

# 乾旱對於盤固草與印度藍莖草生長與植體內酚酸含量的影響<sup>(1)</sup>

謝文彰<sup>(2)(4)</sup> 蔡文福<sup>(3)</sup>

收件日期：92 年 4 月 21 日；接受日期：92 年 5 月 28 日

## 摘 要

本試驗的目的在探討乾旱對於盤固草 A254 (*Digitaria decumbens* Stents.) 與印度藍莖草 A70 (*Dichanthium annulatum* (Forsk) Stapf) 生長及酚酸含量的影響。試驗結果顯示，乾旱明顯影響兩種牧草的生長，同時降低牧草葉片水分含量與相對含水量。兩種牧草對於乾旱的反應，以盤固草 A254 較為敏感，印度藍莖草 A70 的耐旱性較強。隨著乾旱日數的增加，牧草的中洗纖維含量亦增加，但對於粗蛋白質與酸洗纖維含量的影響並不顯著。乾旱程度愈大，牧草根、莖、葉之酚酸含量增加，其中根與莖部以 *p-coumaric acid* 增加最多，而葉部以 *ferulic acid* 增加最多。

關鍵詞：缺水、盤固草、印度藍莖草、酚酸、苯酸、肉桂酸。

## 緒 言

熱帶、亞熱帶或乾旱地區生長的牧草，水分是決定牧草生長優劣的另一重要因子，此地區由於光照強、氣溫高、土壤水分的流失與牧草的蒸散作用大，牧草對於水分的需求乃相當重要。研究指出，盤固草與印度藍莖草的生長，由於地域不同所造成的差異，可能與其耐旱的程度有關。一般冬季與春季時節，恒春地區（南部）缺水，而台北地區則雨量充足，此時期之印度藍莖草在恒春可以生長，盤固草則生長停滯；相反的盤固草在台北地區可以生長，而印度藍莖草則呈生長停滯狀態（謝等，1996）。

Fitzpatrick & Nix (1970) 認為熱帶牧草的生產，水分缺乏是最主要的限制因子，當土壤有效水分減少，植物內部水分缺乏，導致細胞膨壓流失，直至植物呈永久凋萎的狀態，對於許多植物而言，達永久凋萎點時，土壤的水分潛勢為 -15 bar。Ludlow & Ng (1976) 認為 C4 型的熱帶牧草，當葉片之水分潛勢達 -12 bar 時（在控制的生長環境），氣孔關閉，牧草之淨光合速率完全停止，但在田間的環境下，葉片之水分潛勢低於 -19 bar 時，光合作用仍持續進行；因此，有關水分缺乏對於牧草生長的影響，這方面的研究在人為控制下與田間的環境，其結果並不相同。儘管如此，Ludlow

(1) 行政院農委會畜產試驗所研究報告第 1191 號。

(2) 行政院農委會畜產試驗所恆春分所。

(3) 國立台灣大學農藝學系。

(4) 通訊作者

(1975) 認為田間環境下，牧草在水分缺乏時，所表現的光合作用降低，葉片分化與生長停止，持續的水分缺乏導致葉片死亡，則是一致的現象，同時在牧草缺水期間，牧草開始出現老化，代謝生理活性迅速降低。Ng *et al.* (1975) 亦認為牧草缺水時，葉片發育受抑制，導致光合作用能力下降，而抑制牧草生長，缺水的時期愈長，最後導致牧草死亡。

牧草的抗旱性包括耐旱性與避旱性，前者是植物細胞在缺水下，維持生存時期長短的能力(Levitt *et al.*, 1960)，而牧草避旱性則包括乾旱下減少水分流失的能力或植物調節本身的生長，以避開乾旱期，如許多熱帶牧草在乾旱環境下，其葉片皺縮或捲曲，葉片互相遮蔭，較深的根系，角質層變厚，葉片絨毛變密或貯水組織發達，均能減少水分流失；另外，如一年生的牧草在濕潤的季節生長或下種，同時以種子休眠的形態渡過乾旱季節，這些都是避旱性的重要機制 (Gwymme, 1960)。

缺水土壤所生長的牧草，會影響牧草的品質；Bohn (1990) 試驗結果顯示，低土壤水分含量下所生長的扭轉草 (switchgrass, *Panicum virgatum*)，其牧草莖部中含有較大量的中洗纖維與木質素的成分，同時牧草的消化率降低。

Chou (1989) 分析乾旱環境下生長的銀合歡會分泌大量的苯酸與肉桂酸物質，如 protocatechuic、*p*-hydroxybenzoic、*p*-hydroxyphenylacetic、gallic 與 vanillic acid。Bohn (1990) 分析缺水土壤所生長的扭轉草，其牧草莖部中 *p*-coumaric acid 含量增加，而 ferulic acid 含量減少。

本試驗的目的，在探討乾旱的環境下，盤固草與印度藍莖草的生長與品質，及牧草植體中（包括根、莖與葉）苯酸與肉桂酸含量的變化。

## 材料與方法

I. 材料：以盆栽（規格為 1/5000 公畝之塑膠盆）的盤固草 A254 與印度藍莖草 A70 (1994. 4. 7 種植)；試驗前二週全面刈割，待生長二週後（株高約 25 cm，期間給予施肥與供水的管理），移至溫室中，開始作缺水的處理。水量調控為每鉢灌水量為 500 ml，進行試驗之期程 42 天。

### II. 試驗方法

(i) 缺水處理：以不缺水（對照組，CK）、缺水二天（WS2）、缺水四天（WS4）與缺水六天（WS6）合計四種處理，每種處理重複 6 次，試驗採逢機完全區集設計（RCBD）。

(ii) 牧草含水量的測定；分別測定牧草葉片的水分含量 (leaf water content, LWC) 與葉片之相對膨潤度 (leaf relative turgid, LRT)，相對膨潤度或稱相對水分含量 (relative water content, RWC) 係依 Kramer (1969) 之方法測定。

相對膨潤度 (RT) % =  $(W_f - W_d) / (W_t - W_d) \cdot 100\%$

W<sub>f</sub>：葉圓片（直徑 0.5 cm）鮮重；W<sub>t</sub>：葉圓片吸水重（25℃ 恒溫箱，吸水 4 小時）；

W<sub>d</sub>：葉圓片烘乾重（80℃，24 小時烘乾）。

(iii) 土壤水分張力測定；以土壤水分測定計 (Soil Moisture Tester, Model KS-D1) 測定不同缺水處理之土壤水分張力 (soil moisture tension, SMT)。固定於上午九時水分處理前，每二週測定一次。

(iv) 牧草調查及分析項目

1. 株高：調查盤固草 A254 與 印度藍莖草 A70 之株高，每一處理調查四盆，每盆調查五支，計算其平均值並作統計分析。

2. 葉莖比：每一處理調查四盆，每盆取樣五支，分別測定葉與莖之乾物重比，並計算其平均值，作統計分析。
3. 產量：收穫時測定每盆之鮮草產量與乾物產量，每一處理調查四盆，並計算平均值，作統計分析。
4. 牧草品質分析：包括牧草粗蛋白質（crude protein, CP），中洗（neutral detergent fiber, NDF）與酸洗纖維（acid detergent fiber, ADF）含量。利用 Kjeldahl's method 分析全氮含量，再乘以 6.25 估測粗蛋白質含量；中洗纖維與酸洗纖維的分析採用 Goering & van Soest（1970）方法。
5. 牧草植體苯酸與肉桂酸的種類與含量分析：包括牧草的根，莖與葉三個植體部位，分析方法採用謝及蔡（1998）。

## 結 果

### I. 缺水對於土壤水分張力、牧草葉片水分含量及相對膨潤度的影響

缺水對於土壤水分張力的影響，由表 1 顯示：隨著缺水天數的增加，其土壤水分張力（SMT）逐漸降低，且兩種不同牧草的盆栽土壤均有相同的趨勢。種植盤固草之盆栽土壤，其土壤水分張力由 -0.1 bar（對照組，CK）降低至 -14.0 bar（缺水六天，WS6），而種植印度藍莖草者由 -0.2 bar（對照組，CK）降低至 -14.1 bar（缺水六天，WS6）。

缺水對於牧草葉片水分含量（LWC）及相對膨潤度（LRT）的影響，由表 1 得知：隨著缺水日數的增加，牧草葉片水分含量及相對膨潤度亦逐漸下降，處理間有明顯的差異，且兩種牧草葉片均有相同的趨勢。盤固草葉片的水分含量（LWC）由 83.3%（CK）降至 69.5%（WS6）；葉片相對膨潤度（LRT）由 90%（CK）降至 55.7%（WS6）；印度藍莖草葉片的水分含量（LWC）由 74.6%（CK）降至 64.9%（WS6）；葉片之相對膨潤度（LRT）則由 88.1%（CK）降至 62.7%（WS6）。

表 1. 缺水對於土壤水分張力與牧草葉片水分含量及相對膨潤度的影響

Table 1. The effect of drought stress on the soil moisture tension (SMT), leaf water content (LWC) and relative turgid (LRT)

Days of water withholding	Pangolagrass			Delhigrass		
	SMT	LWC	LRT	SMT	LWC	LRT
	bars	—— %	——	bar	—— %	——
CK	-0.1±0.2	83.3 <sup>a*</sup>	90.0 <sup>a</sup>	-0.2±0.1	74.6 <sup>a</sup>	88.1 <sup>a</sup>
2	-1.5 ±0.2	76.8 <sup>b</sup>	71.2 <sup>b</sup>	-2.0±0.3	70.5 <sup>b</sup>	68.2 <sup>b</sup>
4	-8.0 ±0.6	71.5 <sup>c</sup>	61.6 <sup>c</sup>	-9.0±0.5	66.9 <sup>c</sup>	64.5 <sup>c</sup>
6	-14.0 ±1.0	69.5 <sup>d</sup>	55.7 <sup>d</sup>	-14.1±0.8	64.9 <sup>d</sup>	62.7 <sup>d</sup>

\* The same letters within the same column are not significantly different at 5% level.

### II. 缺水對於盤固草 A254 與印度藍莖草 A70 生長的影響

隨著缺水日數的增加，盤固草 A254 的株高與乾物產量逐漸減少，處理間有明顯的差異（表 2）；對於葉/莖比而言，缺水與否並不影響盤固草 A254 的葉/莖比。對於印度藍莖草 A70，缺水亦影響株高與乾物產量，惟缺水 2 天與缺水 4 天之處理，兩者並無差異；缺水與否亦不影響印度藍莖草 A70 之葉/莖比（表 2）；由上述的結果顯示，缺水對於盤固草 A254 與印度藍

莖草 A70 生長的影響，以盤固草 A254 影響較大，缺水二天其乾物產量減少約 25.6%，缺水四天減少約 52.2%，缺水六天則減少 68.9%；印度藍莖草 A70 缺水二天者，其乾物產量減少約 25.6%，缺水四天者減少約 31.3%，缺水六天減少約 55.6%，比較兩種牧草在不同缺水的程度下的乾物產量，可知印度藍莖草 A70 較盤固草 A254 耐旱。

表 2. 缺水對於盤固草 A254 與印度藍莖草 A70 生長的影響

Table 2. The effect of drought stress on the growth of pangolagrass A254 and delhigrass A70

Days of Water withholding	Pangolagrass			Delhigrass		
	Plant height	Leaf/stem	Dry weight	Plant height	Leaf/stem	Dry weight
	cm		g/pot	cm		g/pot
CK	52.9 <sup>a*</sup>	1.05 <sup>a</sup>	18.0 <sup>a</sup>	48.0 <sup>a</sup>	0.56 <sup>a</sup>	16.0 <sup>a</sup>
2	46.1 <sup>b</sup>	1.07 <sup>a</sup>	13.4 <sup>b</sup>	42.4 <sup>b</sup>	0.54 <sup>a</sup>	11.9 <sup>b</sup>
4	40.3 <sup>c</sup>	1.02 <sup>a</sup>	8.6 <sup>c</sup>	40.6 <sup>b</sup>	0.58 <sup>a</sup>	11.0 <sup>b</sup>
6	27.8 <sup>d</sup>	1.04 <sup>a</sup>	5.6 <sup>d</sup>	33.5 <sup>c</sup>	0.60 <sup>a</sup>	7.1 <sup>c</sup>

\* The same letters within the same column are not significantly different at 5% level.

### III. 缺水對於盤固草 A254 與印度藍莖草 A70 品質的影響

缺水對於兩種牧草粗蛋白與中、酸洗纖維含量的影響，由表 3 得知：不同的缺水程度，對於兩種牧草的粗蛋白質 (CP)與酸洗纖維 (ADF) 含量並無影響；但對於中洗纖維 (NDF) 含量，處理間則有明顯的差異，即隨著缺水日數的增加，中洗纖維含量隨之增加，惟不同牧草品種在不同的缺水程度下，中洗纖維含量的表現並不一致。不缺水與缺水二天的處理，並不影響盤固草 A254 之中洗纖維含量，但與缺水四天及六天者比較，處理間則有明顯的差異；對於印度藍莖草 A70，缺水二天與不缺水處理，兩者之中洗纖維含量並無差異，而缺水四天與缺水六天者亦無差異，但缺水四天及六天者與缺水二天及不缺水者，處理間則有明顯的差異，即隨著缺水天數的增加，中洗纖維的含量逐漸增加。

表 3. 缺水對於盤固草 A254 與印度藍莖草 A70 營養品質的影響

Table 3. The effect of drought stress on the chemical components of pangolagrass and delhigrass

Days of water withholding	Pangolagrass			Delhigrass		
	CP*	NDF	ADF	CP	NDF	ADF
	%					
CK	8.04 <sup>a**</sup>	60.52 <sup>c</sup>	34.06 <sup>a</sup>	7.45 <sup>a</sup>	61.03 <sup>b</sup>	36.02 <sup>a</sup>
2	7.90 <sup>a</sup>	61.02 <sup>c</sup>	35.03 <sup>a</sup>	8.02 <sup>a</sup>	60.91 <sup>b</sup>	35.80 <sup>a</sup>
4	8.10 <sup>a</sup>	62.70 <sup>b</sup>	34.80 <sup>a</sup>	7.66 <sup>a</sup>	62.45 <sup>a</sup>	36.10 <sup>a</sup>
6	7.81 <sup>a</sup>	64.81 <sup>a</sup>	34.62 <sup>a</sup>	7.64 <sup>a</sup>	63.04 <sup>a</sup>	35.74 <sup>a</sup>

\*CP: crude protein, NDF: neutral detergent fiber, ADF: acid detergent fiber.

\*\* The same letters within the same column are not significantly different at 5% level.

### IV. 缺水對於盤固草 A254 與印度藍莖草 A70 苯酸與肉桂酸含量的影響

缺水對於盤固草 A254 不同植體部位（包括莖、葉與根）苯酸與肉桂酸含量的影響，以盤固草 A254 的莖部而言，缺水對於莖部酚酸含量有增加的趨勢，包括可溶性與鍵結性的酚酸，而以 *p*-coumaric acid 的含量增加最多，其他種類的苯酸及肉桂酸含量則變化較小，而隨著缺水數的增加，其鍵結性的酚酸含量亦隨之提高，而可溶性的酚酸含量變化較不一致，但可溶性與鍵結性的 *p*-coumaric acid 含量，則亦隨著缺水程度加大，其含量逐漸增加，其含量由對照組的 0.57 及 5.51  $\mu\text{g/g.Fw}$ ，缺水二天的 2.63 及 12.40  $\mu\text{g/g.Fw}$ ，缺水 4 天的 2.82 及 14.53

µg/g.Fw 至缺水 6 天的 3.06 及 17.20 µg/g.Fw (表 4)。

表 4. 缺水處理對於盤固草 A254 莖部苯酸與肉桂酸含量的影響

Table 4. The effect of drought stress on the contents of benzoic and cinnamic acids of pangolagrass stem

Phenolic acid	CK		WS2		WS4		WS6	
	A**	A+E	A	A+E	A	A+E	A	A+E
	µg/g							
PRA.*	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.12	0.54
<i>p</i> -HBA	trace	trace	0.05	0.38	0.06	0.31	0.11	0.42
VA	0.01	0.11	0.02	0.04	trace	trace	0.03	0.11
<i>m</i> -HBA	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace	0.34
RA.	0.02	0.04	trace	trace	0.01	0.04	trace	0.02
<i>p</i> -CA	0.67	5.51	2.63	12.40	2.82	14.53	3.06	17.20
FA	0.14	0.58	0.62	2.42	0.40	2.21	0.53	2.95
<i>o</i> -HBA	trace	0.91	0.87	2.50	0.61	1.52	1.25	7.05
Total	0.85	7.17	4.20	17.76	3.91	19.63	5.10	28.63

\* PRA: protocatechuic acid; *p*-HBA: *p*-hydroxybenzoic acid; VA: vanillic acid; *m*-HBA: *m*-hydroxybenzoic acid; RA: resocyclic acid; *p*-CA: *p*-coumaric acid; FA: ferulic acid; *o*-HBA: *o*-hydroxybenzoic acid

\*\* : A: unhydrolyzed by 1N NaOH; A+E: hydrolyzed by 1N NaOH

缺水對於盤固草 A254 葉部苯酸及肉桂酸含量的影響，由表 5 顯示：缺水環境下，葉部中可溶性與鍵結性酚酸含量增加，且隨著缺水日數增加，其可溶性與鍵結性的酚酸含量，有逐漸增加的趨勢，其中可溶性及鍵結性的肉桂酸類 ferulic 及 *p*-coumaric acid 與苯酸類的 *o*-hydroxybenzoic acid 均增加，而以 ferulic acid 的含量增加最多，*p*-coumaric acid 次之，至於其他苯酸類含量的變化，則較不一致。

對於盤固草 A254 的根部而言，缺水對於根部中苯酸與肉桂酸含量的影響，由表 6 得知：缺水處理可促進根部苯酸與肉桂酸的含量，包括可溶性與鍵結性的酚酸，且隨著缺水程度的增加，其八種可溶性與鍵結性的酚酸均呈增加的趨勢，其中亦以 *p*-coumaric acid 增加的量最多，其可溶性及鍵結性的含量由對照組（不缺水）的 0.56 及 2.60 µg/g. Fw，缺水二天的 2.34 及 9.46 µg /g. Fw，缺水四天的 2.62 及 10.80 µg/g. Fw 至缺水六天的 3.62 及 18.60 µg/g. Fw；而可溶性與鍵結性的酚酸含量，亦由對照的 1.75 及 6.36 µg/g. Fw，缺水二天的 4.63 及 17.05 µg/g. Fw，缺水四天的 6.32 及 21.16 µg/g. Fw，增加至缺水 6 天的 9.91 及 34.88 µg/g Fw。

缺水處理對於印度藍莖草 A70 植體中苯酸與肉桂酸含量的影響，其結果與盤固草 A254 有一些差異；缺水對於印度藍莖草 A70 莖部中的酚酸含量，有增加的效果，包括可溶性與鍵結性的酚酸，

表 5. 缺水處理對於盤固草 A254 葉部苯酸與肉桂酸含量的影響

Table 5. The effect of drought stress on the contents of benzoic and cinnamic acids of pangolagrass leaf.

Phenolic acid	CK		WS2		WS4		WS6	
	A**	A+E	A	A+E	A	A+E	A	A+E
	µg/g							
PRA.*	0.13	0.27	0.03	0.04	0.02	0.05	0.03	0.07
<i>p</i> -HBA	trace	trace	0.49	0.80	0.48	1.00	0.35	2.05
VA.	trace	trace	0.01	0.04	0.04	0.06	0.04	0.30
<i>m</i> -HBA	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace
RA.	0.07	0.14	0.07	0.14	0.09	0.23	0.15	0.28
<i>p</i> -CA.	0.43	1.62	1.71	6.02	3.26	7.57	3.34	8.89
FA.	1.03	2.85	2.06	12.60	4.58	5.10	5.17	21.00
<i>o</i> -HBA	trace	trace	0.25	1.33	0.97	4.74	1.63	5.09
Total	1.66	4.88	4.62	20.97	9.44	28.75	10.71	37.68

\*, \*\* As shown in Table 4.

表 6. 缺水處理對於盤固草 A254 根部苯酸與肉桂酸含量的影響

Table 6. The effect of drought stress on the contents of benzoic and cinnamic acids of pangolagrass root

Phenolic acid	CK		WS2		WS4		WS6	
	A**	A+E	A	A+E	A	A+E	A	A+E
	$\mu\text{g/g}$							
PRA.*	0.06	0.25	0.12	0.31	0.20	0.41	0.40	0.69
<i>p</i> -HBA	0.03	0.06	0.06	0.10	0.10	0.16	0.12	0.24
VA.	0.27	0.75	0.75	1.00	1.00	2.05	2.02	3.65
<i>m</i> -HBA	0.30	0.64	0.63	1.12	0.64	1.20	0.72	1.30
RA.	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace
<i>p</i> -CA.	0.56	2.60	2.34	9.46	2.62	10.80	3.62	18.60
FA.	0.36	1.35	0.53	3.06	1.06	3.62	2.05	6.34
<i>o</i> -HBA	0.17	0.72	0.21	2.00	0.70	2.92	0.98	4.06
Total	1.75	6.37	4.64	17.05	6.32	21.16	9.91	34.88

\*, \*\* As shown in Table 4.

其中亦以肉桂酸類的 *p*-coumaric acid 的含量增加最多，且隨著缺水日數的增加，其含量逐漸增加（表 7），而其他的酚酸含量變化則不一致，此結果與盤固草 A254 者相同。

缺水對於印度藍莖草 A70 的葉部而言，由表 8 顯示：對照組（不缺水）與缺水 2 天者，其可溶性與鍵結性的酚酸含量變化不大，但隨著缺水天數的增加，其葉部中酚酸含量逐漸增加，其中以 *p*-coumaric、ferulic 及 *o*-hydroxybenzoic acid 均呈增加的趨勢 而以 ferulic acid 增加的量最多，至於其他苯酸類化合物的含量，其變化則較不一致。

缺水處理對於印度藍莖草根部分中苯酸與肉桂酸含量的影響，由表 9 得知：缺水亦促進根部中的酚酸含量，包括可溶性與鍵結性的酚酸，但缺水二天與 4 天者，其鍵結性的酚酸含量變化不大，為 19.32 及 19.62  $\mu\text{g/g}$  Fw，但與缺水六天者 31.24  $\mu\text{g/g}$  Fw 相比較，則增加較多，隨著缺水天數的增加，其可溶性酚酸逐漸增加，上述的結果，均以肉桂酸類的 *p*-coumaric acid 所增加的量最多，ferulic acid 次之。

表 7. 缺水處理對於印度藍莖草 A70 莖部苯酸與肉桂酸含量的影響

Table 7. The effect of drought stress on the contents of benzoic and cinnamic acids of delhigrass stem

Phenolic acid	CK		WS2		WS4		WS6	
	A**	A+E	A	A+E	A	A+E	A	A+E
	$\mu\text{g/g}$							
PRA.*	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.19
<i>p</i> -HBA	0.02	0.05	0.07	0.45	0.11	0.60	0.49	0.61
VA.	trace	trace	0.02	0.05	trace	trace	0.08	0.24
<i>m</i> -HBA	0.56	0.86	trace	trace	trace	trace	trace	trace
RA.	trace	trace	trace	trace	0.02	0.03	trace	0.04
<i>p</i> -CA.	0.57	3.12	3.26	14.40	4.25	15.20	9.91	39.90
FA.	0.10	0.47	0.50	1.98	0.33	1.13	0.38	2.58
<i>o</i> -HBA	0.31	0.91	0.61	1.83	1.04	2.02	0.67	1.39
Total	1.57	5.43	4.47	18.73	5.76	19.00	11.54	44.95

\*, \*\* As shown in Table 4.

表 8. 缺水處理對於印度藍莖草葉部苯酸與肉桂酸含量的影響

Table 8. The effect of drought stress on the contents of benzoic and cinnamic acids of delhigrass leaf

Phenolic acid	CK		WS2		WS4		WS6	
	A**	A+E	A	A+E	A	A+E	A	A+E
	µg/g							
PRA.*	0.09	0.18	0.02	0.04	0.01	0.03	0.01	0.07
<i>p</i> -HBA	trace	trace	0.09	0.20	0.27	0.71	0.88	2.43
VA.	trace	trace	0.01	0.02	0.03	0.06	0.06	0.57
<i>m</i> -HBA	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace	trace
RA.	0.05	0.10	0.06	0.12	0.04	0.23	0.04	0.11
<i>p</i> -CA.	1.03	2.42	0.75	1.72	0.91	3.26	2.24	13.00
FA.	2.01	4.95	1.73	4.86	1.77	7.85	5.75	43.80
<i>o</i> -HBA	trace	trace	0.34	0.74	1.13	2.50	3.52	3.98
Total	3.18	7.65	3.00	7.70	4.16	14.64	12.50	63.96

\*, \*\* As shown in Table 4.

表 9. 缺水處理對於印度藍莖草根部分苯酸與肉桂酸含量的影響

Table 9. The effect of drought stress on the contents of benzoic and cinnamic acids of delhigrass root

Phenolic acid	CK		WS2		WS4		WS6	
	A**	A+E	A	A+E	A	A+E	A	A+E
	µg/g							
PRA.*	0.25	0.30	0.30	0.32	0.34	0.38	0.41	0.45
<i>p</i> -HBA	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.04
VA.	0.24	0.28	0.25	0.30	0.32	0.43	0.38	0.82
<i>m</i> -HBA	0.02	0.26	0.06	0.46	0.05	0.50	0.16	0.65
RA.	0.02	0.03	0.04	0.06	0.05	0.06	0.08	0.13
<i>p</i> -CA.	1.40	9.20	2.20	12.20	2.40	12.10	3.02	16.00
FA.	0.28	2.38	0.50	4.90	1.02	5.01	2.00	10.20
<i>o</i> -HBA	0.15	0.94	0.35	1.05	0.30	1.10	0.43	2.95
Total	2.38	13.43	3.73	19.32	4.51	19.62	6.50	31.24

\*, \*\*: As shown in Table 4.

## 討 論

比較盤固草與印度藍莖草在不同缺水程度下，牧草葉片的水分含量 (LWC) 與相對膨潤度 (LRT)。缺水與否盤固草葉片的水分含量均較印度藍莖草為高，而隨著缺水日數的增加，盤固草葉片水分含量下降的幅度較印度藍莖草者大，盤固草由 83.3 %（不缺水處理，CK）降至 69.5 %（缺水 6 天，WS6），其下降的幅度為 13.8 %；印度藍莖草則由 74.6 % 降至 64.9 %，下降的幅度為 9.7 %。另比較兩種牧草葉片的相對膨潤度，盤固草由 90.0% 降至 55.7%，下降的幅度為 34.3%；印度藍莖草則由 88.1% 降至 62.7%，下降的幅度為 25.4%。由以上的結果顯示，印度藍莖草在缺水的環境下，其葉片水分的散失較盤固草為緩慢，顯示印度藍莖草的耐旱性較盤固草為強。

兩種牧草在不同缺水程度下的生長，印度藍莖草較盤固草為優，雖然兩牧草隨著缺水日數增加，其株高與乾物產量逐漸降低，但印度藍莖草降低的幅度較盤固草緩慢，顯示印度藍莖草在缺水的環境下，其生長較盤固草為佳，其耐旱性亦較盤固草為強。Gates (1974) 認為在缺水的環境下，牧草耐旱性的能力與植物組織水分的重分配及乾旱下減少水分的流失有密切的關係。本試驗印度藍莖草在缺水的環境下，其葉片水分的流失速度較盤固草為慢，且其生長亦較盤固草為優，顯示印度藍莖草的耐旱性較盤固草為強。

不同缺水程度下的牧草品質，其粗蛋白質與酸洗纖維含量均不受影響，但對於中洗纖維含量卻有影響，盤固草與印度藍莖草均有相同的情形，即缺水的程度愈大，中洗纖維含量愈高。Bohn (1990) 試驗報告指出：土壤缺水的環境下，其生長的牧草莖部含較大量的中洗纖維及木質素，同時牧草的消化率降低，牧草的品質較差。

缺水環境下，兩種牧草植體內苯酸與肉桂酸的含量，在根、莖與葉中，均以鍵結性的酚酸含量高於可溶性者；莖部中以 *p-coumaric acid* 含量最高。葉部中以 *ferulic acid* 含量最高；而根部中亦以 *p-coumaric acid* 含量最高。

盤固草在缺水狀態下，莖部中可溶性與鍵結性酚酸均呈增加的趨勢，其中以 *p-coumaric acid* 所增加的量最多；盤固草葉部在缺水環境下，亦有相同的趨勢，但以 *ferulic acid* 所增加的量最多；盤固草根在缺水下，可溶性與鍵結性酚酸亦呈增加的趨勢，且隨著缺水日數增加，八種可溶性與鍵結性的苯酸與肉桂酸含量均隨之提高。

印度藍莖草在缺水環境下，苯酸與肉桂酸的變化大致與盤固草相似，其中有一些相異之處；在莖部中，缺水可促進可溶性與鍵結性的酚酸含量，其中以 *p-coumaric acid* 增加的最多，而其他酚酸含量變化較不一致。對葉部而言，不缺水與缺水 2 天者，其酚酸含量的變化不大，但隨著缺水日數增多（4 天及 6 天）其葉部中 *ferulic*、*p-coumaric* 及 *o-hydroxybenzoic acid* 的含量，均呈增加的趨勢，而以 *ferulic acid* 增加最多。對於印度藍莖草根，缺水二天與缺水四天者，其鍵結性的酚酸含量變化不大，但與缺水六天者相比較，後者的酚酸含量則增加甚多，其中以 *p-coumaric acid* 增加最多，*ferulic acid* 次之。

植物在缺水的環境下，一些生化物質的含量會增加，如植物在乾旱環境下，會產生 ABA 的物質，它是一種生長抑制劑。Waller & Nowacki (1978) 報告指出，乾旱環境下生長的飛燕草屬植物，會產生 *delcosine*，它是一種植物鹼，亦是一種生長抑制物質；Chou (1989) 分析乾旱下生長的銀合歡，會分泌大量的酚酸物質；Bohn (1990) 分析缺水下生長的 *switchgrass*，其牧草莖部中 *p-coumaric acid* 的含量增加。

本試驗中，缺水下生長的盤固草與印度藍莖草，其植體中的酚酸含量亦呈增加的趨勢，但其中莖部以 *p-coumaric acid*、葉部以 *ferulic acid* 及根部以 *p-coumaric acid* 的含量增加的最多。根據上述的結果顯示，牧草在缺水的環境下，其酚酸的含量增加，且隨著缺水的程度增大，其酚酸的含量愈多，因此盤固草與印度藍莖草，甚至其它的熱帶性牧草，其耐旱性是否與其酚酸含量的變化有關，值得作更進一步的探討。

## 參考文獻

- 謝文彰、蔡文福、陳建富。1996。盤固草與印度藍莖草混植對生長、乾物產量及品質的影響。畜產研究 29：263~277。
- 謝文彰、蔡文福。1998。不同季節及生育日數對盤固草與印度藍莖草植體酚酸含量之影響。畜產研究 31：153~163。
- Bohn, P. J. 1990. Investigation into the effect of phenolic acids on forage digestibility. *Sci. Engin.* 50：4282~4283.
- Chou, C. H. 1983. Allelopathy in agroecosystems in Taiwan, In *Allelochemicals and pheromones* (Chou, C. H. and Waller, G. R. eds.), pp. 27~64, Institute of Botany, Academia sinica, Taipei.
- Chou, C. H. 1989. The role of allelopathy in biochemical ecology : Experience from Taiwan. *Biologia Plantum* 39：458~470.



- Denmead, O. T. and Shaw, R. H. 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agron. J.* 54 : 385~390.
- Fitzpatrick, E. A. and H. A. Nix. 1970. The climatic factor in Australian grassland ecology. In *Australian grasslands* (R. Milton Moore ed.), pp. 3~26. ANU Press, Canberra.
- Gates, C. T. 1974. Water shortage and agriculture : some responses. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 40 : 121~125.
- Goering, H. J. and P. G. Van Soest. 1970. Forage Fiber Analysis. USDA ARS. Agric. Handbook No. 379.
- Gwynne, M. D. 1960. Drought effects on plants. *New Scient.* 8 : 795~800.
- Kramer, P. J. 1969. Plant and soil relationship: A modern synthesis. pp. 356-373. McGraw Hill, New York.
- Levitt, J., C. T. Sullivan and E. Krull. 1960. Some problems in drought resistance. *Bull. Res. Coun. Israel* 8D : 173~176.
- Ludlow, M. M. 1975. Effect of water stress on the decline of leaf net photosynthesis with age. In *Environmental and Biological Control of Photosynthesis* (R. Marcelle ed.) pp. 123~134. W. Junk, the Hague.
- Ludlow, M. M. and T. T. Ng. 1976. Effect of water deficit on carbon dioxide exchange and leaf elongation rate of *Panicum maximum* var. *trichoglume*. *Aust. J. Pl. Physiol.* 3 : 401~405.
- Ng, T. T., J. R. Wilson and M. M. Ludlow 1975. Influence of water stress on water relations and growth of tropical (C<sub>4</sub>) grass, *Panicum maximum* var. *trichoglume*. *Aust. J. Pl. Physiol.* 2 : 581~586.
- Waller, G. R. and E. K. Nowacki. 1978. Alkaloid biology and metabolism in plants. Plantum Press, pp. 204~210, N. Y. and London.

# Effect of drought stress on growth and phenolic acids in Pangolagrass and Delhigrass<sup>(1)</sup>

Wein-Chang Hsieh<sup>(2)(4)</sup> and Wen-Fu Tasi<sup>(3)</sup>

Received Apr. 21, 2003 ; Accepted May. 28, 2003

## Abstract

The purpose of this study was to determine the effect of drought stress on growth and the contents of phenolic acids of pangolagrass A254 ( *Digitaria decumbens* Stents.) and delhigrass A70 ( *Dichanthium annulatum* ( Forsk.) Stapf). Data showed that water stress affected growth, leaf water content and leaf relative water content of both grasses. Pangolagrass A254 was much sensitive to water stress than delhigrass A70. It appeared that delhigrass was more tolerant to drought. Neutral detergent fiber increased as drought stress intensified while crude protein and acid detergent fiber were not affected. The contents of phenolic acids in stem, leaf and root of both pangolagrass and delhigrass increased as drought stress proceeded. *p*-Coumaric acid content increased mostly in stem and root while ferulic acid content increased mostly in leaf.

Key words : Drought stress, Pangolagrass, Delhigrass, Phenolic acid, Benzoic acid, Cinnamic acid.

---

(1) Contribution no. 1191 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

(2) Hengchun Branch, COA-LRI, Pingtung 946, Taiwan, R.O.C.

(3) Department of Agronomy, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, R.O.C.

(4) Corresponding author.