

狼尾草水溶性碳水化合物含量變化與影響因子研究⁽¹⁾

王紓愍⁽²⁾⁽⁵⁾ 陳嘉昇⁽²⁾ 陳文⁽³⁾ 顏素芬⁽⁴⁾

收件日期：92 年 8 月 22 日；接受日期：92 年 10 月 16 日

摘 要

本研究以種植於彰化、恆春及花蓮三地區之狼尾草台畜草二號，進行二週年連續刈割之不同割期試驗，探討水溶性碳水化合物（Water-soluble carbohydrates, WSC）含量變化情形與影響因子，供狼尾草收穫及青貯調製參考。WSC 含量於彰化、恆春、花蓮三地區的週年變動情形類似，花蓮地區之季節差異較大，恆春地區的季節差異較小。三地區之高、低點出現時間稍有差異，但均以夏、秋季之含量較春、冬季為高。割期影響方面，中等割期者之 WSC 含量較高，較嫩或較老割期者含量較低。葉部與莖部之 WSC 含量變化趨勢與全株相似，但莖部含量高且變動幅度大；葉部的含量相對地較低，變動幅度也較小。變方成分分析結果顯示，季節之變方成分占總變方之比例高於地區與割期，但因三地區之環境條件差異大，交感效應亦高。本試驗進一步以氣象資料及收穫時之株高對 WSC 含量進行迴歸分析。花蓮地區之分析結果，以有效積溫為單一變數進行迴歸，直線迴歸式之決定係數（ R^2 ）為 0.40，但二次多項式之 R^2 顯著提高至 0.63，顯示有效積溫與 WSC 含量變化有密切關係，但其關係為非線性。有效積溫之外再聯合收穫前三日總日射量與株高二因子，則迴歸式之 R^2 可提高至 0.81。恆春地區的分析結果與花蓮相似，但迴歸式之 R^2 較低。

關鍵詞：狼尾草、水溶性碳水化合物、氣象因子、割期。

緒 言

狼尾草（*Pennisetum purpureum*）為 C4、多年生、直立型熱帶牧草，植株高大，鮮草產量可達 250-400 噸/公頃，是台灣主要的自產飼料作物之一，主要的利用方式為青飼及青貯。對牧草青貯而言，適當的水分含量與足夠的水溶性碳水化合物（Water-soluble carbohydrates, WSC）含量是確保青貯品質的重要植物因子。研究顯示狼尾草品系之 WSC 含量是影響各品系青貯表現的重要因子，而台畜草二號為目前狼尾草種原中 WSC 含量最高，且最適於青貯的品系（王等，2000）。但是相較於溫帶牧草，狼尾草之 WSC 含量明顯較低，同時由於莖桿粗大，無法藉由萎凋方式調整植株含水量及 WSC 含量，因此，青貯收穫時必須注意植株內容物狀況並避免拉長作業時間，以減少青貯風險

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 1217 號。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所恆春分所。

(3) 行政院農業委員會畜產試驗所彰化種畜繁殖場。

(4) 行政院農業委員會畜產試驗所花蓮種畜繁殖場。

(5) 通訊作者。

(彭等，2000；王等，2002b)。

植物體之 WSC 組成爲單醣、雙醣及少部分寡醣，主要爲光合作用的直接產物及醣類代謝產物，因此，光照、溫度等影響光合作用之環境因子及植株生長、發育等生理因素，經常造成植體 WSC 含量明顯且快速之變動 (Lechtenberg, *et al.*, 1971; Moore and Hatfield, 1994; 王等，2002a)。台灣主要自產芻料中，有關盤固草 WSC 含量的變動情形及變異性已有相當具體的研究結果 (陳等，2000；陳等，2002；王等，2002a)，但尚缺對狼尾草 WSC 含量週年性變動狀況的了解。本研究針對狼尾草台畜草二號進行水溶性碳水化合物含量的變動研究，探討其變動規律及影響因子，期能降低青貯調製風險，增進草青貯品質。

材料與方法

I. 材料及田間種植

試區位於恆春分所、花蓮種畜繁殖場及彰化種畜繁殖場，以品系台畜草二號進行四種不同割期處理之週年刈割試驗。割期處理爲：處理A，35-40 天刈割；處理B，50-55 天刈割；處理C，65-70 天刈割；處理D，80-85 天刈割。試驗設計採RCBD設計，三區集，小區面積 $4\text{ m} \times 3\text{ m} = 12\text{ m}^2$ 。以台肥二號 (N : P₂O₅ : K₂O = 11 : 9 : 18, 400 kg/ha) 爲基肥，每次收割後，四種處理依序施以台肥一號 (N : P₂O₅ : K₂O = 20 : 5 : 10) 200、300、400 及 500 kg/ha。收穫時調查農藝性狀，並將莖葉分開，分別烘乾磨粉。

II. 植體成份分析方法

利用已建立之近紅外光光譜檢量線測定植體之水溶性碳水化合物含量。試驗採用之機型爲 FOSS NIRS 6500，掃描波長 1100-2500 nm，每一樣品掃描二次。

III. 氣象資料收集與統計分析

氣象資料來源爲位於畜產試驗所恆春分所及花蓮區農業改良場之一級農業氣象站 (花蓮試區距氣象站一公里以內)，資料包括每日均溫、最高溫、最低溫、日射量等。

綜合變方分析：以綜合變方分析檢測割期、季節與地區主效應與交感效應，其中割期、季節與地區均爲固定型。季節判定：3-5 月間收穫者爲春季、6-8 月爲夏季、9-11 月爲秋季、12-2 月爲冬季。

迴歸分析：以收穫前三日總日射量、生長期有效積溫 (Growth degree days, GDD, $GDD = \sum (\text{日均溫} - \text{基礎溫度 } (13^{\circ}\text{C}))$)、及株高爲獨立變數，以 WSC 含量爲依變數進行迴歸分析。本研究之統計分析以 SAS 程式進行 (SAS, 1985)。

結 果

I. 不同割期的週年變化及效應分析

彰化、恆春及花蓮三地之 WSC 含量週年變動如圖 1。在試驗的二年期間，彰化地區四種割期之 WSC 含量，除少數幾點的資料較爲偏離外，都隨季節呈現相似的律動，以 2-3 月時最低，之後逐漸增加，至 8-9 月時最高，之後又下降。春、夏、秋、冬四季的平均依序爲 8.3%、8.5%、9.3% 及 6.7%，割期平均由 A 至 D 依序爲 8.5%、8.9%、8.6% 及 7.0%。其中季節間之差異以割期 A 最大，割期 B 最小。

花蓮地區四種割期的變動趨勢與彰化類似，高、低點出現時間也相近，但高低點間差距較彰化明顯，然隨割期增長高低點間差距減小。季節平均值以夏季 11.6% 最高，冬季 6.3% 最低。其中割期 A、B 之季節差異尤其顯著。A 割期平均為 7.8%、B 割期為 8.7%、割期 C 及 D 為 10.1%。以冬季的割期差異較大。

相較於前二地，恆春地區週年變動的季節波動較不明顯，四種割期均以 2-4 月間的 WSC 含量較低，其餘月份的含量較高，年度高點較不明顯。四季平均差異極小，最高最低間僅差 0.9%。割期平均由低至高依序為 A 割期 6.5%、D 割期 8.1%、B 割期 8.8% 及 C 割期 9.8%。其中冬季的割期間差異最大，夏季的差異最小。

綜合而言，三地區中季節間差異以恆春地區最小，花蓮地區最大；割期間差異以恆春最大，彰化最小。花蓮地區之 WSC 含量顯著高於其他二地；夏、秋季的含量高於春季，春季含量高於冬季；割期間則為割期 C > 割期 B > 割期 D 及割期 A（表 1）。

表 1. 狼尾草台畜草二號全株、莖部及葉部水溶性碳水化合物含量之地區、割期及季節差異
Table 1. The content of water-soluble carbohydrate in whole plant, stem and leaf of napiergrass cutting at different locations, cutting-intervals and seasons

Item		Whole plant	Stem	Leaf
		% DM		
Cutting-interval	A*	8.0 ^c	11.8 ^b	4.8 ^{ab}
	B	8.9 ^b	13.2 ^a	4.6 ^{ab}
	C	9.8 ^a	13.2 ^a	5.0 ^a
	D	8.3 ^c	10.9 ^c	4.4 ^b
Season	Spring	8.0 ^b	11.4 ^b	4.8 ^b
	Summer	9.7 ^a	13.7 ^a	5.4 ^a
	Autumn	9.6 ^a	14.3 ^a	4.8 ^b
	Winter	6.9 ^c	9.6 ^c	3.8 ^c
Location	Changhua	8.6 ^b	13.8 ^a	4.1 ^b
	Hengchun	8.0 ^b	10.8 ^c	4.9 ^a
	Hualien	9.3 ^a	12.8 ^b	5.0 ^a

*：Cutting interval: A, 35-40 days; B, 50-55 days; C, 65-70 days; D, 80-85 days.

除全株的 WSC 含量變動外，亦分別調查葉部與莖部之含量變化情形。結果顯示莖、葉的變化趨勢與全株相似，但狼尾草之 WSC 集中於莖部，與玉米、小麥、燕麥等作物相似 (Dwyer *et al.*, 1995; McCaig and Clark, 1982)。相對於莖部，葉部的 WSC 含量較低、變動幅度也較小。圖 2 為花蓮地區葉部及莖部之全年變動。二年間葉部的變動範圍介於 0.9%-12.2%，莖部的變動介於 2.0%-20.5%。其他二試區的情形與花蓮相近。

經由變方成分的劃分，由各變因占總變方百分率可清楚了解各變因對狼尾草 WSC 含量之影響程度（表 2）。其中以季節效應在全株及莖部總變方中所占的百分比比較高，顯示相對於地區及割期的作用，季節因子對全株及莖部的 WSC 變動影響較大。至於因子間交感效應偏高，應與進行試驗的三個地區之環境條件差異頗大有關，特別是溫度及光照差距明顯。

表 2. 地區、季節、割期及交感成份佔狼尾草全株、莖部及葉部水溶性碳水化合物含量總變方百分比

Table 2. The percents of variance estimated for water-soluble carbohydrate associated with location, season, cutting interval and interaction components of napiergrass whole plant, stem and leaf

Source	df	Variable		
		Whole plant	Stem	Leaf
		% of total variance		
Location (L)	2	4.9	11.8	17.9
Season (S)	3	18.7	22.8	9.5
Cutting interval (C)	3	9.8	0	0
L × C	6	18.7	27.8	9.1
C × S	9	20.3	12.5	22.7
L × S	6	27.6	25.1	40.8

II. 氣象因子及株高對 WSC 含量之迴歸分析

圖 1 及變方分析結果均顯示狼尾草WSC含量的季節及割期變動在各地區間的表現類似但不一致。為進一步掌握狼尾草WSC的變動規律並了解其影響因子，本試驗利用恆春分所及花蓮區農業改良場農業氣象站收集之氣象資料及收穫時之植株高度與狼尾草WSC含量進行迴歸分析，結果列表 3。花蓮地區各單項因子迴歸式中以收穫前三日總日射量 (Sun rad.) 之決定係數 (R^2) 最高，達 0.40，而有效積溫 (GDD) 及株高與WSC之直線迴歸式 R^2 亦近於 0.40，與日射量的解釋力相近。值得注意的是有效積溫單一因子的二次多項式迴歸可大幅增進有效積溫對狼尾草WSC含量的解釋能力 (R^2 由 0.40 增加至 0.63)，再聯合收穫前三日總日射量則迴歸式之 R^2 可達 0.78，若再加上株高則迴歸式之 R^2 更可上升至 0.81。

恆春地區的分析結果與花蓮相似，但各因子的解釋能力較低。單因子迴歸中以有效積溫之迴歸式結果最佳，然其 R^2 僅為 0.24，但同樣的採用有效積溫的二次多項式迴歸，可大幅增進有效積溫對WSC含量之解釋能力 ($R^2=0.60$)，顯見狼尾草WSC與有效積溫之間呈現非線性關係。再聯合收穫前三日總日射量則迴歸式之 R^2 可微幅上升至 0.62，而株高對提高解釋力的效用不大。花蓮、恆春二地分析的結果均顯示有效積溫加上收穫前日射量是決定狼尾草WSC含量的重要因素，可決定二地WSC含量變動的七成至六成。

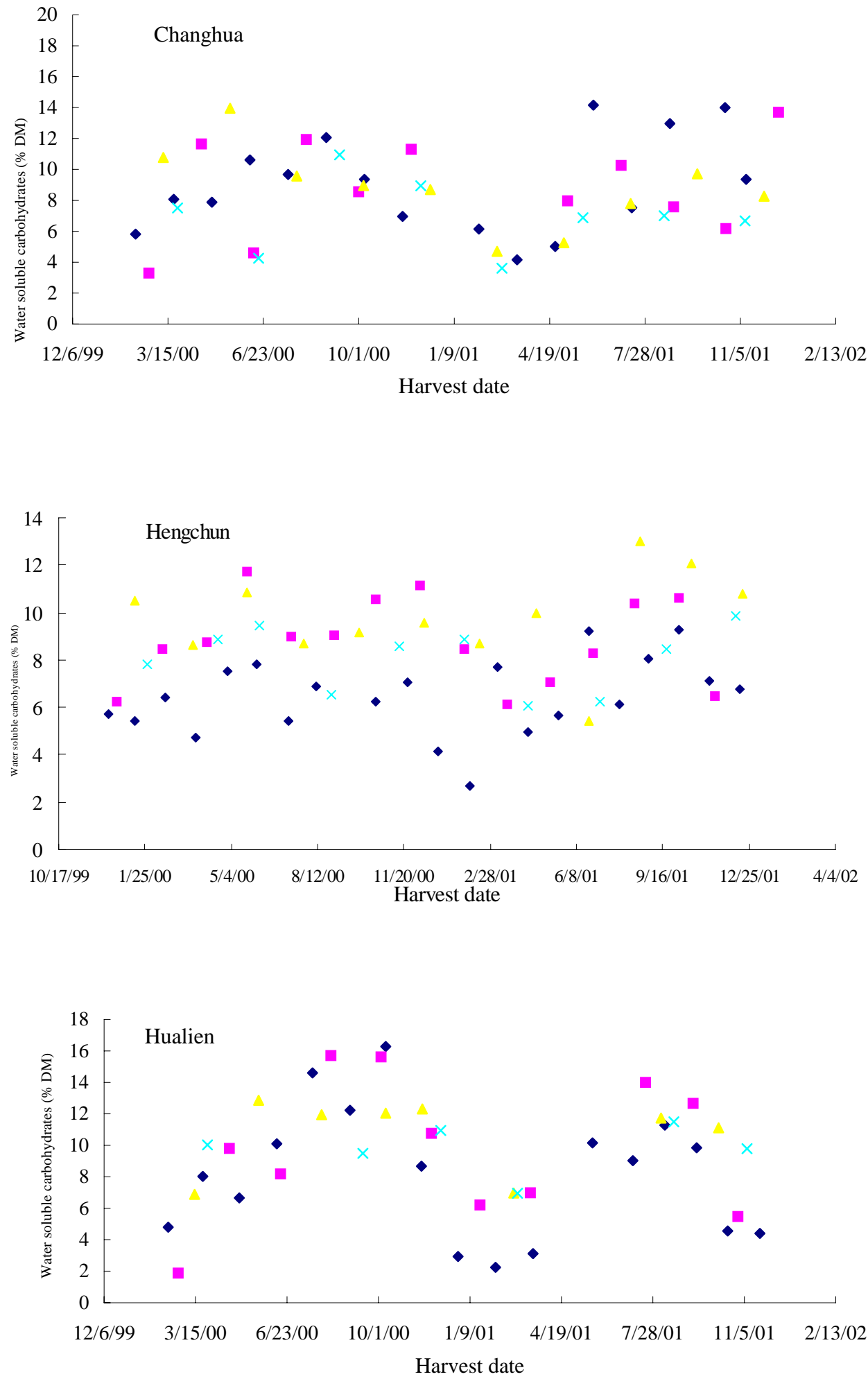


圖 1. 不同割期狼尾草台畜草二號在彰化、恆春、花蓮三地之水溶性碳水化合物含量全年變動（全株）。A:35-40 days (◆), B:50-55 days (■), C:65-70 days (▲), D:80-85 days (×)。

Fig. 1. The contents of water-soluble carbohydrate of napiergrass cutting at different intervals in the whole year. Top : Changhua, middle : Hengchun, low : Hualien. A:35-40 days (◆), B:50-55 days (■), C:65-70 days (▲), D:80-85 days (×).

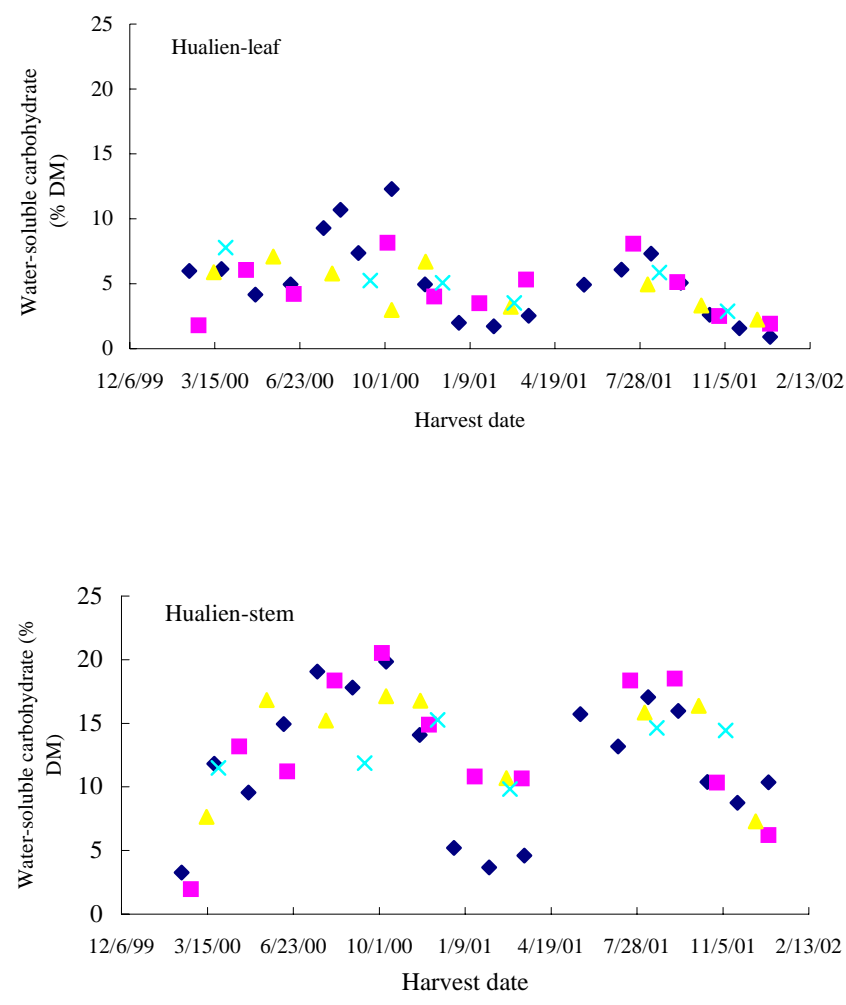


圖 2. 花蓮試區狼尾草葉部（上圖）及莖部（下圖）之水溶性碳水化合物含量年度變化。

Fig. 2. The contents of water-soluble carbohydrate of napiergrass cutting at different intervals in the whole year at Hualien. Top : leaf, low : stem. A : 35-40 days(◆), B : 50-55 days(■), C : 65-70 days(▲), D : 80-85 days(×).

表 3. 象氣因子及株高對水溶性碳水化合物含量之迴歸分析

Table 3. The regression of climatic factors and plant height on the content of water-soluble carbohydrate

Location	Item no. in model	R ²	Variables in the model*
Hualein (n = 42)	1	0.40	Sun rad.
	1	0.40	Plant height
	1	0.40	GDD
	1	0.25	GDD ²
	2	0.63	GDD, GDD ²
	3	0.78	GDD, GDD ² , Sun rad.
	4	0.81	GDD, GDD ² , Sun rad., Plant height
Hengchun (n = 42)	1	0.24	GDD
	1	0.21	Plant height
	1	0.14	GDD ²
	1	0.04	Sun rad.
	2	0.60	GDD, GDD ²
	3	0.62	GDD, GDD ² , Sun rad.
	4	0.63	GDD, GDD ² , Sun rad., Plant height

* : GDD= growth degree days (base temperature, 13℃), Sun rad.= total solar radiation of harvest date and two days before harvest.

討 論

植體 WSC 組成主要為單醣、雙醣及寡醣，在植株體內移動性強且轉化快速 (Moore and Hatfield, 1994; Volenec, 1996; Smith *et al.*, 1998)。由於 WSC 為光合作用產物，因此光照強度、光照時間、溫度、二氧化碳濃度等影響光合作用之環境因子都會影響 WSC 含量的表現，除此之外，物種特性、成熟度、植物生長發育過程供源與積貯 (source and sink) 的變動等因素也會造成 WSC 含量的變動。Burner *et al.* (1983) 分析多地區、多品系 Tall fescue 試驗結果發現，遺傳變方佔 WSC 含量總變方之 55%，環境變方佔 42%，遺傳與環境交感極小。陳等 (2000) 以 6 個盤固草品系之試驗結果顯示，季節是影響盤固草 WSC 含量變動的主要因素，佔總變方之 50%。這些研究顯示牧草 WSC 的變異性大，對環境敏感。本試驗同樣呈現狼尾草 WSC 在不同環境下的高度變動性。

狼尾草 WSC 的變化情形與粗蛋白質、中洗纖維與酸洗纖維等品質性狀的變動類似，均呈現隨季節律動現象，但經由變方成分分析得知變因的相對重要性卻有顯著不同。對品質性狀而言，割期是造成變動的主因，對纖維含量尤其明顯，割期變方可占總變方的 80% 以上 (王等, 2003)。相對的，WSC 的變動影響因子較多，且因子間之交感效應不可忽略。

本研究試區所在彰化、恆春及花蓮三地之氣候條件差異頗大，彰化與花蓮地區的全年氣溫波動相似 (兩地緯度相近)，但花蓮之光強波動幅度較明顯，恆春的全年均溫較前二地為高，但氣溫變動幅度較小，光照時數較高而光強波動較不規律。而研究結果狼尾草 WSC 含量在三個地區呈現不同程度的波動現象，花蓮地區的 WSC 季節律動最明顯，恆春的季節波動最小，恰可對應於三區之氣象變化。

陳等 (2002) 的研究發現盤固草 WSC 含量與多個氣象因子相關，主要為有效積溫、日射量及收穫前日照時數。對應三地狼尾草 WSC 含量變化情形，大致符合三地溫度與光照的季節律動。由花蓮、恆春二地之氣象資料與 WSC 含量之迴歸分析顯示，狼尾草 WSC 含量的變動與有效積溫關係最密切，次為收穫前三日總日射量，有效積溫加上收穫前三日總日射量可決定花蓮、恆春二地 WSC 含量變動的七成至六成。至於恆春、花蓮二地的分析差異應為二地的環境條件不同所致。值得注意的是 WSC 與有效積溫間呈現非線性關係，亦即 WSC 含量隨有效積溫 (或割期) 增長而增加，但割期太長，WSC 含量卻又下降。

除收穫前生長過程中的 WSC 含量累積外，WSC 含量變化在收穫當日亦有顯著的變化。王等 (2002) 及陳等 (2002) 之研究顯示盤固草及狼尾草 WSC 含量均受收穫當日之氣象狀況與日變動影響。而苜蓿、Tall fescue 等溫帶牧草之 WSC 含量亦有明顯的日變化現象 (Lechtenberg *et al.*, 1971; 1972)。除此之外，由於本研究之測值均以乾粉進行，烘箱乾燥植株過程可以造成單糖含量的損失，鮮測之各種糖類比值與乾燥後結果不同 (Kerepesi *et al.*, 1996)，因此烘乾的損失亦可能造成 WSC 含量之變動，增加分析之機差值。

由本試驗結果歸納了解，狼尾草 WSC 含量雖受多種因素影響，主要仍是積溫及光照強度的影響，因此青貯調製前欲掌握較高 WSC 含量應注意收穫時之成熟度，夏秋季時 50 日以上之收穫日數大致均可獲得安全之 WSC 含量，而冬季及初春時應可延後收穫時間至 65 日以上，但過度老化後 WSC 含量反而降低。另外由於 WSC 含量日變化程度大 (王等, 2002a)，收穫之日及收穫之前的日照狀況應予注意，且儘可能於下午時間收穫，可獲得較高的 WSC 含量。

參考文獻

王紓愍、陳嘉昇、成游貴。2000。狼尾草品系水溶性碳水化合物含量與青貯品質之關係。畜產研究

33 : 352~361。

- 王紓愍、陳嘉昇、成游貴。2002a。熱帶牧草水溶性碳水化合物含量的日變化研究。畜產研究 35 : 69~75。
- 王紓愍、陳嘉昇、成游貴。2002b。水溶性碳水化合物含量的變化對狼尾草青貯品質的影響。畜產研究 35 : 143~150。
- 王紓愍、陳嘉昇、成游貴。2003。割期、季節及地區對狼尾草粗蛋白質、中洗纖維及酸洗纖維含量的影響。畜產研究 36 : 357~367。
- 成游貴、黃耀興、陳嘉昇、李美珠。1997。地區性狼尾草品系選拔及飼養模式之研究。畜產研究 30 : 171~181。
- 陳嘉昇、王紓愍、顏素芬、成游貴。2000。盤固草品系水溶性碳水化合物與植體緩衝能力變異性之探討。畜產研究 33 : 252~262。
- 陳嘉昇、王紓愍、顏素芬、成游貴。2002。盤固草水溶性碳水化合物含量變動規律之探討。畜產研究 35 : 39~49。
- 彭炳戊、張定偉、王紓愍、成游貴。2000。小型香腸式青貯法於牧草及啤酒粕之應用。畜產研究 33 : 320~327。
- Burner, D. M., J. A. Balasko and W. V. Thayne. 1983. Genetic and environmental variance of water soluble carbohydrate concentration, yield, and disease in tall fescue. Crop Sci. 23 : 760~763.
- Dwyer, L. M., C. J. Andrews, D. W. Stewart, B. L. Ma and J. A. Dugas. 1995. Carbohydrate levels in field-grown leafy and normal maize genotypes. Crop Sci. 35 : 1020~1027.
- Kerepesi, I., M. Toth and L. Boross. 1996. Water-soluble carbohydrates in dried plant. J. Agric. Food Chem. 44 : 3235~3239.
- Lechtenberg, V. L., D. A. Holt and H. W. Youngberg. 1971. Diurnal variation in nonstructural carbohydrates, *in vitro* digestibility, and leaf to stem ratio of alfalfa. Agron. J. 63 : 719~724.
- Lechtenberg, V. L., D. A. Holt and H. W. Youngberg. 1972. Diurnal variation in nonstructural carbohydrates of *Festuca arundinacea* (Schreb.) with and without N fertilizer. Agron. J. 64 : 302~305.
- McCaig, T. N. and J. M. Clark. 1982. Seasonal changes in nonstructural carbohydrate levels of wheat and oats grown in a semiarid environment. Crop Sci. 22 : 963~970.
- Moore, K. J. and R. D. Hatfield. 1994. Carbohydrates and forage quality. In : Forage quality, evaluation, and utilization. Eds. Fahey, Jr. G. C., M. Collins, D. R. Mertens and L. E. Moser. American Society of Agronomy, Inc. Madison, pp. 200~228.
- Smith, K. F., R. J. Simpson, R. N. Oram, K. F. Lowe, K. B. Kelly, P. M. Evans and M. O. Humphreys. 1998. Seasonal variation in the herbage yield and nutritive value of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) cultivars with high or normal herbage water-soluble carbohydrate concentrations grown in three contrasting Australian dairy environments. Australian J. Exp. Agric. 38 : 821~830.
- Velenec, J. J. 1986. Nonstructural carbohydrates in stem base components of tall fescue during regrowth. Crop Sci. 26 : 122~127.

The changes in water-soluble carbohydrate content in napiergrass and the significant factors ⁽¹⁾

Shu-Min Wang⁽²⁾⁽⁵⁾, Chia-Sheng Chen⁽²⁾, Wen Chen⁽³⁾,
Sue-Fen Yan⁽⁴⁾

Received : Aug. 22, 2003 ; Accepted : Oct. 16, 2003

Abstract

Napiergrass cv. TLG2 was harvested continuously at different cutting intervals for two years in Changhua, Hengchun, and Hualien to investigate the changes in water-soluble carbohydrates (WSC) content and the significant factors. The trends in changes in these three locations were similar, while the range of variation were larger in Hualien than in Hengchun. The high and low climaxes in WSC content in three locations were not consistent, however, they were higher in summer and autumn than in spring and winter. WSC of Napiergrass harvested at the middle cutting interval was higher than grass cut at short or long cutting intervals. The trends in changes in leaves or stems were similar as those in whole plants. The ranges of variation in the stems were higher than those for the leaves. Partitioning the variance components showed that seasonal effects were relatively higher than location and cutting interval effects. The interaction variance components were also high due to the environmental difference among these three experimental trials. Regression analyses were then conducted to reveal the relationships between climatic factors and plant height on WSC contents. In Hualien, the determination coefficient (R^2) for accumulated temperature (growth degree day, GDD) on WSC contents was 0.40 in linear equation. This increased to 0.63 in the quadric polynomial model. This indicated that the GDD was closely related to the WSC change but with a non-linear relationship. In addition, combining two more factors, total radiation for three days before harvest and plant height, into the regression equation with GDD, the R^2 of the regression reached to 0.81. The regression analysis results in Hengchun were similar to those at Hualien but with lower determination coefficients.

Key words : *Pennisetum purpureum*, Water-soluble carbohydrates, Climatic effects, Cutting interval.

-
- (1) Contribution No. 1217 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.
 - (2) Hengchun Branch, COA-LRI, Pingtung 946, Taiwan, R. O. C.
 - (3) Changhua Animal Propagation Station, COA-LRI, Changhua 521, Taiwan, R. O. C.
 - (4) Hualien Animal Propagation Station, COA-LRI, Hualien, Taiwan 973, R. O. C.
 - (5) Corresponding author.

Watter soluble carbohydrates (% DM)

Watter soluble carbohydrates (% DM)

Watter soluble carbohydrates (% DM)

Watter soluble carbohydrates (% DM)

Watter-soluble carbohydrates (% DM)

Watter-soluble carbohydrates (% DM)

Watter-soluble carbohydrates (% DM)