

高爾夫球場常用草種光合成作用 對土壤水分逆境之反應⁽¹⁾

陳意昌⁽²⁾ 林信輝⁽²⁾

Abstract

Lin, Shin-Hwei and Yih-Chang Chen. Photosynthesis responses of golf turf grasses to soil water stress. Weed Science Bulletin 15(2):115-136.

The photosynthesis and physiology responses of golf turf grasses in Taiwan to soil moisture were studied. Results obtained are summarized as follows:

1. The photosynthesis of Manila and Centipede grass was more sensible to soil moisture content, while Bermuda grass can tolerate drought and grow at lower soil moisture.

2. Mean daily transpiration of Tif-419 was higher than that of any other tested grasses and that of Chinese Crabgrass was lower than any of others.

3. Under the periods of water shortage, positive correlation existed between leaf water potential (LWP), leaf chlorophyll content and net photosynthetic rate (Pn). The Pn of Tif-419 and Tif-328 remains higher while in lower soil moisture, indicating that they have stronger adaptability to drought.

4. According to the results of the Pn response of tested grasses in the period of water shortage, the ability to remain normal growth under water stress, from high to low, was Tif-419, Tif-328, Manila grass, Chinese crabgrass and Centipede grass. But the Pn and growth of tested grass could rapidly recover after rewatering.

(Key Words: Golf turf grasses, Photosynthesis, Water stress, Physiological responses)

-
1. 本研究承行政院農業委員會經會補助(83農建-9.1-林-20(4)-(13))，特此致謝。
 2. 國立中興大學水土保持學研究所研究生、副教授。

摘要：

本試驗選取台灣地區高爾夫球場常用草皮草類，包括小馬唐(新加坡草)、百慕達草Tif-328及Tif-419品系、假儉草及馬尼拉芝(斗六草)等，在控制土壤水分及相關環境條件下，測定各草種之生長及生理現象對土壤水分之反應性。試驗包括水分處理與斷水處理兩部分，結果摘述如下：

1.在土壤含水量較低時，兩種百慕達草品系淨光合成率受影響程度較小，在低含水量下較能維持正常之生長。

2.各草種間一日單位面積之蒸散率比較，以百慕達草Tif-419之蒸散率最高，其次為馬尼拉芝及百慕達草Tif-328，而小馬唐之蒸散率最低。

3.斷水過程中，各供試植物之葉片水分潛勢及葉綠素含量與淨光合成率分別呈指數正相關及直線正相關。不同草種間，百慕達草Tif-419和Tif-328在低土壤含水量光合成率較高，顯示其適應能力較強。

4.由斷水處理過程中，各供試植物光合成率之反應，得知供試草種在缺水情況下能維持正常生長之能力，依次為百慕達草Tif-419、Tif-328、馬尼拉芝、小馬唐、假儉草。但斷水後再供水，各供試草種之光合成與生長均可迅速恢復。

(關鍵詞：高爾夫球場草類、光合成率、水分應力、生理反應)

一、前言

近年來引進的水土保持草類在栽培及應用技術上有相當的進展，對不同環境之適應性亦有多篇文獻研究，相關之栽植管理及維護方法亦有可資遵循之規範供為參考。然高爾夫球場草皮草類因各球場之植生管理方式各異，球場草類要求的品質較高，如葉片需維持濃綠、抗病蟲害強、耐踐踏、耐強剪等特性。因此其引進植生資材之應用較具多樣化(蘇興楊, 1994)，草皮草類之選取亦與水土保持草類強調簡易處理、迅速覆蓋、耐蔭性、耐旱性、固土能力等有所不同。目前有關高爾夫球場植生草皮管理相關資訊仍缺乏，部分商業品種之引進栽植，雖有關於草質、葉色及生長速度之相關報導，但其與本地草種之比較、用水效率及對環境間適應之差異等相關試驗及研究，尚待建立。

本試驗以網室內砂土盆栽之植物為試驗材料，草種為調查所得高爾夫球場球道常用草皮草種，包括小馬唐(新加坡草)、百慕達草Tifway-419及Tifgreen-328、假儉草(林口草)、馬尼拉芝(斗六草)等(林興陳, 1993)，進行不同水分處理試驗及斷水處理試驗，包括各草種對缺水逆境之適應性及供水後之恢復情形等，藉以比較各草類之生長及光合成作用等生理反應狀況，以提供草種推廣及

應用之參考。

二、試驗材料與方法

(一)植物材料

本研究所選擇之供試草類為小馬唐(新加坡草)、百慕達草改良品系(Tifway-419及Tifgreen-328)、假儉草(林口草)及馬尼拉芝(斗六草)等五種。有關草種之名稱及來源列如表1。

(二)盆栽及土壤材料

本試驗所用之土壤為取自濁水溪之黑砂，運回水洗後備用。有關其養分、粒徑、質地及水分常數如表2。

表1 試驗草類之名稱及來源

Table 1. Name of tested grasses

編號	草類名稱 (英名)	學名	材料來源
A	小馬唐(新加坡草) (Chinese Crabgrass)	<i>Digitaria rdicosa</i> (Presl.) Mig.	松柏嶺球場
B	百慕達草Tif-328 (Tifgreen-328)	<i>Cynodon dactylon</i> x <i>C. transvaalensis</i>	台中球場
C	百慕達草Tif-419 (Tifway-419)	<i>Cynodon dactylon</i> x <i>C. transvaalensis</i>	台中球場
D	馬尼拉芝(斗六草) (Manila grass)	<i>Zoysia matrella</i> (L.) Merr.	新豐球場
E	假儉草(林口草) (Centipede grass)	<i>Eremochloa ophiuroides</i> (Munro.) Hack.	草屯風水坪

表2 實驗砂土之基本性質

Table 2. Basic properties of tested sand soil.

項目	pH	EC (mmhos/cm)	available		exchangable			
			OM (%)	P (ppm)	K	Na	Ca	Mg
養分分析					----- (ppm) -----			
測值	8.34	0.21	0.1	2	10	29	754	46
篩號	#4	#10	#20	#40	#60	#100	#200	~
粒徑分析	孔徑mm	4.76	2.0	0.84	0.42	0.25	0.15	0.07
	停留百分率	6.05	13.9	26.05	27.95	13.69	7.02	2.1
質地與 水分常數	項目	砂粒	粉粒	粘粒	最大容水量	田間容水量	永久凋萎點	
	百分比%	94.8	3.8	1.4	25.54	23.86	3.12	

(二) 試驗項目與方法

試驗項目包括水分處理試驗及斷水處理試驗等，茲將有關試驗與測定方法說明如下：

1. 水分處理試驗

各草種於盆栽內栽植八十天後，自民國82年7月9日至9月12日止，進行三種土壤含水量處理，即依重量法將土壤含水量分別加水至20%、10%和5%等三種處理，每兩天加水一次，每處理三重複。處理過程中每盆每星期灌溉二次稀釋四倍之水耕液，每次100毫升，以補充砂土本身養分的不足。水耕營養液配方如表3。試驗過程中，測定下述之資料。

A. 植物生長量

水分處理前將各盆植物修剪至一定高度，並適量調整，使其覆蓋度在80%左右。再將各盆栽採三種水分處理，植物生長一段時間後剪齊至一定高度，最後累計剪除之枝葉與最後枝葉之總和，即為地上部總生長量。地下部根系經洗根，去除土壤、雜物等，予以烘乾並秤重，即為地下部生長量。

B. 葉片淨光合成率

利用LI-COR公司之LI-6200型光合成作用儀測定單位葉面積之淨光表

3 水耕營養液配方

Table 3. The formula of nutrient solution.

	藥 品	含量(g/l)	元 素	濃度(ppm)
巨量元素	KNO ₃	0.6066	N	224
			K	235
	Ca(NO ₃) · 4H ₂ O	0.9466	Ca	160
	NH ₄ H ₂ PO ₄	0.2303	P	62
	MgSO ₄ · 4H ₂ O	0.2465	S	32
			Mg	24
微量元素	KCl	3.728	Cl	1.77
	H ₃ BO ₃	1.546	B	0.27
	MnSO ₄ · H ₂ O	0.338	Mn	0.11
	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.575	Zn	0.131
	CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.125	Cu	0.032
	H ₂ MoO ₄ (85% MoO ₃)	0.081	Mo	0.05
	Fe-EDTA(1)	6.992	Fe	1.12

(1) Ferrous dihydrogen ethylenediamine tetraacetic acid.

合成率。

C. 植物平均日蒸散量

水分處理約兩個月後，每種處理各草種均取一盆，於表土覆蓋含脂棉花防止土壤水分蒸發至大氣中，如此則盆栽重量之減少主要來自葉片蒸散作用。每日上午十時秤盆栽重量之變化，即為植物蒸散量，測定期間共七天。將植物之地上部剪下，利用美國 LI-COR 公司之 LI-3000A 型之葉面積儀，測定各植物的總葉面積，並計算植物單位面積之日蒸散量。

D. 葉片葉綠素含量

選取各水分處理植物之第三至第五成熟葉，利用 Milton Roy 公司的 Spectronic 20D 型分光光度計測定葉綠素吸收光譜，測定葉綠素含量，每處理均重複三次測定。

E. 葉片水分潛勢

以美國 Wescor 公司 HR-33T 型之 Dew point Microvoltmeter 測定之。

2. 斷水處理試驗

將土壤水分充足供應下生長之各種草類植物材料各選一盆做斷水處理，

即任土壤水分隨植物之吸收而趨於乾燥的情況下，測定植物之生理機能變化及與土壤含水量的關係。試驗自民國82年9月13日開始，每日測定草類的淨光合成率、葉片水分潛勢，每一至二日測定葉綠素含量的變化等，與土壤含水量的關係，至9月29日葉片光合成率減至接近零時為止。試驗中土壤含水量以總重量法測計。葉片葉綠素含量、淨光合成率及葉片水分潛勢等之測定方法如前述。另外，就中等土壤含水量栽培之植物材料，將其斷水四日後再予以供水，測定各植物生理機能之恢復情形，其測定方法與上述相同。

三、結果與討論

(一)水分處理試驗

一些環境因子如水分、溫度、光度、二氧化碳濃度及相對濕度等均會影響植物之生長及光合成能力。然在自然環境下，則以水分對光合成作用的影響最重要 (Krampitz et al., 1984)。因此本試驗依土壤含水量為20% (處理I)、10% (處理II) 及5% (處理III) 之設計，整個試驗過程維持盆栽總重量為一定值。由於植物體漸次生長及刈割，致土壤含水率於處理試驗期間有少量之增減，但對本試驗之影響程度甚少。茲就試驗結果，說明如下：

1. 植物生理狀

在水分處理後，各處理之土壤水分含量、葉片水分潛勢、葉綠素含量及淨光合成率等諸生理現象如表4。各供試植物之葉片水分潛勢隨土壤含水量減少而降低，在第I處理區，新加坡草之水分潛勢最高，平均為-1.205 MPa，假儉草次之。不同草類間，小馬唐之葉綠素含量較少，百慕達草之品系較高，此現象若由百慕達草通常具有較濃綠之葉片，色澤亦可獲得瞭解。在光合作用的表現上，在第I及第II處理區，各草種間之差異甚小。在第III種水分處理之水分不足下，百慕達草T-328和百慕達草T-419仍維持相當高之光合成率，其受土壤水分影響的程度較小，因此其對土壤水分應力之光合成反應則較屬於忍受型。而假儉草受水分的影響最高，淨光合成率差值最大 (由24.27 降至10.34 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)，其次為馬尼拉芝。就百慕達草Tif-318與Tif-419品系間之差異而言，則上述之測值間均無明顯之差異。

表4 水分處理後各草類諸生理狀況

Table 4. Physiological phenomena after different soil moisture treatment

草 種	處理	土壤水分含量 (%)	葉片水分潛勢 (MPa)	葉綠素含量 (mg/g)	淨光合成率* ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
A 小馬唐 (新加坡草)	I	20.52 $\pm$ 1.21	-1.205	4.84	26.28
	II	9.96 $\pm$ 0.74	-1.788	4.51	25.55
	III	4.94 $\pm$ 0.18	-2.756	3.44	18.82
B 百慕達草 (Tif-328)	I	20.24 $\pm$ 1.22	-2.258	5.94	25.45
	II	10.46 $\pm$ 0.58	-2.397	5.78	23.48
	III	4.96 $\pm$ 0.25	-2.873	4.94	21.31
C 百慕達草 (Tif-419)	I	20.05 $\pm$ 1.23	-1.835	5.86	24.12
	II	10.35 $\pm$ 0.64	-2.034	5.72	22.24
	III	4.92 $\pm$ 0.21	-2.483	5.01	20.53
D 假儉草	I	20.15 $\pm$ 0.74	-1.457	5.17	24.27
	II	9.78 $\pm$ 0.58	-1.775	4.78	22.6
	III	4.73 $\pm$ 0.14	-2.336	4.16	10.34
E 馬尼拉芝 (斗六草)	I	20.11 $\pm$ 0.78	-1.917	5.45	25.0
	II	9.92 $\pm$ 0.52	-2.189	4.85	24.86
	III	4.98 $\pm$ 0.24	-2.525	3.8	10.7

試驗開始日期：民國82年7月9日

測定日期：民國82年9月10-13日

*人工照光：700 $\pm$ 50 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$

2. 植物生長量

水分處理前，先將各盆植物修剪至約地上2公分並使其覆蓋度在80%左右。再將盆栽依三種水分處理，試驗自民國82年7月9日起至82年9月13日止，共計67天。其間約每隔20天，將各盆植物剪至相同高度，稱重並累計各植物之地上部生長量。試驗結束時，將各盆地上部及地下部分離，洗根、烘乾及秤重可得其他地上部重及地下部之總生長乾重，試驗結果如表5。各草種第I、II水分處理區之植物生長良好，生長量間略有差異。總體而言，各供試草種之平均生長量因土壤含水量之增加而增加。在水分充足下，假儉草的生長量高於其他種草類，其次為小馬唐及馬尼拉芝。而百慕達草由

於其葉面積較小、莖較細，故比較上其乾重生長量較小。處理III因水分不足，具較明顯之缺水症狀，如葉子枯黃、葉片捲曲等現象，尤以假儉草和馬尼拉芝較明顯。故此處理之生長較緩慢且部分草類枯死，覆蓋度稀疏，生長量遠低於另兩種處理。在地下部之生長方面，包含培植時期之生長，各供試植物地下部之生長量，以假儉草生長量最大，馬尼拉芝次之，百慕達草則較小。根莖比增加，則植物本身之耐旱性較好(蔡及陳，1991)各供試草種中均隨土壤含水量之減少，其根莖比增加，水分含量低者，根系發育較地上部多，提高根莖比，有助於減少蒸散失水面積，以維持生命，其中以假儉草之根莖比增加較小，其耐旱性較其他草類稍低，其次為馬尼拉芝。各盆植物之地上部乾重和地下部乾重大略呈正相關，如圖1。

表5 各水分處理草類之乾物累積量

Table 5. Dry weight of grasses under different soil moisture treatments.

單位：g (dry weight)

草 種	水分 處理	地 上 部 ⁽¹⁾			地下部 ⁽²⁾	總乾重 (1)/(2)	
		刈割	留存	總和			
A 小馬唐 (新加坡草)	I	8.79	3.76	11.55	3.28	14.83	3.52
	II	8.64	2.12	10.76	2.12	12.88	5.08
	III	3.74	1.49	5.23	0.91	6.14	5.75
B 百慕達草 (Tif-328)	I	6.55	2.88	9.43	2.48	11.91	3.80
	II	6.16	2.03	8.19	2.00	10.19	4.10
	III	3.17	1.46	5.63	0.97	6.60	5.80
C 百慕達草 (Tif-419)	I	6.45	2.74	9.19	2.31	11.50	3.98
	II	5.64	2.12	7.76	1.78	9.54	4.36
	III	3.82	1.56	5.38	1.10	6.48	4.89
D 假儉草	I	8.76	5.97	14.73	6.04	20.77	2.44
	II	7.18	5.20	12.38	4.85	16.73	2.55
	III	4.44	3.05	7.49	2.73	10.22	2.74
E 馬尼拉芝 (斗六草)	I	6.24	3.78	10.02	4.26	14.28	2.35
	II	5.30	3.27	8.57	3.20	11.77	2.68
	III	4.32	2.17	6.49	1.73	8.22	3.75

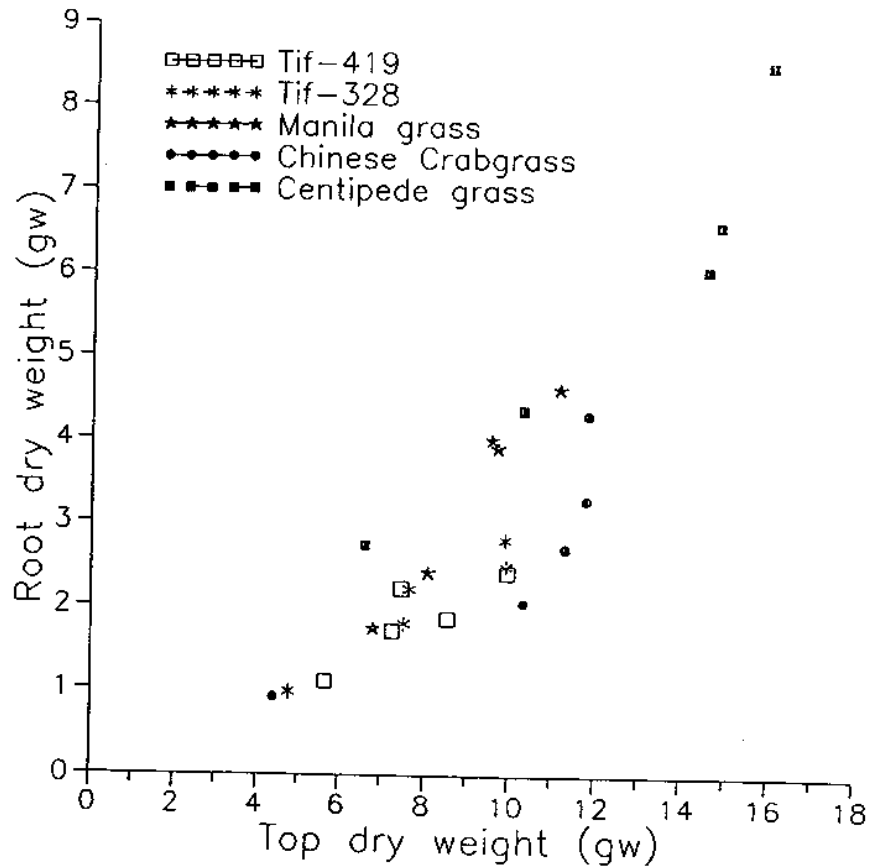


圖 1 水分處理後草類地上部與地下生長量之關係

Fig. 1. Top and root dry weight after different soil moisture treatment

3. 單位葉面積之平均日蒸散量

水分處理約兩個月後，處理 I 與處理 II 各草種取一盆，於砂土表面覆蓋含脂棉花，防止土壤水分蒸發至大氣中。每日上午十時秤盆栽重量之變化，測定期間自民國 82 年 9 月 4 日起，至 9 月 11 日止，共計七天。測定結束時，將草類之地上部剪下，測定各草類之總葉面積，計算其每單位葉面積之蒸散率以比較各植物的單位面積之日蒸散量。測定結果，各草類之蒸散率，如表 6。由表 6 可知，在水分充足下(處理 I 及處理 II)各草種間之蒸散率(一日單位面積之蒸散量)以百慕達草 T-419 之蒸散率最高，其次為馬尼拉芝草；而以小馬唐之蒸散率最低。

表6 各草類之平均日蒸散量

Table 6. Mean daily transpiration of tested grasses.

草 種 處理	盆栽每日重量變化 (g)								葉面積 (cm ²)	蒸散率 (g/dm ² /day)
	1	2	3	4	5	6	7	平均		
A 小馬唐 (新加坡草)	I 62	63	51	52	45	43	36	50.3	144.46	34.82
	II 42	37	31	42	39	39	36	38.0	105.88	35.89
B 百慕達草 (Tif-328)	I 51	51	49	54	52	48	44	49.9	113.21	44.08
	II 39	41	39	45	49	41	38	41.6	86.06	48.34
C 百慕達草 (Tif-419)	I 50	51	56	58	55	53	46	52.7	104.93	50.22
	II 39	44	40	51	45	43	35	42.4	82.56	51.35
D 假儉草	I 47	52	44	50	47	47	38	46.4	132.26	35.08
	II 36	50	41	44	39	45	37	41.7	118.29	35.25
E 馬尼拉芝 (斗六草)	I 53	50	52	56	53	56	47	52.4	114.67	45.70
	II 38	40	25	42	42	39	37	37.6	75.98	49.49

試驗日期：民國83年9月4日～9月11日

(二)斷水處理

1. 斷水過程中植物諸生理現象之變化

為瞭解各供試草類對短期缺水後植物諸生理現象之反應，茲選取充分供水並生長良好之植物材料各一盒，於民國82年9月13日開始，作不供水處理。每日測定草類的淨光合成率、葉片水分潛勢與土壤含水量的變化，每一至二日測定葉綠素含量的變化情形，至9月29日葉片淨光合成率接近零為止。試驗結果，如圖2。由圖2A可知，各供試植物盆栽內土壤含水量之變化大致相同，相同水分處理之各草種間，其土壤含水量均維持在相同等級。而供試草類葉片之淨光合成率與葉綠素含量亦隨斷水時間之增加而等值之下降。表7為斷水處理過程中，處理初期、淨光合成率約減半期及斷水最後一天之淨光合成率、土壤含水量、葉片水分潛勢及葉綠素含量各項測值。百慕達草T-419及百慕達草T-328之光合成速率減半期，分別在斷水十五日及十六日。此時其土壤含水量已降低至1.59%，顯示其對乾旱之適應力強。而假儉草對乾旱之適應力較低，在斷水十日為光合作用的減半期，土壤含水量為6.87%。

表7 斷水處理過程中各供試植物之葉片水分潛勢與淨光合成率

Table 7. Leaf water potential and net photosynthetic rate during water withholding process

草種	斷水日數 (days)	土壤含水量* (%)	葉綠素含量 (mg/g)	淨光合成率 ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)
A 小馬唐 (新加坡草)	1	20.73	4.85	26.28
	13	6.07	3.08	15.27
	17	2.32	1.09	1.72
B 百慕達草 (Tif-328)	1	20.56	5.88	24.68
	16	2.33	3.48	13.49
	17	1.89	2.61	11.08
C 百慕達草 (Tif-419)	1	20.05	5.72	24.12
	15	2.99	3.76	15.23
	17	1.89	2.62	7.68
D 假儉草	1	20.75	5.29	23.48
	10	7.67	3.84	11.29
	17	1.95	1.90	0.42
E 馬尼拉芝 (斗六草)	1	20.18	5.34	25.00
	12	5.78	3.80	14.54
	17	1.86	1.47	3.64

* 以重量法計算所得盆栽土壤之平均含水量

2. 斷水過程中土壤含水量與植物諸生理現象之相關性

(1) 土壤含水量與土壤水分潛勢的關係

由於砂土之透水性良好，因此在斷水過程中，盆栽內不同土層部位之土壤水分狀況會有所差異。為了避免土壤採樣時影響到植物生理之測定值，故將測定土壤水分潛勢分為二層；即表層下1公分及表層下15公分處；並以相同土壤材料及土壤含水量之對照空盆為測定對象。圖3為斷水過程中土壤含水量與土壤水分潛勢之關係圖，表層下1cm之土壤含水量在8%以下時，土壤水分潛勢(SWP)已降至-6MPa以下，而表層下15cm處之SWP則在-1 MPa以上，兩者差異極大，故植物之生理現象與土壤水分

之關係乃以土壤含水量表示之。

(2) 土壤含水量與葉片水分潛勢的關係

土壤含水量與葉片水分潛勢(LWP)之關係如圖4，由圖可知，土壤含水量在8%以上時，百慕達草 Tif-419及 Tif-328 之LWP 變化不大，均維持在-2.0~-2.3 MPa 之間，顯示葉片較不受水分缺少之影響；即耐旱程度較佳。假儉草之葉片水分潛勢受水分影響所產生之變化較大，在含水量在6%時，其LWP由原來之-0.8 MPa 上升-3.7MPa；而小馬唐葉片本身之LWP較大，隨土壤含水量之減少而緩慢下降。

(3) 土壤含水量與葉綠素含量的關係

斷水試驗之後期，草類葉片會因缺水逆境變枯黃及捲縮，由於葉片之枯黃或謂有退綠之現象，係因葉片缺水而造成或葉綠素之分解，此現象以假儉草及馬尼拉芝較為明顯。草類葉綠素含量之變化與土壤含水量的關係如圖5，葉綠素含量之變化初期並不明顯，然各供試植物之葉綠素含量均隨土壤含水量之降低而減少，在土壤含水量降至4%時，草種之葉綠素含量約下降至原來的60%左右，而以假儉草下降比率較大，約下降至原來之45%。

(4) 土壤含水量與淨光合成率的關係

各供試植物之淨光合成率與土壤含水量的關係如圖6。假儉草在土壤含水量降至5%，馬尼拉芝在土壤含水量降至4%時，其淨光合成率為正常狀態的40%以下。而百慕達草之Tif-419及Tif-328在土壤含水量降至2%時，其淨光合成率仍為正常狀態的50%，顯示百慕達草品系具較高之適應能力。

一般而言，在缺水情況下植物能維持正常之生理機能，即維持光合作用及葉片氣孔導度的能力愈強，則其對水分逆境之適應力愈高，由本試驗之結果觀之，各供試草種間以百慕達草品系之適應能力較高，而假儉草和馬尼拉芝較低。

(5) 葉片水分潛勢與淨光合成率的關係

葉片水分潛勢對淨光合成率之關係如圖7所示。各供試植物之葉片水分潛勢與淨光合成率成指數相關。甚多學者指出，在乾旱情況下土壤水分之吸收困難，將導致葉片水分潛勢降低及光合成作用之下降(Krampitz et al., 1984；蔡青園等, 1990)。在高水分潛勢時，小馬唐之淨光合成率較其他草類為高，其LWP在-2.6MPa以上時，其淨光合成率在 $16-27 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，變化較大。百慕達草Tif-328之淨光合成率受LWP之影響較小，其LWP降至-4.0 MPa以下時，其光合成率仍維持在正常狀態的50%，假儉草之光合成率受LWP影響較大。

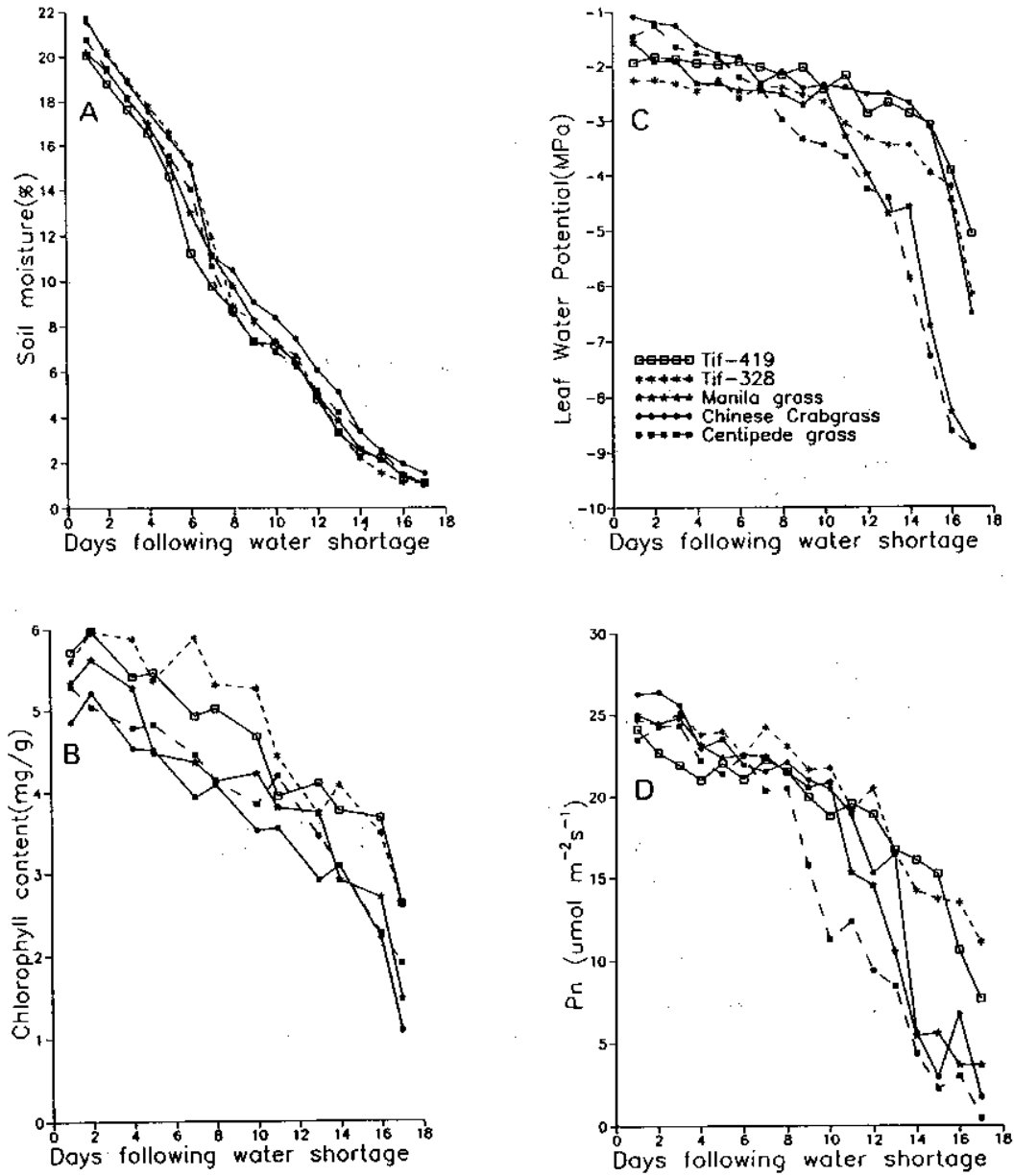


圖 2 斷水過程中土壤含水量(A)、葉綠素含量(B)、葉片水分潛勢(C)及淨光合成率(D)之變化

Fig. 2. Soil moisture, leaf chlorophyll content, leaf water potential and Pn of grasses after water withholding process.

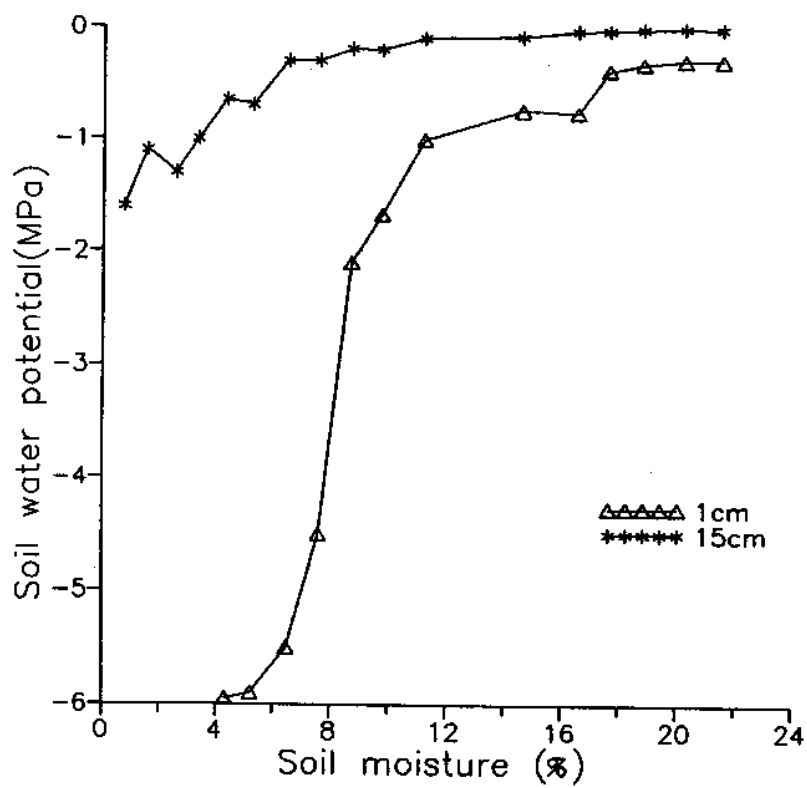


圖3 斷水過程中土壤含水量與土壤水分潛勢之關係

Fig. 3. The relationship between soil moisture and soil water potential after water withholding process

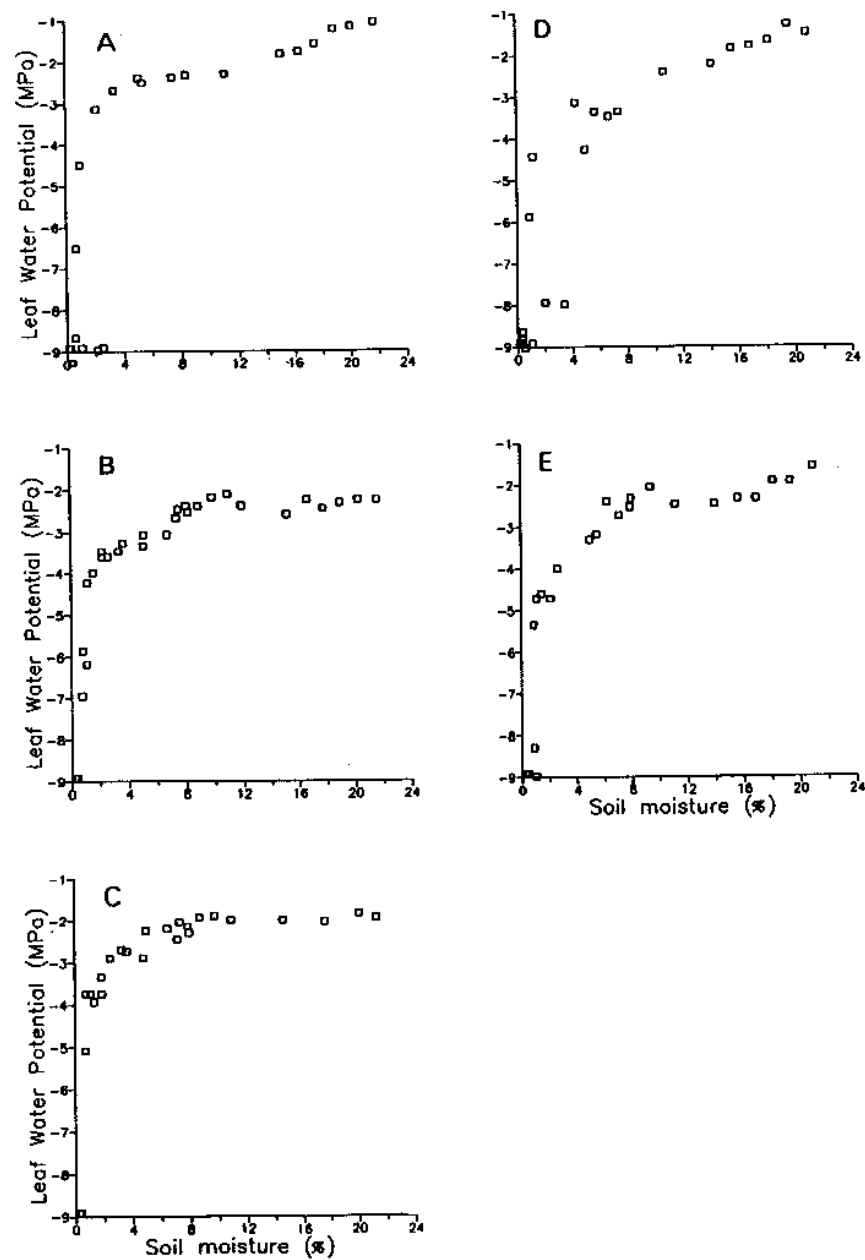


圖 4 斷水處理後土壤含水量與葉片水分潛勢之關係

(A:小馬唐 B:百慕達草 Tif-328 C:百慕達草 Tif-419 D:假儉草 E:馬尼拉芝)

Fig. 4. The relationship between soil moisture and leaf water potential after water withholding process

(A:Chinese crabgrass B:Bermuda grass Tif-328 C:Bermuda grass Tif-419
D:Centipede grass E:Manila grass)

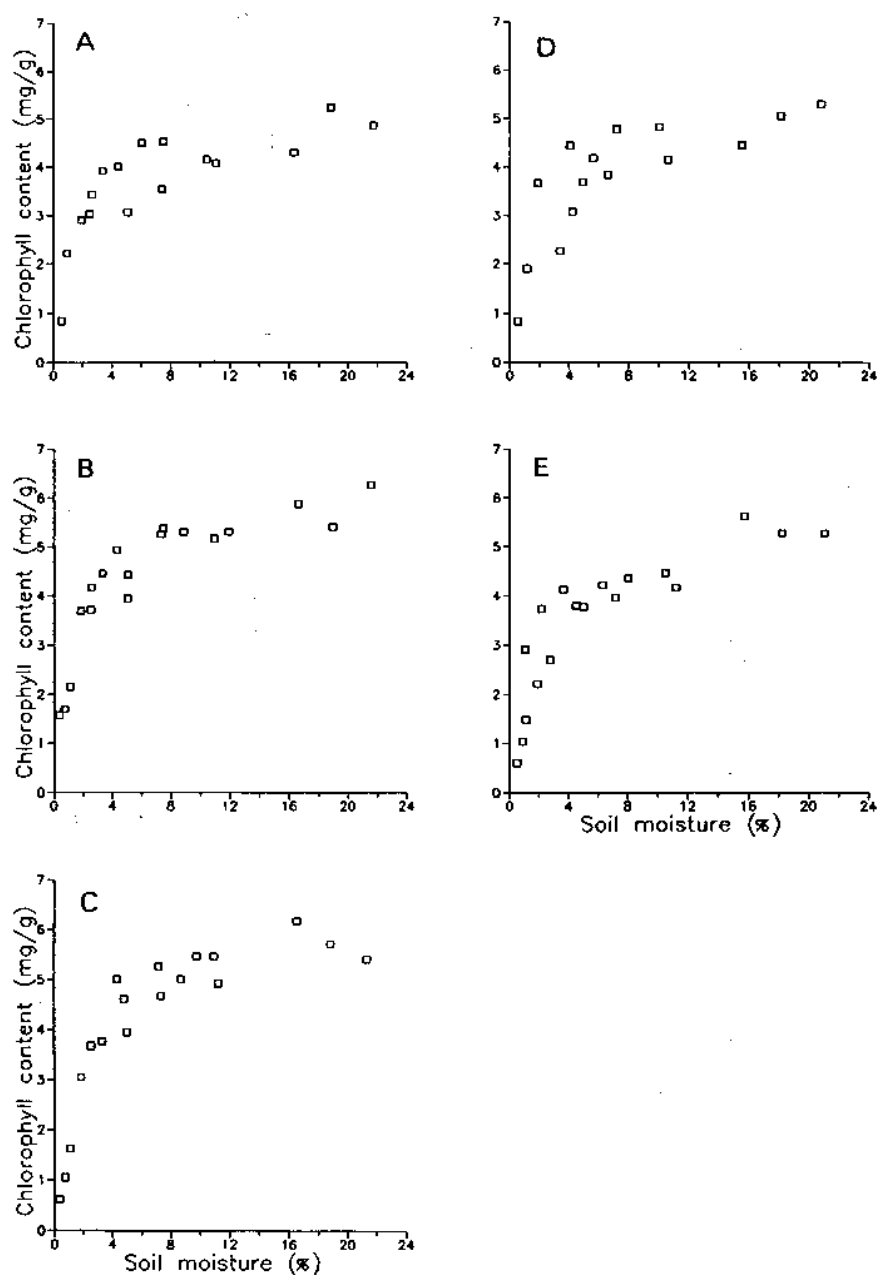


圖 5 斷水處理後土壤含水量與葉綠素含量之關係

(A:小馬唐 B:百慕達草 Tif-328 C:百慕達草 Tif-419 D:假儉草 E:馬尼拉芝)

Fig. 5. The relationship between soil moisture and leaf chlorophyll content after water withholding process

(A:Chinese crabgrass B:Bermuda grass Tif-328 C:Bermuda grass Tif-419 D:Centipede grass E:Manila grass)

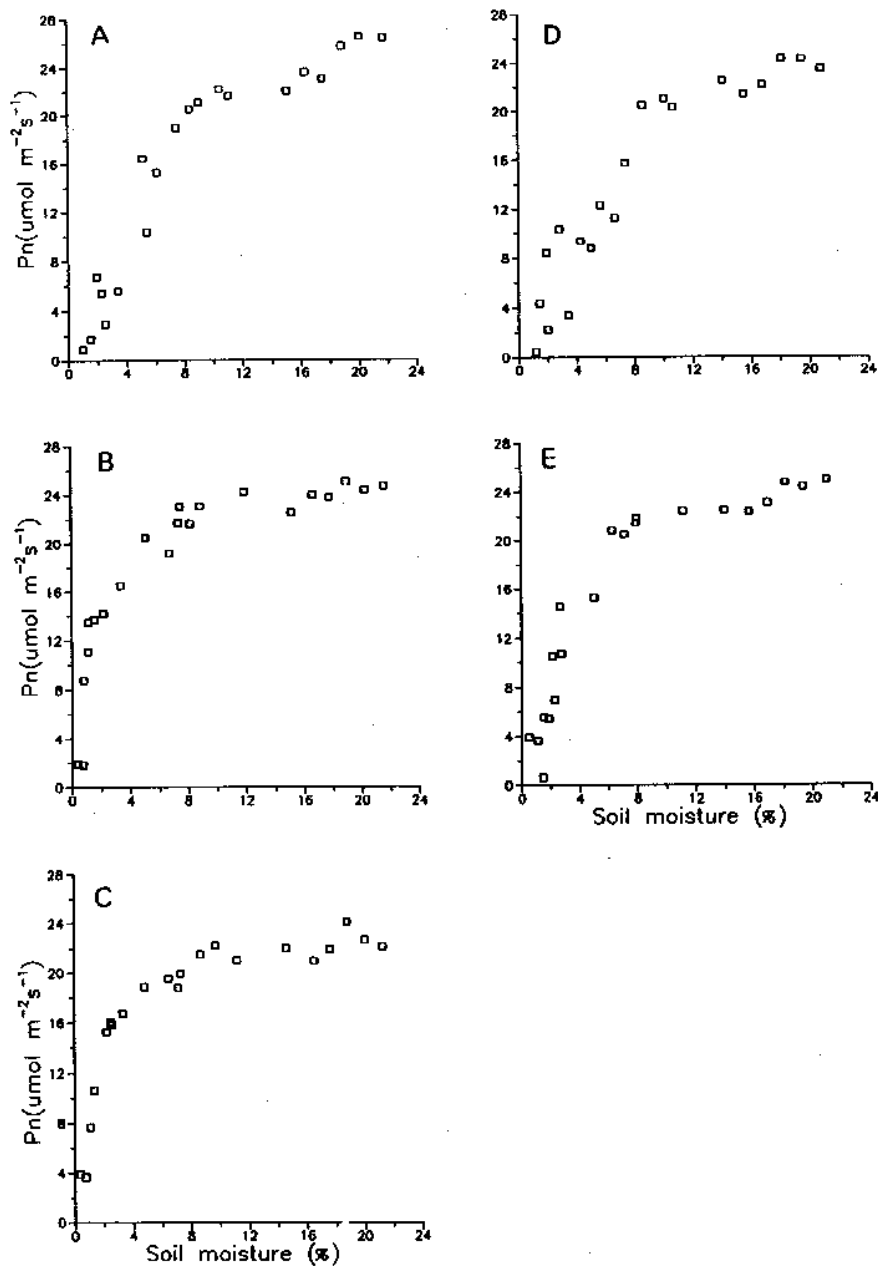


圖 6 斷水處理後土壤含水量與葉片淨光合成率之關係

(A: 小馬唐 B: 百慕達草 Tif-328 C: 百慕達草 Tif-419 D: 假儉草 E: 馬尼拉芝)

Fig. 6. The relationship between soil moisture and leaf net photosynthetic rate after water withholding process

(A: Chinese crabgrass B: Bermuda grass Tif-328 C: Bermuda grass Tif-419

D: Centipede grass E: Manila grass)

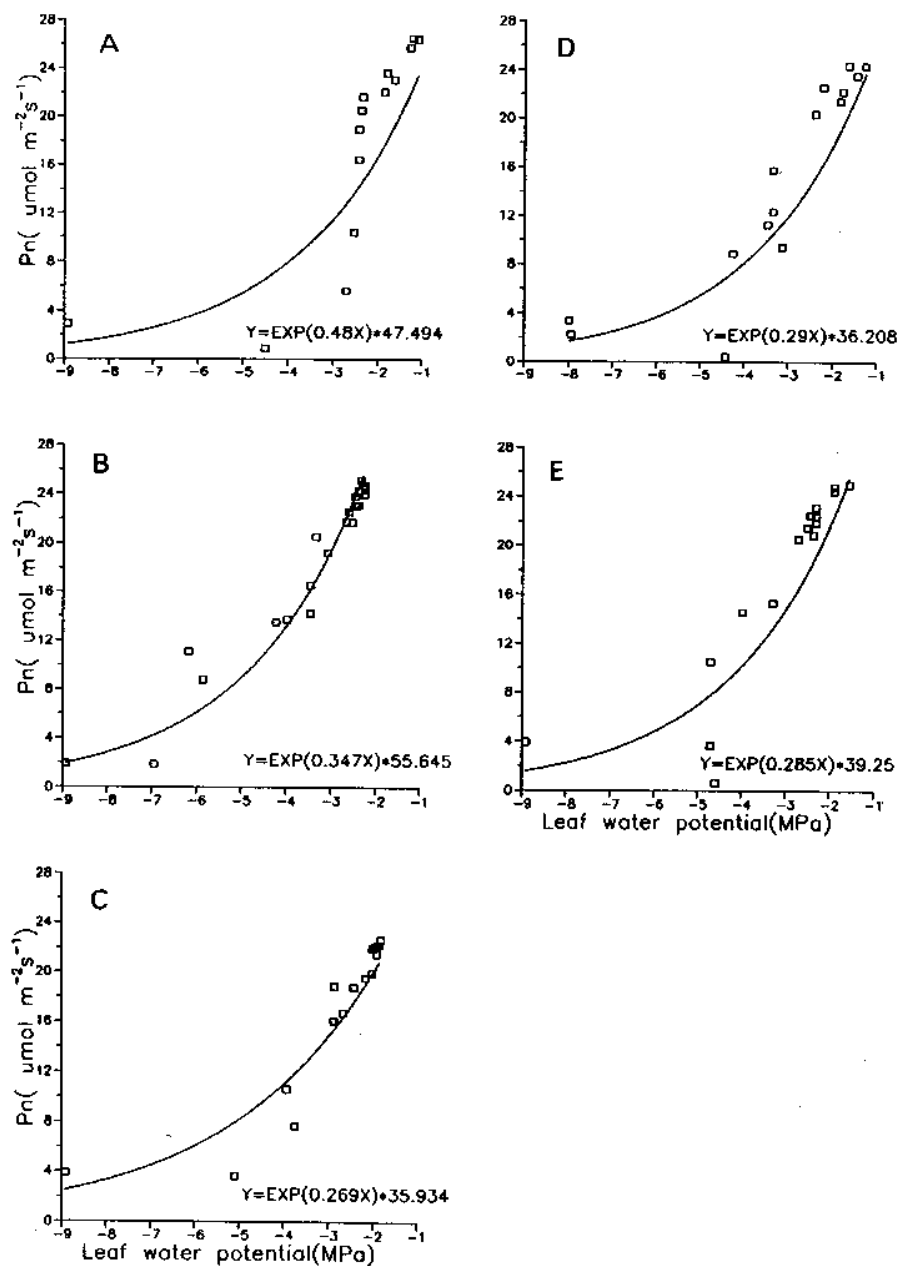


圖7 斷水處理後葉片水份潛勢與葉片淨光合成率之關係

(A:小馬唐 B:百慕達草 Tif-328 C:百慕達草 Tif-419 D:假儉草 E:馬尼拉芝)

Fig. 7. The relationship between leaf water potential and leaf net photosynthetic rate after water withholding process

(A: Chinese crabgrass B: Bermuda grass Tif-328 C: Bermuda grass Tif-419

D: Centipede grass E: Manila grass)

(6) 葉綠素含量與淨光合成率的關係

葉綠素含量與淨光合成率的關係如圖8所示，葉綠素為光合成作用的基本物質，多位學者之研究指出其相關性甚高(Buttery & Buzzel, 1977)。本試驗各供試植物間兩者均呈直線正相關，且相關係數均達0.922以上。其中小馬唐之相關曲線斜率最大，亦即其葉綠素含量之變化量較小，而淨光合成率之變化量較大。

綜觀上述之結果可知，斷水期間，各供試草類之淨光合成率(Pn)、葉綠素含量(Chl)及葉片水分潛勢(LWP)，有隨土壤含水量逐漸下降之趨勢。在斷水初期對植物並未明顯影響，至一限界後即明顯下降。其中百慕達草Tif-419及Tif-328，在低土壤含水量時Pn值較高，顯示此草種之適應能力較強。而假儉草及馬尼拉芝於斷水十餘日後，其葉片具捲曲、變黃等現象。而各草種生理反應之相關性上，則Pn分別與LWP及Chl成直線正相關及指數正相關。

(二) 斷水處理四日後再供水之生理反應

取控制土壤含水量在10%(第一重複)及5%(第二重複)之盆栽植物各一盆，於民國82年9月13日起進行斷水後再供水之試驗。在固定光源下測定斷水處理前、斷水處理後四天及再供水後植物之淨光合成率、葉片水分潛勢及葉綠素含量等，測定時間均在早上十至十一時完成。其相關的反應性，如表8。

由表可知，各供試植物均因土壤水分缺乏而光合成率隨之降低，尤以第二重複下降幅度較明顯。各草種間，假儉草遭遇水分逆境時，其淨光合成率之下降率最大，其第一、二重複分別為斷水前的52%及20%；小馬唐之淨光合成率則分別為斷水前的58%及28%。而百慕達草Tif-419及Tif-328僅下降至斷水前之80%，故受影響程度較小。各植物重獲供水一天後，各供試植物之生理狀況即恢復至斷水前相同之狀況。

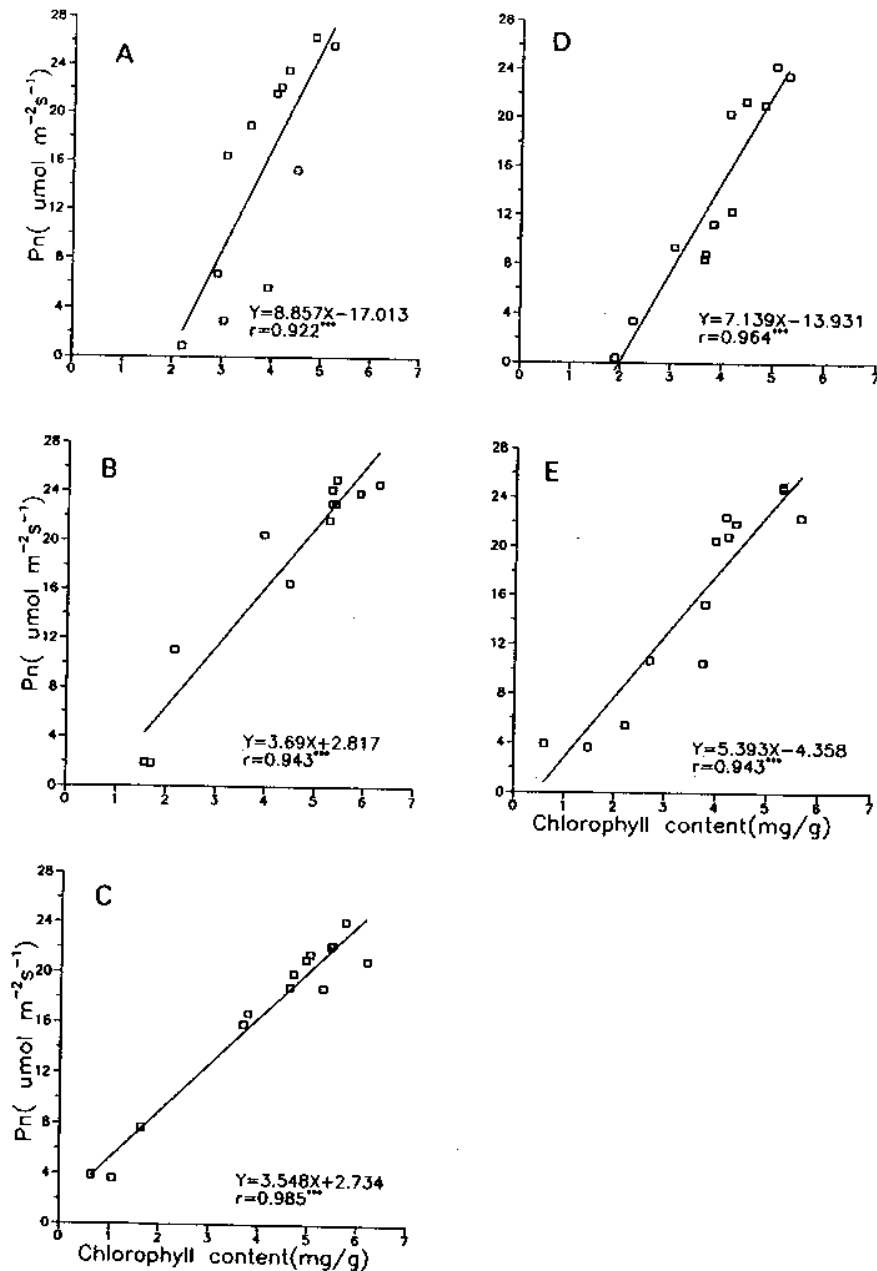


圖 8 斷水處理後葉片水分潛勢與葉片淨光合成率之關係

(A:小馬唐 B:百慕達草 Tif-328 C:百慕達草 Tif-419 D:假儉草 E:馬尼拉芝)

Fig. 8. The relationship between chlorophyll content and leaf net photosynthetic rate after water withholding process

(A: Chinese crabgrass B: Bermuda grass Tif-328 C: Bermuda grass Tif-419 D: Centipede grass E: Manila grass)

表 8. 斷水處理前後草類諸生理反應及其再供水後之復原情形
 Table 8. Effects of golf grasses when water was resupplied after stress.

草 種	重覆	斷水前			斷水四日後			再供水一天後		
		Pn	LWP	Chl	Pn	LWP	Chl	Pn	LWP	Chl
A 小馬唐 (新加坡草)	I	26.31 (100)*	-1.72	5.02	15.27 (58)	-1.85	4.51	25.55 (97)	-1.44	4.53
	II	24.24 (100)	-2.42	4.53	6.73 (28)	-2.75	3.44	24.10 (99)	-2.59	4.45
B 百慕達草 (Tif-328)	I	25.45 (100)	-2.19	5.97	20.49 (81)	-2.46	5.31	26.01 (102)	-2.12	5.78
	II	23.12 (100)	-2.46	5.26	19.90 (86)	-3.34	3.69	24.14 (104)	-2.73	4.94
C 百慕達草 (Tif-419)	I	23.94 (100)	-1.84	5.78	19.56 (82)	-2.03	5.17	24.7 (103)	-1.88	5.72
	II	21.21 (100)	-2.08	5.27	17.59 (83)	-2.90	3.67	21.87 (103)	-2.04	5.01
D 假儉草	I	23.87 (100)	-1.36	5.07	12.32 (52)	-3.53	4.19	24.18 (101)	-1.84	4.82
	II	21.47 (100)	-1.71	4.78	4.35 (20)	-4.42	3.67	21.84 (102)	-1.90	4.65
E 馬尼拉芝 (斗六草)	I	24.86 (100)	-1.87	5.28	21.89 (88)	-2.39	4.22	24.19 (97)	-1.64	5.28
	II	23.62 (100)	-2.18	3.88	6.99 (30)	-2.92	2.70	23.14 (98)	-2.12	3.80

Pn: Net photosynthetic rate ($\mu \text{ mole m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

LWP: Leaf water potential (MPa)

Chl: Leaf chlorophyll content (mg/g)

*括號內之值以斷水前之測值為100, 斷水後及復原之值為其相對值。

四、結論與建議

本試驗為配合解釋高爾夫球場在球道上鋪砂之情形，故以砂土做為供試土壤材料。唯斷水過程與土壤水分處理過程中，盆栽中不同深度之土壤含水量(土壤水分潛勢)差異頗大，以總重量之變化做為計算土壤含水量之依據，在解釋植物水分生理現象上較為困難。因為其生理現象受到土層根系之分布及不同部位根系吸水能力等之交互影響，此尚待進一步探討。唯若以相同盆栽條件、相同土壤及相同土壤水分之變化過程中，以各臨界點之生理現象做為比較不同草種間之適應性反應差異，則本文提供之試驗結果，可供為球場或一般草皮草類選取與管理之參考。

試驗結果，百慕達草之改良品系之生長速度較快，且較其他草類適於土壤水分逆境下生長，較能保持常綠與快速覆蓋。此或係台灣地區高爾夫球場球道草種由早期的假儉草、新加坡草、斗六草而逐漸改植百慕達草Tif-328與Tif-419品系之原因。至於其草類之習性，如耐踐踏性、抗蟲害性及用水效率等之考量，則尚待進一步之研究。

參考文獻

1. 林信輝. 1988. 水土保持草類對土壤含水量、光度及溫度之反應. 中華水土保持學報 19(2): 1-13.
2. 林信輝、陳意昌. 1993. 台灣地區高爾夫球場草皮特性與管理之研究. 中華民國雜草學會會刊 14(2): 103-124.
3. 蔡青園, 陳清義. 1991. 缺水對樟樹及楓香光合成作用及生理特性之影響. 中華林學季刊 24(2): 47-57.
4. 蘇秋華、楊秋忠. 1994. 高爾夫球場地草皮保肥及省水管理之研究. 中華水土保持學報 25(2): 121-125.
5. Buttery, B.R. and R.I. Buzzel. 1977. The relationship between chlorophyll content and rate of photosynthesis in soybeans. Can.J.Plant Sci. 57: 1-5.
6. Kawamitsu, Y., W. Agata and S. Miura 1987 Effects of vapour pressure difference on CO₂ assimilation rate, leaf conductance and water use efficiency in grass species. J. Fac. Agr., 31(1.2): 1-10.
7. Krampitz, M.J., K. Klug and H.P. Fock 1984. Rate of photosynthetic CO₂ uptake, photorespiratory CO₂ evolution and dark respiration in water-stressed sunflower and bean leaves. Photosynthetica 18(3): 322-328.