

狼尾草耐旱性生理指標之研究⁽¹⁾

蔡立中⁽²⁾⁽³⁾ 李姿蓉⁽²⁾ 鍾萍⁽²⁾

收件日期：111 年 5 月 31 日；接受日期：111 年 11 月 10 日

摘 要

本研究以狼尾草台畜草三、六、七、八號 (Napiergrass Taishiu cv. No. 3、6、7、8) 作為試驗材料，於可遮雨之網室內進行試驗。試驗之對照組每週澆水施灌 2 次，處理組每 2 週澆水施灌 1 次，模擬牧草生長期遭遇乾旱逆境之狀況。試驗結果顯示，所有品種狼尾草之鮮重產量，處理組皆顯著低於對照組。狼尾草三、七、八號之處理組 SPAD 值 (Soil-Plant Analysis Development value) 顯著低於對照組，電解質滲漏率方面，所有品種之處理組皆顯著高於對照組。水溶性碳水化合物含量及澱粉含量方面則為所有品種狼尾草在處理之間並未有顯著差異。無機離子方面，狼尾草台畜草三號處理組之鈣離子含量顯著高於對照組。將上述等生理指標與鮮重產量作相關性分析，其結果顯示 SPAD 值及電解質滲漏率與鮮重產量之相關係數最高，其相關係數皆大於 0.7，屬高度相關，因此 SPAD 值及電解質滲漏率適合作為篩選指標評估狼尾草之耐旱性。

關鍵詞：狼尾草、耐旱性、生理指標、芻料作物。

緒 言

全球氣候變遷使極端氣候頻繁發生，不穩定的氣候對牧草生產之品質及產量皆有不影響。培育耐逆境新品種牧草有助於穩定生產，然而在進行育種工作之前，需先建立耐逆境能力之評估指標。前人透過測量作物之 SPAD 值 (Soil-Plant Analysis Development value)、電解質滲漏率、水溶性碳水化合物含量、澱粉含量及鉀離子、鈣離子含量等生理指標，能準確評估其耐逆境能力，是為簡單、快速耐逆境檢測方法之一 (白等, 2007; Karimi *et al.*, 2018)。一般而言，植物之 SPAD 值越高被認為是具有較好之生長狀況。在正常生長狀況下，小麥 (*Triticum aestivum* L.) 之 SPAD 值則約在 41 至 48 之間 (Barutçular *et al.*, 2016)，咖啡 (*Coffea canephora* Pierre) 之 SPAD 值如低於 40 以下則被認為是光合作用已開始受損 (Netto *et al.*, 2005)。過去對於狼尾草 SPAD 值之相關研究相對較為缺乏，但與狼尾草同屬的珍珠粟 (*Pennisetum glaucum*)，其 SPAD 值約為 43.94 (Keshavars *et al.*, 2012)。電解質滲漏率方面，不同於 SPAD 值，是在不良的生長狀況下會有所提高。芥藍 (*Brassica oleracea* var. *alboglabra*) 之電解質滲漏率約在 7% 至 12% 之間，且在高溫逆境下電解質滲漏率增加 (羅等, 2019)；青花菜 (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) 在 28/25°C 栽培條件下之電解質滲漏率在 17% 至 22% 之間 (陳等, 2013)。正常生長狀況下，苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 之電解質滲漏率則多半不高於 10% (Wassie *et al.*, 2019)。

狼尾草 (*Pennisetum purpureum* Schum.) 為國內畜牧產業重要芻料作物之一，目前由行政院農業委員會畜產試驗所總共育成台畜草一至八號等八個品種。台畜草三、六號為矮性狼尾草，葉尖株高約 40 至 95 公分，其葉莖比高之特性適合家禽鮮飼或製成寵物用草等用途。台畜草七、八號為半矮性狼尾草，葉尖株高約 120 至 170 公分，此兩品種狼尾草莖粗不容易倒伏，有利於機械採收 (李等, 2018; 林等, 2018; 范等, 2019)。臺灣近年來發生了過去罕見的長期乾旱，耐旱性新品種牧草之重要性提升。建立能夠篩選牧草耐旱性之合適生理指標，能夠幫助耐旱性新品種之育成速度提升。過去國內育成之狼尾草品種雖已建立基本農藝性狀資料，然而在生理指標方面之著墨較少，相關研究闕如。

本研究以國內芻料作物種植面積較廣之一的狼尾草作為研究材料，給予試驗處理以模擬其在乾旱下之生長狀況，調查其農藝性狀與不同的生理指標，目的為找出適合作為篩選耐旱性之生理指標，對未來之育成工作能有所幫助。

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 2724 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@ttri.gov.tw。

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三、六、七、八號 (Napiergrass Taishiu cv. No. 3、6、7、8; NP cv. TS 3、6、7、8) 為試驗材料，每個品種採 3 重複，採用 $40 \times 40 \times 35 \text{ cm}^3$ 之盆栽栽培，採取一般慣行之栽培模式。試驗材料於 2021 年 6 月 17 日種植，將每個培栽各移植兩棵來源相同，體積大小相等之狼尾草根頭至盆栽內栽培，使其生長 8 週後，於 2021 年 8 月 17 日予以青刈。隨後將試驗材料移至可遮雨之網室內，首先任其在網室內正常再生 2 週後才開始試驗處理，處理期間由 2021 年 8 月 30 日至 2021 年 10 月 8 日，乾旱處理組每 2 週予以澆水施灌 1 次，每次施灌約 3 公升之水量。對照組則每週施灌 2 次，每次施灌水量亦為約 3 公升。試驗處理共計 3 個循環，總共 6 週，試驗排列採完全隨機設計 (completely randomized design, CRD)。

II. 農藝及經濟性狀調查

- (i) 葉尖株高 (plant height of leaf tip, PHL)：每週調查 1 次葉尖株高，每盆測量 3 點，共計調查 6 個週次。
- (ii) 鮮重產量 (fresh yield, FY)：於 2021 年 10 月 8 日，第 6 週試驗處理結束後之當日予以青刈，收其莖葉部分秤重計算每盆鮮重產量。
- (iii) 乾重產量 (dry matter yield, DY)：記錄完鮮重產量後將試驗材料以 65°C 烘乾至恆重，後秤其乾重產量。
- (iv) 分蘗數 (Tiller)：於青刈後予以再生 1 週，後調查每盆之分蘗數。

III. 生理指標項目與分析方法

- (i) SPAD 值 (soil-plant analysis development value, SPAD value)：以葉綠素計 (SPAD 502 Plus, Konica Minolta Inc., Japan) 對植株葉片進行非破壞性之 SPAD 值測量，測量部位為葉片中央葉寬最大之處並且避開中肋。每盆測量 3 葉，每葉測量 1 點，每週測量 1 次，共計測量 6 個週次。
- (ii) 電解質滲漏率 (electrolyte leakage rate, EL)：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 0.6 cm)，以去離子水洗淨後置入離心管並加入 15 mL 之純水。將樣本以 100 rpm 震盪 3 小時，後以電導度 (SC-2300, Suntext Instruments Co. Ltd., Taiwan) 測定初始電導度 (Initial electrical conductivity, EC_0)。接著將樣本置入 $95 - 100^\circ\text{C}$ 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： $EC (\%) = (EC_0 / EC_1) \times 100\%$ 。每週測量 1 次，共計測量 6 個週次。
- (iii) 水溶性碳水化合物 (Water soluble carbohydrate, WSC)：將測量完乾重產量之植體樣本磨碎成均質細粉，之後加入蒸餾水以 100°C 煮沸後冷卻並定量至 100 ml ，後取適量萃取液依照 Paleg (1959) 之比色法測定，以分光光譜儀 (Spectrophotometer, U-2900, Hitachi, Japan) 設定波長 560 nm 對樣本進行水溶性碳水化合物含量之測定。
- (iv) 澱粉 (Starch)：以 Yoshida *et al.* (1976) 之方法進行萃取，先將測量完乾重產量之植體樣本磨碎後製成萃取液並加入呈色劑，之後以標準品檢量線經分光光譜儀測定 560 nm 之吸光值檢測樣本之澱粉含量。
- (v) 礦物元素 (鉀離子、鈣離子； K^+ 、 Ca^{2+})：將測量完乾重產量之植體樣本磨碎後以原子吸收光譜儀 (Atomic Absorption Spectrophotometer, Z-8230, Hitachi, Japan) 進行樣本鉀及鈣含量之測定。

IV. 統計分析

資料以 SPSS 軟體 (2011) 進行統計分析，首先進行 Shapiro-Wilk 常態性檢定，資料母群體符合常態性者使用獨立樣本 T 檢定 (Independent sample t test) 比較其差異，母群體不符合常態性者則使用曼惠特尼 U 檢定 (Mann-Whitney U test) 比較其差異。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. 農藝性狀表現

表 1 為農藝性狀調查之結果，其中株高為乾旱處理第 6 週調查之結果。此結果顯示狼尾草台畜草六、八號處理組之株高皆顯著低於對照組，而狼尾草台畜草三、七號處理組之株高雖低於對照組，但其差異未達顯著程度。鮮重產量方面，所有品種狼尾草之處理組皆顯著低於對照組。乾重產量方面，所有品種狼尾草之處理組皆低於對照組，而除了狼尾草台畜草八號以外其餘品種皆達顯著差異程度。分蘗數則除了狼尾草台畜草八號，其餘三個品種狼尾草之處理組皆顯著低於對照組。

表 1. 乾旱對不同品種狼尾草生長狀況之影響

Table 1. The effect of drought on the growth of the different napiergrass varieties

Variety	Treatment	PHL ² cm	FY kg/pot/cut	DY kg/pot/cut	Tiller number/pot
NP cv. TS 3 ¹	Control	82.3 ± 9.1 ^{a3}	0.63 ± 0.06 ^a	0.12 ± 0.01 ^a	80.0 ± 16.6 ^a
	Drought	69.0 ± 7.7 ^a	0.15 ± 0.03 ^b	0.06 ± 0.01 ^b	26.7 ± 5.5 ^b
NP cv. TS 6	Control	77.0 ± 6.9 ^a	0.76 ± 0.06 ^a	0.13 ± 0.01 ^a	127.0 ± 18.3 ^a
	Drought	52.4 ± 11.2 ^b	0.09 ± 0.04 ^b	0.04 ± 0.01 ^b	41.3 ± 29.7 ^b
NP cv. TS 7	Control	97.3 ± 12.1 ^a	0.66 ± 0.08 ^a	0.13 ± 0.03 ^a	62.3 ± 12.0 ^a
	Drought	73.6 ± 16.9 ^a	0.13 ± 0.03 ^b	0.06 ± 0.01 ^b	30.7 ± 10.6 ^b
NP cv. TS 8	Control	121.0 ± 10.1 ^a	0.88 ± 0.01 ^a	0.14 ± 0.01 ^a	43.0 ± 12.1 ^a
	Drought	91.4 ± 11.0 ^b	0.16 ± 0.05 ^b	0.06 ± 0.01 ^a	26.0 ± 14.5 ^a

¹ NP cv. TS 3, 6, 7, 8: Napiergrass Taishiu cv. No. 3, 6, 7, and 8.

² PHL: plant height of leaf tip; FY: fresh yield; DY: dry matter yield.

³ Mean ± SD.

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

II. SPAD 值

不同品種狼尾草之 SPAD 值結果呈現於表 2，為 6 週試驗期中第 2、4、6 週結果之平均值。狼尾草台畜草三、七、八號之處理組 SPAD 值顯著低於對照組，六號則無顯著差異。SPAD 值是利用葉綠素計測量植株葉片之綠色程度，藉以評估其健康程度，因此時常作為評估植物耐逆境能力之指標 (Barutçular *et al.*, 2016)。過去研究曾針對 Luohan7 及 Xinong979 之兩品種小麥進行乾旱處理下 SPAD 值之量測，其結果顯示乾旱處理 30 天後兩品種之 SPAD 值皆下降，而不耐旱 Xinong979 品種之 SPAD 值比耐旱 Luohan7 品種之 SPAD 值為低 (Hou *et al.*, 2018)。Keshavars *et al.* (2012) 針對珍珠粟 (Pear millet) 於 4 種灌溉水量處理下進行 SPAD 值量測，發現 40% 及 60% 灌溉水量下之 SPAD 值顯著低於 80% 及 100%，顯示植株之 SPAD 值在乾旱逆境下將會降低。Kumar *et al.* (2012) 針對小扁豆 (Lentil) 之耐旱性研究亦發現 SPAD 值與小扁豆之根長、根部乾重、植體鮮重及單豆莢種子數呈現顯著正相關，因此 SPAD 值能與小扁豆在耐旱條件下之健康狀況吻合，可作為耐旱性篩選指標。在本研究中，狼尾草三、七、八號之 SPAD 值在乾旱逆境條件下皆有顯著下降，顯示 SPAD 值受乾旱影響而有所下降，符合過去文獻之結果。

表 2. 乾旱對不同品種狼尾草 SPAD 值與電解質滲漏率之影響

Table 2. The effects of drought on SPAD values and electrolyte leakages of different napiergrass varieties

Variety	Treatment	SPAD value ²	EL %
NP cv. TS 3 ¹	Control	47.7 ± 5.4 ^{a3}	16.4 ± 5.0 ^b
	Drought	40.2 ± 6.4 ^b	47.1 ± 15.4 ^a
NP cv. TS 6	Control	47.3 ± 3.2 ^a	14.9 ± 3.8 ^b
	Drought	42.1 ± 8.7 ^a	45.8 ± 23.3 ^a
NP cv. TS 7	Control	47.6 ± 4.2 ^a	19.7 ± 4.3 ^b
	Drought	35.8 ± 5.7 ^b	51.7 ± 14.3 ^a
NP cv. TS 8	Control	48.6 ± 2.8 ^a	21.3 ± 5.7 ^b
	Drought	38.9 ± 6.6 ^b	54.8 ± 11.1 ^a

¹ As shown in Table 1.

² SPAD value: Soil-Plant Analysis Development value; EL: electrolyte leakage.

³ Mean ± SD.

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

III. 電解質滲漏率

表 2 呈現 6 週試驗期中第 2、4、6 週結果之平均值，所有品種狼尾草之電解質滲漏率皆以處理組顯著高於對照組。植物在遭受如高溫 (周等, 2017; Wassie *et al.*, 2019)、低溫 (廖, 2018; Dong *et al.*, 2013) 及乾旱等逆境之下，電解質滲漏率會有上升之趨勢。乾旱逆境對植物造成的傷害之一，為產生活性氧攻擊細胞膜，使得細胞膜在逆境下通透性增加 (Blokhina *et al.*, 2003)，胞內離子及小分子物質大量外滲，導致細胞代謝紊亂。因此檢測電解質滲漏率之上升幅度，可評估植物細胞之受傷程度，進而作為耐旱性指標之一 (Masoumi *et al.*, 2010)。Masoumi *et al.* (2010) 針對兩個生態型之沙冰藜屬牧草 (*Kochia scoparia*) 之研究，發現乾旱處理下之電解質滲漏率皆較對照組增加了 50%。針對羊茅屬牧草 (*Festuca arundinacea*) 之研究亦顯示隨著乾旱處理天數之延長，其根部電解質滲漏率具有顯著上升 (Huang and Fry, 1998)。史等 (2005) 之研究顯示 5 種草本地被植物於乾旱處理後電解質滲漏率有所增加，且耐旱性較弱之植物增加幅度較大。在乾旱逆境之下，14 個玉米品種之電解質滲漏率與其耐旱性呈顯著負相關，耐旱性強之玉米品種電解質滲漏率上升幅度小，耐旱性弱之品種則上升幅度大，因此電解質滲漏率適合作為玉米品種耐旱性之評估指標 (白等, 2007)。本研究之結果與過去文獻相符，即在乾旱逆境條件下，電解質滲漏率有所增加。

IV. 水溶性碳水化合物及澱粉

表 3 顯示不同試驗處理之下，不同品種狼尾草之水溶性碳水化合物、澱粉以及離子等植體成分含量。水溶性碳水化合物含量之部分，各品種之狼尾草雖然具有處理組低於對照組之趨勢，然而其差異皆未達顯著程度。澱粉含量方面則並未有顯著差異。水溶性碳水化合物包含葡萄糖、果糖、蔗糖及果聚糖等可溶於水之醣類，為植物生長時的主要碳源，提供其生長所需之營養，因此它的含量通常與產量之累積呈正相關 (Hou *et al.*, 2018)。水溶性碳水化合物除了代表植物之營養狀況，它亦可作為逆境下的滲透調節物質，使植物細胞在缺水時能穩定膨壓，維持正常代謝 (廖, 2018; Karimi *et al.*, 2018)。因此在逆境之下若植物能維持高含量之水溶性碳水化合物，表示其具有優良的耐逆境能力。Keyvan (2010) 給予小麥在不同生長期施以乾旱處理，發現對比於持續澆水之對照組，不論乾旱發生在哪一個生長期，其水溶性碳水化合物含量皆有顯著增加。Karimi *et al.* (2018) 針對四個品種之橄欖 (*Olea europaea* L.) 斷水 30 天後調查其水溶性碳水化合物含量，發現所有品種皆顯著上升。水溶性碳水化合物在逆境之下能增加，其機制之推論為由於植物生長停滯，可溶性醣類降低消耗，以及如澱粉等大分子碳水化合物或蛋白質之水解加強，因此水溶性碳水化合物得以累積 (白等, 2007; Karimi *et al.*, 2018)。然而，並非所有作物在逆境之下水溶性碳水化合物含量都會上升，如葉用蘿蔔 (*Raphanus sativus* L. var. *oleiformis* Pers.) 在高溫逆境之下，不耐熱品種之水溶性碳水化合物含量有顯著降低 (陳, 2015)，不同小麥的品種之在經歷乾旱處理之後，水溶性碳水化合物含量有顯著上升亦有顯著下降 (Hou *et al.*, 2018)。水溶性碳水化合物減少，推其原因，可能為呼吸作用提升，蔗糖合成酶、蔗糖磷酸合成酶及轉化酶等醣類代謝相關酵素之活性降低所導致 (陳, 2015)。在本研究中，狼尾草之處理組水溶性碳水化合物含量皆低於對照組，然而其差異未達到顯著程度，因此水溶性碳水化合物含量作為指標評估狼尾草之耐旱性可能不夠敏感。澱粉在植體中作為另一種能量貯存形式，在逆境下水解以提供植物生長所需的能量及碳，因此在澱粉含量通常會減少 (Karimi *et al.*, 2018; Dien *et al.*, 2019)。在本研究中，所有品種處理組之澱粉含量皆與對照組無顯著差異，顯示澱粉含量並不適合作為狼尾草之耐旱性篩選指標。

V. 鉀、鈣離子

不同品種狼尾草在經歷乾旱處理之後，鉀離子及鈣離子含量皆有上升之趨勢，但其中只有狼尾草台畜草三號處理組之鈣離子顯著高於對照組 (表 3)。除了水溶性碳水化合物之外，無機離子亦為植物在逆境下之滲透調節物質。影響耐旱機制常見的無機離子有鉀及鈣，鉀掌管植物細胞之滲透調節、水分運輸，並能維持氣孔開度，使植物缺水時不因氣孔關閉而使光合作用受抑制 (Karimi *et al.*, 2018)。鈣在乾旱逆境下扮演之角色為透過離子運輸及信號傳導等方式來關閉氣孔，減少蒸散作用；穩定植物細胞膜構造，增加細胞質黏度與彈性亦為鈣在乾旱逆境下的功能之一，能避免植物細胞受缺水傷害 (趙等, 2019; Patakas *et al.*, 2002)。此外，鈣還能增加如超氧歧化酶 (superoxide dismutase, SOD) 等保護酶之活性，藉以抑制活性氧物質之產生 (王及李, 2001)。因此在乾旱逆境下，植體內之鉀與鈣通常會累積，如橄欖 (*Olea europaea* L.) 在歷經斷水後，鉀及鈣含量皆有所上升 (Karimi *et al.*, 2018)，葡萄 (Grapevines; *Vitis vinifera* L, cv. Savatiano) 在經歷 10 天斷水處理後，葉片之鉀及鈣含量顯著高於對照組 (Patakas *et al.*, 2002)。在本研究中，雖然在經歷乾旱處理後，鉀及鈣含量皆有增加，但大多數未達顯著差異之程度，因此鉀含量及鈣含量同樣不適合作為狼尾草耐旱性篩選指標。

VI. 相關性分析

將狼尾草之生理指標與各種農藝性狀作相關性分析，SPAD 值及電解質滲漏率是採用第 2、4、6 週結果之

平均值數據(表4)。當中可見 SPAD 值及電解質滲漏率皆分別與鮮重產量呈現顯著相關, 相關係數分別為 0.824 及 -0.892, 屬高度相關 (r 大於 0.7)。水溶性碳水化合物含量及鉀含量分別與鮮重產量亦呈現顯著相關, 相關係數分別為 0.448 及 -0.486, 屬中度相關 (r 介於 0.3 – 0.5)。乾重產量之結果與鮮重產量之結果相似, 同為與 SPAD 值及電解質滲漏率呈現高度相關, 相關係數分別為 0.737 及 -0.837; 與水溶性碳水化合物含量及鉀含量呈現中度相關, 相關係數分別為 0.540 及 -0.609。株高之結果只有與鈣含量呈現顯著相關, 相關係數為 -0.727。分蘗數則與 SPAD 值及電解質滲漏率呈現顯著相關, 相關係數分別為 0.575 及 -0.690。

表 3. 乾旱對不同品種狼尾草水溶性碳水化合物、澱粉及離子等植體成分含量之影響

Table 3. The effects of drought on the contents of water soluble carbohydrate, starch, and inorganic ions of different napiergrass varieties

Variety	Treatment	WSC ²	Starch	K ⁺	Ca ²⁺
		%			
NP cv. TS 3 ¹	Control	1.80 ± 0.99 ^{a3}	4.81 ± 1.16 ^a	4.85 ± 0.66 ^a	0.36 ± 0.01 ^b
	Drought	1.30 ± 0.45 ^a	4.04 ± 0.23 ^a	5.32 ± 0.40 ^a	0.39 ± 0.01 ^a
NP cv. TS 6	Control	2.71 ± 0.74 ^a	4.03 ± 0.40 ^a	5.58 ± 0.13 ^a	0.45 ± 0.01 ^a
	Drought	1.77 ± 0.92 ^a	4.26 ± 0.82 ^a	5.93 ± 0.88 ^a	0.50 ± 0.08 ^a
NP cv. TS 7	Control	2.16 ± 1.41 ^a	5.78 ± 2.65 ^a	4.19 ± 0.81 ^a	0.37 ± 0.04 ^a
	Drought	1.58 ± 0.24 ^a	5.49 ± 0.30 ^a	5.32 ± 0.41 ^a	0.44 ± 0.11 ^a
NP cv. TS 8	Control	3.21 ± 2.00 ^a	4.75 ± 1.50 ^a	4.46 ± 0.92 ^a	0.31 ± 0.05 ^a
	Drought	1.99 ± 0.72 ^a	3.74 ± 0.61 ^a	5.82 ± 1.00 ^a	0.31 ± 0.01 ^a

¹ As shown in Table 1.

² WSC: water soluble carbohydrate.

³ Mean ± SD.

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

表 4. 狼尾草農藝性狀與生理指標之相關性分析

Table 4. Correlation analysis between agronomic characters and physiological values of different napiergrass varieties

Physiological value	PHL ²		FY		DY		Tiller	
	Pearson's r	Significant test	Pearson's r	Significant test	Pearson's r	Significant test	Pearson's r	Significant test
SPAD value ¹	0.311	0.139	0.824*	< 0.001	0.737*	< 0.001	0.575*	0.003
EL	-0.279	0.187	-0.892*	< 0.001	-0.837*	< 0.001	-0.690*	< 0.001
WSC	0.261	0.217	0.448*	0.028	0.540*	0.006	0.377	0.070
Starch	0.005	0.982	0.091	0.673	0.216	0.310	-0.011	0.958
K ⁺	-0.385	0.064	-0.486*	0.016	-0.609*	0.002	-0.123	0.568
Ca ²⁺	-0.727*	< 0.001	-0.291	0.167	-0.340	0.104	0.175	0.415

¹ SPAD value: Soil-Plant Analysis Development value; EL: electrolyte leakage; WSC: water soluble carbohydrate.

² PHL: plant height of leaf tip; FY: fresh yield; DY: dry matter yield.

* Means $P < 0.05$.

結 論

狼尾草台畜草 3、6、7、8 號在經歷乾旱處理之後, 其鮮重產量、乾重產量、葉尖株高、分蘗數等農藝性狀有所下降, 以及 SPAD 值、電解質滲漏率在對照組與處理組之間亦有顯著之不同, 因此此四個狼尾草品種之耐旱性情形類似, 在乾旱環境下皆未展現耐旱能力。將不同品種狼尾草之 SPAD 值、電解質滲漏率、水溶性碳水化合物含量、澱粉含量、鉀離子含量、鈣離子含量等 6 種生理指標與鮮重產量作相關性分析, 結果顯示 SPAD 值及電解質滲漏率與鮮重產量及乾重產量之相關係數最高, 屬高度相關。因此, SPAD 值及電解質滲漏率作為篩選指標評估狼尾草之耐旱性較為適合, 未來之研究方向為以此二個生理值做為耐旱性評估指標, 並增加狼尾草之受測品系, 以確實

找出耐乾旱的狼尾草品系。

參考文獻

- 王娟、李德全。2001。逆境條件下植物體內滲透調節物質的積累與活性氧代謝。植物學報 18：459-465。
- 白向曆、齊華、劉明、張振平。2007。玉米抗旱性與生理生化指標關係的研究。玉米科學 15：79-83。
- 史燕山、駱建霞、王煦、趙坤平、劉玉冬、黃俊軒。2005。5種草本地被植物抗旱性研究。西北農林科技大學學報(自然科學版) 33：130-134。
- 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。
- 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。
- 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。
- 陳葦玲。2015。葉用蘿蔔耐熱生理及型態探討。103 年度臺中區農業改良場科技計畫研究成果發表會論文輯 - 特刊 129 號。行政院農業委員會臺中區農業改良場。臺中市。第 76-90 頁。
- 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。
- 趙鑫、王文娟、王普昶、黃莉娟、趙麗麗。2019。不同鈣濃度對寬葉雀稗幼苗的生長和抗性生理的影響。植物生態學報 43：909-920。
- 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. Yildirim, 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.
- Blokhina, O., E. Virolainen, and K. V. Fagerstedt. 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. Ann. Bot. 91: 179-194.
- Dien, D. C., T. Mochizuki, and T. Yamakawa. 2019. Effect of various drought stresses and subsequent recovery on proline, total soluble sugar and starch metabolisms in Rice (*Oryza sativa* L.) varieties. Plant Prod. Sci. 22: 530-545.
- 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.
- Hou, J., X. Huang, W. Sun, C. Du, C. Wang, Y. Xie, Y. Ma, and D. Ma. 2018. Accumulation of water-soluble carbohydrates and gene expression in wheat stems correlates with drought resistance. J. Plant Physiol. 231: 182-191.
- Huang, B. and J. D. Fry. 1998. Root anatomical, physiological, and morphological responses to drought stress for tall fescue cultivars. Crop Sci. 38: 1017-1022.
- Karimi, S., M. Rahemi, A. A. Rostami, and S. Sedaghat. 2018. Drought effects on growth, water content and osmoprotectants in four olive cultivars with different drought tolerance. Int. J. Fruit Sci. 18: 254-267.
- Keshavars, L., H. Farahbakhsh, and P. Golkar. 2012. The effects of drought stress and super absorbent polymer on morphophysiological traits of pear millet (*Pennisetum glaucum*). Intl. Res. J. Appl. Basic Sci. 3: 148-154.
- Keyvan, S. 2010. The effects of drought stress on yield, relative water content, proline, soluble carbohydrates and chlorophyll of bread wheat cultivars. J. Anim. Plant Sci. 8: 1051-1060.
- Kumar, J., P. S. Basu, E. Srivastava, S. K. Chaturvedi, N. Nadarajan, and S. Kumar. 2012. Phenotyping of traits imparting drought tolerance in lentil. Crop Pasture Sci. 63: 547-554.
- Masoumi, A., M. Kafi, H. Khazaei, and K. Davari. 2010. Effect of drought stress on water status, electrolyte leakage and enzymatic antioxidants of kochia (*Kochia scoparia*) under saline condition. Pak. J. Bot. 42: 3517-3524.
- 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.

- Paleg, L. G. 1959. Citric acid interference in the estimation of reducing sugars with alkaline copper reagents. *Anal. Chem.* 31: 1902-1904.
- Patakas, A., N. Nikolaou, E. Zioziou, K. Radoglou, and B. Noitsakis. 2002. The role of organic solute and ion accumulation in osmotic adjustment in drought-stressed grapevines. *Plant Sci.* 163: 361-367.
- 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.
- Yoshida, S., D. A. Forno, J. H. Cock, and K. A. Gomez. 1976. Determination of sugar and starch in plant tissue. *Laboratory Manual of Physiological Studies of Rice 3rd Edition*, pp. 46-49. International Rice Research Insititute, Los Baños, Philippines.

Study on the physiological index of drought tolerance for napiergrass ⁽¹⁾

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

Received: May 31, 2022; Accepted: Nov. 10, 2022

Abstract

In this study, Napiergrass Taishiu cv. No. 3, 6, 7, 8 (NP cv. TS 3, 6, 7, 8) were cultivated in the pot with different water condition under shading-nets to determine the agronomic traits and physiological values. In the trial, the control treatment was irrigated twice a week, and the drought treatment groups were irrigated once every two weeks, in simulation of the drought adversaries during the growth period of grass. The results showed that the fresh biomass yields of all napiergrass varieties were significantly lower in the drought groups than those in the control group. The SPAD (Soil-Plant Analysis Development) values of NP cv. TS 3, 6, and 8 were significantly lower in the drought groups. In terms of electrolyte leakage rate, the drought groups of all napiergrass varieties were significantly higher than the control group. There were no significant differences between control groups and drought groups in the water-soluble carbohydrate contents and the starch contents of all the varieties. With regards to the inorganic ions, the content of Ca^{2+} in the drought group of NP cv. TS 3 was significantly higher than that in the control group. Correlation analyses showed that the correlation coefficients between fresh yield and SPAD value, and between fresh yield and electrolyte leakage rate were the highest, which correlation coefficient was greater than 0.7 and highly correlated. Hence, findings suggest that SPAD value and electrolyte leakage rate might be used as the physiological index for evaluating the drought tolerance of napiergrass.

Key words: Napiergrass, Drought tolerance, Physiological index, Forage crops.

(1) Contribution No. 2724 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.