱品種只上升了 0.52%，且熱傷害程度換算之指數與電解質滲漏率亦呈現顯著正相關 (周等, 2017)。芥藍之電解質滲漏率隨著處理溫度上升，在不同品種間同樣皆有不同程度之增加 (羅等, 2019)。Wassie *et al.* (2019) 比較 15 個苜蓿品種 (*Medicago sativa* L.) 於高溫處理下 7 日之電解質滲漏率差異，發現大部分品種在高溫處理下電解質滲漏率皆顯著高於對照組，增加幅度在不同品種間有很大差異，分別為 36.5% 至 61.4% 不等，顯示不同品種間之細胞膜具不同程度之穩定度，即其耐熱程度不同。在本研究中，狼尾草於溫室內第 8 週時之電解質滲漏率並無明顯上升，與第 2 週之數值大致相等 (圖 4)，本結果與過去研究並不相符，顯示在本試驗條件下，以電解質滲漏率作為狼尾草耐熱性指標還不夠敏感，需要在更高溫之環境處理下才可確實反映其生長狀況。

IV. 相關性分析

將 SPAD 值與株高生長率進行相關性分析，除台畜草 1 號及 2 號之外，其餘品種之顯著性皆為顯著，且為正相關；而電解質滲漏率與株高生長率之相關性分析則只有台畜草 3 號呈顯著正相關性 (表 3)。大部分品種 SPAD 值與株高生長率之相關係數呈中度相關 (相關係數介於 0.3 至 0.7 之間)，最高者為台畜草 4 號，其相關係數達 0.716。過去許多研究顯示 SPAD 值可間接反應植株之生長狀況，除了反應葉綠素含量之外，SPAD 值與水稻穀粒重 (Gholizadeh *et al.*, 2011)、小麥穀粒重 (Spaner *et al.*, 2005; Yıldırım *et al.*, 2010; 2013; Barutçular *et al.*, 2016)、植株葉片氮含量 (Shukla *et al.*, 2004; Netto *et al.*, 2005; Spaner *et al.*, 2005)、植株產量 (Dong *et al.*, 2002) 皆呈現正相關關係，因此除了評估光合作用之功能，SPAD 值尚可用於評估植株產量、種子產量及葉片氮營養狀況等經濟性狀。本研究之結果與前人之研究具有相似趨勢，大部分狼尾草品種之 SPAD 值與株高生長率呈正相關關係，說明 SPAD 值可作為評估狼尾草生長狀況之指標之一，而電解質滲漏率則否。

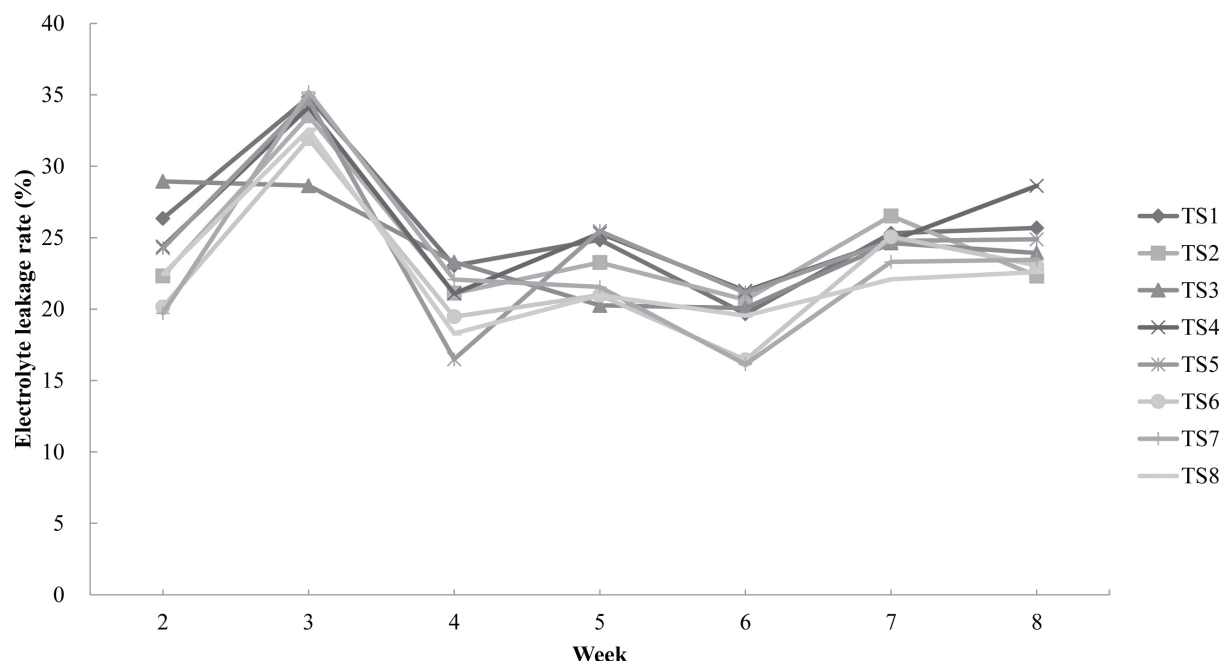


圖 4. 高溫環境下不同狼尾草品種各週之電解質滲漏率。TS1 至 TS8 為狼尾草台畜草 1 至 8 號。

Fig. 4. Electrolyte leakage rates of different napiergrass varieties grown under high temperature environment for each week. TS1 to TS8 indicate NP cv. TS 1 to NP cv. TS 8.

表 3. 高溫環境下狼尾草株高生長率與 SPAD 值及電解質滲漏率之相關性分析

Table 3. Correlation analysis between changing rates of plant height and SPAD values, and between changing rates of plant height and electrolyte leakage rate of the napiergrass grown under high temperature environment

| Variety | Changing rate of plant height - SPAD value [#] | | Changing rate of plant height - Electrolyte leakage rate | |
|--------------------------|---|------------------|--|------------------|
| | Pearson's r | Significant test | Pearson's r | Significant test |
| NP cv. TS 1 [@] | 0.429 | NS* | 0.270 | NS |
| NP cv. TS 2 | 0.395 | NS | 0.093 | NS |
| NP cv. TS 3 | 0.580 | 0.006 | 0.644 | 0.002 |
| NP cv. TS 4 | 0.716 | < 0.001 | -0.197 | NS |
| NP cv. TS 5 | 0.457 | 0.037 | 0.257 | NS |
| NP cv. TS 6 | 0.509 | 0.019 | 0.208 | NS |
| NP cv. TS 7 | 0.527 | 0.014 | -0.063 | NS |
| NP cv. TS 8 | 0.643 | 0.002 | 0.175 | NS |

* NS: not significant.

[#] SPAD value: Soil-Plant Analysis Development value.

[@]NP cv. TS 1 - 8: Napiergrass Taishu No. 1 to No. 8.

結 論

參試狼尾草農藝性狀表現之結果，第 1 週至 8 週內株高之總改變率以台畜草 6 號最高。SPAD 值方面，以狼尾草台畜草 6、7 號較高，而 4、5 號較低；電解質滲漏率則無顯著差異。將 SPAD 值與株高生長率進行相關性分析，除台畜草 1 號及 2 號之外，其餘品種呈現顯著正相關性；而電解質滲漏率與株高生長率之相關性則大多不顯著。狼尾草於高溫環境下 SPAD 值與株高生長率之間具相關性，可做為未來新品種選育之參考指標。

參考文獻

王進學、葉德銘。2013。菊花之細胞膜熱穩定性檢測及其應用於篩選耐熱實生苗。臺灣園藝 59：153-166。

- 李姿蓉、鍾萍、林正斌、顏素芬。2018。狼尾草品種改良。行政院農業委員會畜產試驗所年報。行政院農業委員會畜產試驗所，臺南市，第 36 頁。
- 吳曉花、周雯、汪寶根、魯忠富、徐沛、吳新義、李國景。2017。高溫脅迫下 6 份瓠瓜材料的耐熱性分析。浙江農業科學 58：1169-1173。
- 周小燕、羅劍甯、李金月、李偉華、吳海濱。2017。有稜絲瓜苗期耐熱性及其對熱脅迫的生理響應。熱帶亞熱帶植物學報 25：357-369。
- 林正斌、李姿蓉、成游貴、顏素芬、盧啟信、范耕榛、李春芳。2018。狼尾草育種改良與應用。行政院農業委員會畜產試驗所六十週年所慶學術研討會專輯 - 飼作。行政院農業委員會畜產試驗所，臺南市，第 7-12 頁。
- 范耕榛、施柏齡、李姿蓉、蕭宗法、李滋泰、李春芳。2019。狼尾草台畜草 8 號對泌乳山羊飼養價值的評估。畜產研究 52：256-263。
- 張致盛、張林仁。1998。兩種速測法在果樹葉片葉綠素含量測定之應用。臺中區農業改良場研究彙報 59：37-45。
- 陳葦玲。2013。作物耐熱性篩選指標之建立。臺中區農業改良場特刊 116：217-220。
- 陳葦玲、蕭政弘、蕭瑞展。2013。高溫逆境下青花菜之生理、組織結構變化及開花表現之研究。臺中區農業改良場研究彙報 121：9-24。
- 廖冠琳。2018。低溫對甘藷葉片生理的影響及生物刺激素增加低溫耐受性之研究。國立中興大學園藝學系，碩士論文，臺中市。
- 羅惠齡、林楨祐、王三太。2019。芥藍耐熱品種選育。臺灣農業研究 68：293-304。
- Barutçular, C., M. Yıldırım, M. Koç, C. Akıncı, I. Toptaş, O. Albayrak, A. Tanrikulu, and A. El Sabagh. 2016. Evaluation of SPAD chlorophyll in spring wheat genotypes under different environments. Fresenius Environ. Bull. 25: 1258-1266.
- Dong, S., L. Cheng, and L. H. Fuchigami. 2002. Effects of urea and defoliant-CuEDTA in a single or a mixed application in the autumn on N reserves and regrowth performance of young 'Fuji'/M26 apple trees. Acta Hort. 636: 29-34.
- Dong, X., H. Bi, G. Wu, and X. Ai. 2013. Drought-induced chilling tolerance in cucumber involves membrane stabilisation improved by antioxidant system. Int. J. Plant Prod. 7: 67-80.
- Gholizadeh, A., M. S. Mohd Amin, A. A. Rahim, and A. Wayayok. 2011. Using soil plant analysis development chlorophyll meter for two growth stages to assess grain yield of Malaysian rice (*Oryza sativa*). Am. J. Agric. Biol. Sci. 6: 209-213.
- Ismail, A. M. and A. E. Hall. 1999. Reproductive-stage heat tolerance, leaf membrane thermostability and plant morphology in cowpea. Crop Sci. 39: 1762-1768.
- Lombard, K., M. O'Neill, J. Mexal, A. Ulery, B. Onken, G. Bettmann, and R. Heyduck. 2010. Can soil plant analysis development values predict chlorophyll and total Fe in hybrid poplar? Agroforest. Syst. 78: 1-11.
- Netto, A. T., E. Campostrini, J. G. de Oliveira, and R. E. Bressan-Smith. 2005. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. Sci. Hortic. 104: 199-209.
- Shukla, A. K., J. K. Ladha, V. K. Singh, B. S. Dwivedi, V. Balasubramanian, R. K. Gupta, S. K. Sharma, Y. Singh, H. Pathak, P. S. Pandey, A. T. Padre, and R. L. Yadav. 2004. Calibrating the leaf color chart for nitrogen management in different genotypes of rice and wheat in a systems perspective. Agron. J. 96: 1606-1621.
- Spaner, D., A. G. Todd, A. Navabi, D. B. McKenzie, and L. A. Goonewardene. 2005. Can leaf chlorophyll measures at differing growth stages be used as an indicator of winter wheat and spring barley nitrogen requirements in eastern Canada? J. Agron. Crop Sci. 191: 393-399.
- SPSS. 2011. SPSS Statistics for Windows, Version 20.0. SPSS Inc., Chicago, IL. USA.
- Wassie, M., W. Zhang, Q. Zhang, K. Ji, and L. Chen. 2019. Effect of heat stress on growth and physiological traits of Alfalfa (*Medicago sativa* L.) and a comprehensive evaluation for heat tolerance. Agronomy 9: 597.
- Yıldırım, M., H. Kılıç, E. Kendal, and T. Karahan. 2010. Applicability of chlorophyll meter readings as yield predictor in durum wheat. J. Plant Nutr. 34: 151-164.
- Yıldırım, M., M. Koç, C. Akıncı, and C. Barutçular. 2013. Variations in morphological and physiological traits of bread wheat diallel crosses under timely and late sowing conditions. Field Crops Res. 140: 9-17.

Evaluation of growth status of napiergrass under high temperature environment using SPAD values and electrolyte leakage rates ⁽¹⁾

Li-Chung Tsai ^{(2) (3)} Tzu-Rung Li ⁽²⁾ and Ping Chung ⁽²⁾

Received: Mar. 23, 2021; Accepted: Aug. 25, 2021

Abstract

The aim of this research was to analyze the growth status of domestic napiergrass and determine the correlation relationship with SPAD values (Soil-Plant Analysis Development) under high summer temperature. The napiergrass varieties Taishu No. 1 to No. 8 (NP cv. TS 1 - 8) were planted in the greenhouse in the summer for eight weeks to simulate the environment of summer heat stress. SPAD (Soil-Plant Analysis Development) values, electrolyte leakage (EL) rates, PHL, and forage yield per pot were determined. Results showed that the changing rate of PHL for Taishu No. 6 was the highest. Taishu No. 6 and No. 7 had the highest SPAD values, whereas Taishu No. 4 and No. 5 had the lowest. There was no significant difference in electrolyte leakage rates among the varieties. Pearson correlation analysis showed that there were positive relationships between SPAD values and PHL changing rates; while those between EL and changing rates of PHL were insignificant. The correlation coefficients between SPAD values and PHL changing rates for Taishu No. 3, No. 5, No. 6, No. 7, and No. 8 ranged between 0.3 and 0.7, and the highest was Taishu No. 4 with 0.716. This research showed that the relationship between SPAD value and PHL changing rate was positive. Such information could be applied to future breeding of napiergrass varieties.

Key words: High temperature, Napiergrass, SPAD value, Electrolyte leakage rate.

(1) Contribution No. 2678 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

(2) Forage Crops Division, COA-LRI, Tainan 71246, Taiwan, R. O. C.

(3) Corresponding author, E-mail: humanspider123@tlri.gov.tw.