

# 青割玉米非結構性碳水化合物含量變化之研究<sup>(1)</sup>

王紓愍<sup>(2)(3)</sup> 陳嘉昇<sup>(2)</sup>

收件日期：93 年 6 月 7 日；接受日期：93 年 9 月 13 日

## 摘 要

本計畫的主要目的在探討青割玉米非結構性碳水化合物 (non-structural carbohydrates, NSC) 含量之變動，供反芻動物飼糧調配之參考。試驗採用國內主要青割玉米品種台農 3 號、台南 19 號及台南 21 號為材料，分別測定在不同期作與不同成熟度下的水溶性碳水化合物 (Water soluble carbohydrates, WSC) 與澱粉含量變化。春作之結果顯示，青割玉米果穗充實期間 NSC 含量依品種、種植環境及成熟度而異，平均占全株之 15.8%-33.6%。果穗充實前期全株之 NSC 含量以 WSC 占多數，但充實後期則以澱粉為主，種植月份間雖有差異，但規律不明顯。莖葉之 WSC 含量維持於較穩定的狀態，苞穗之 WSC 含量則明顯隨成熟度大幅下降。莖葉之澱粉含量較低，苞穗之澱粉含量於吐絲後 7 天至 14 天間大幅提高，21 天以後提高之幅度縮小。秋作之 WSC 與澱粉變化狀況與春作相似。充實後期，10 月份種植者 WSC 含量高於 8 月，而澱粉及 NSC 含量二者相近。品種間以台南 21 號之 WSC 低於其他二品種，澱粉及 NSC 均以台農 3 號高於台南 19 號高於台南 21 號。然不論品種與環境的差異，試驗結果均顯示青割玉米在乳熟後期的 NSC 含量即達乾重 20% 以上，之後 NSC 繼續隨成熟度遞增，可能高至 30% 以上，因此餵飼利用時應注意與結構性碳水化合物間的平衡問題，以降低反芻動物發生瘤胃過酸症的潛在危險。

關鍵詞：非結構性碳水化合物、水溶性碳水化合物、澱粉、青割玉米。

## 緒 言

青割玉米的消化率高、嗜口性佳，除青飼外可製成青貯料存放，是本地酪農的重要芻料之一。青割玉米是指供做芻料利用的玉米，即當玉米生長至適當的成熟度後全株收穫供青飼或青貯，其與食用及飼料用玉米之主要差異在於品種選擇及栽培管理。目前臺灣已有數個青割玉米品系推廣，包括台農三號、台南 19 號及台南 21 號等，均為單雜交種玉米，各具特性。台農三號對露菌病具高抗病性，對葉斑病、煤紋病、矮化嵌紋病、銹病（普通型）為中抗（何等，1998；曾，1999）。台南 19 號具豐產、抗露菌病、莖腐病、矮化嵌紋病、銹病及玉米螟（曾等，1994）。台南 21 號為中晚熟品

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 1251 號。

(2) 行政院農業委員會畜產試驗所恆春分所。

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

種，不易倒伏，除對開花期之玉米螟不具抗性外，對其它主要的玉米病蟲害均具抗性（曾，1999）。

碳水化合物為泌乳牛飼糧的重要組成，占飼糧乾重之 70-80%，供應高產乳牛 60-70% 之淨能需求。碳水化合物由其來源與特性可分為結構性碳水化合物（細胞壁組成份）與非結構性碳水化合物（non-structural carbohydrates, NSC）兩部分。結構性碳水化合物只有反芻動物能利用，利用程度依飼料種類及成熟度等而異；NSC 主要為可溶性糖（water soluble carbohydrates, WSC）及澱粉，可為一般哺乳動物所消化利用，而反芻動物幾可完全消化利用。反芻動物藉由瘤胃微生物可將各類碳水化合物部分或完全地分解為單醣或寡醣，再將之轉化成揮發性脂肪酸及乳酸，供其他微生物利用或進入動物體成為合成乳糖、乳脂及乳蛋白質之前驅物質。碳水化合物在瘤胃中轉化生成之揮發性脂肪酸與乳酸含量必須維持在一穩定的狀態下，若消化快的非結構性碳水化合物比例過高常易造成瘤胃環境酸化，使不耐酸之微生物死亡，微生物相改變後瘤胃環境更加酸化，可能進一步造成牛隻食慾下降、瘤胃過酸或蹄葉炎之產生（Nocek, 1997）。研究顯示飼糧中碳水化合物組成與含量調配不當明顯影響乳牛健康及牛奶質量（Nocek and Russell, 1988; Herrera-Saldana *et al.*, 1990）。而台灣地區地處亞熱帶，氣候濕熱，乳牛在夏季時極易產生熱緊迫，造成粗料採食量下降（李等，1999），當飼料管理不當時，精料採食比例過高，或非結構性碳水化合物攝食過量，則易發生急性或亞急性瘤胃過酸症，造成牛隻損失或提早淘汰。

非結構性碳水化合物為植物體之能量供源，其含量及分佈受環境（光照強度、光照時間、土壤水份含量等）及植體生理的影響極大（Moore and Hatfield, 1994）。青割玉米之營養成分、澱粉及 WSC 含量隨成熟度、品種、栽培季節及栽培密度而異（王等，1995；許等，1987）。陳等（2000）之試驗顯示盤固草之 WSC 含量具明顯之季節及日變化。由於青割玉米收穫時包含苞穗，其 NSC 含量相對高於一般牧草，因此在飼糧調配時應注意精粗料比及日糧中 NSC 含量與結構性碳水化合物含量間之平衡。為提供酪農日糧調整及飼料管理的參考，本研究探討國內主要青割玉米品種 NSC 含量之變動，以提高青割玉米的利用效率並降低瘤胃過酸症之發生。

## 材料與方法

### I. 材料：

青割玉米台南 19 號、台南 21 號及台農 3 號，分別由台南區農業改良場朴子分場及農業試驗所提供。

### II. 栽培及收穫：

種植於畜試所恆春分所試驗田區，小區面積  $4\text{ m} \times 3\text{ m}$ ，行株距  $80 \times 15\text{ cm}$ ，三區集，以台肥二號（ $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O} = 11:9:18$ , 600 kg/ha）為基肥，中耕培土再追施尿素 100 kg/ha，分別於春秋二季種植（2、3、4 月及 8、10 月各種一次）。記錄各處理之開花吐絲日期，春作試驗分別於吐絲後 7 天、14 天、21 天及 28 天各收穫一行，進行性狀調查及取樣烘乾。秋作試驗各單株分別掛牌紀錄吐絲期，吐絲後第 12 日起至第 48 日止，每隔四日收穫六株以上單株。

### III. 取樣分析：

青刈樣品收穫後立即取樣，樣品經  $80^\circ\text{C}$  烘乾並磨粉，保存於  $4^\circ\text{C}$  冷藏庫。分別測定各樣品之乾物率、水溶性碳水化合物含量及澱粉含量。

## IV. 水溶性碳水化合物及澱粉含量測定：

WSC 的測定：以 80% 的酒精於 80℃ 下萃取三次，合併萃取液並定量，依 Morris (1948) 方法採 anthron 呈色法進行。每一樣品重複二次。澱粉的測定：先以 80% 的酒精於 80℃ 下萃取除去 WSC，棄去萃取液，樣品烘乾後加入過氯酸加熱水解，定量後同樣以 anthron 呈色法測定含量。

## 結果與討論

## I. 春作

全株方面，總計青割玉米果穗充實期間 NSC 含量占全株之 15.8%-33.6%，依品種、種植環境及成熟度而異。四次收穫時期之果穗充實情形約為乳熟前期－乳熟期（吐絲後 7 天）、乳熟－糊熟期（吐絲後 14 天）、糊熟－黃熟期（吐絲後 21 天）及黃熟－完熟期（吐絲後 28 天）。果穗充實前期全株之 NSC 以 WSC 占多數，但充實後期則以澱粉為主。經變方分析結果，WSC 在種植月份、成熟期均達 1% 顯著差異水準，品種達 5% 顯著差異水準；澱粉之品種效應不顯著，月份、成熟期均達 1% 顯著差異水準（表 1）。合併品種之結果詳如（表 2），WSC 隨成熟度而降低，種植月份間雖有差異，但規律不明顯；澱粉含量隨成熟度提高，種植月份間亦無明顯規律。

將莖葉及苞穗分開分析之結果，莖葉之 WSC 在種植月份間無差異，成熟度間雖有顯著差異，但相對於全株，其 WSC 維持於較穩定的狀態，約在 13%-17% 之間，並不隨成熟度而有方向性之變動。苞穗之 WSC 則明顯隨成熟度大幅下降（表 2）。澱粉方面，莖葉之澱粉含量較低，在成熟度間雖

表 1. 春作青割玉米水溶性碳水化合物及澱粉含量之變方分析表

Table 1. Variance analysis for water-soluble carbohydrates (WSC) and starch of forage corn planting in spring

Source of variance	Df	Mean square (Whole plant)		Mean square (Leaf and stem)		Mean square (Ear)	
		WSC	Starch	WSC	Starch	WSC	Starch
Month	2	69.6**	38.8**	2.1	38.5**	30.6**	110.1**
Block(M)	6	1.1	6.0	21.1**	0.1	2.6	13.5
Cut(C)	3	63.3**	524.7**	99.2**	4.9**	628.7**	2478.1**
M×C	6	17.9**	37.0**	58.9**	5.5**	13.9**	25.2
B×C(M)	18	3.9*	4.9	5.5	0.2	4.7	6.7
Var	2	14.4*	9.9	85.6**	0.9*	3.6	108.5**
M×V	4	8.2**	18.9*	5.6	0.5	13.5**	53.3**
M×C	6	2.0	3.3	1.6	1.2**	2.1	49.2**
M×V×C	12	3.6	10.6	2.9	0.1	7.3*	25.1*
Error	48	1.9	5.3	3.1	0.2	3.1	12.2

\*\* Significant at 1% level.

\* Significant at 5% level.

有變動，但幅度小；種植月份間以四月種植者顯著低於二、三月種植者。苞穗之澱粉含量在吐絲後 7 天至 14 天間大幅增加，21 天以後增加之幅度縮小；月份間有差異，但規律不明顯。

參試品種間之全株澱粉含量無差異，三品種之澱粉充實情形相似，均以果穗充實前期的累積較快，然隨成熟度增加澱粉含量仍持續緩慢累積，WSC 則台南 21 號低於其他兩品種。

表 2. 於春作三個不同月份種植之青割玉米不同成熟期水溶性碳水化合物及澱粉含量

Table 2. The contents of water-soluble carbohydrates (WSC) and starch in forage corn at different maturity stages planting in spring

Plant tissue	Days after silking	WSC			Starch		
		February	March	April	February	March	April
	Days	Mean $\pm$ SD					
Whole plant	7	17.0 $\pm$ 1.9	12.5 $\pm$ 1.8	11.7 $\pm$ 1.4	6.7 $\pm$ 0.9	8.1 $\pm$ 1.4	5.3 $\pm$ 0.8
	14	15.6 $\pm$ 2.0	13.9 $\pm$ 1.7	12.5 $\pm$ 1.1	10.6 $\pm$ 1.7	11.1 $\pm$ 1.9	9.0 $\pm$ 1.4
	21	14.4 $\pm$ 2.3	11.2 $\pm$ 1.7	13.9 $\pm$ 1.5	15.7 $\pm$ 2.9	16.3 $\pm$ 0.7	14.0 $\pm$ 3.0
	28	10.9 $\pm$ 2.0	10.5 $\pm$ 1.0	10.5 $\pm$ 2.0	19.5 $\pm$ 5.5	12.6 $\pm$ 2.4	16.0 $\pm$ 3.4
Leaf and stem	7	13.9 $\pm$ 2.0	13.8 $\pm$ 1.8	7.1 $\pm$ 1.0	5.1 $\pm$ 0.2	4.7 $\pm$ 0.5	3.9 $\pm$ 0.6
	14	14.9 $\pm$ 2.4	14.2 $\pm$ 1.7	14.2 $\pm$ 2.1	4.4 $\pm$ 0.4	5.8 $\pm$ 0.6	3.5 $\pm$ 0.3
	21	14.7 $\pm$ 3.7	13.3 $\pm$ 1.9	16.9 $\pm$ 1.9	6.2 $\pm$ 0.4	6.7 $\pm$ 0.6	3.2 $\pm$ 0.3
	28	13.9 $\pm$ 3.5	15.8 $\pm$ 1.7	17.4 $\pm$ 4.3	5.3 $\pm$ 0.8	4.3 $\pm$ 0.6	3.6 $\pm$ 0.6
Ear	7	21.8 $\pm$ 2.5	19.3 $\pm$ 1.2	17.8 $\pm$ 2.4	11.0 $\pm$ 1.4	17.2 $\pm$ 2.4	11.3 $\pm$ 2.0
	14	15.3 $\pm$ 3.1	13.9 $\pm$ 1.7	14.9 $\pm$ 1.4	24.8 $\pm$ 5.2	29.9 $\pm$ 2.3	26.0 $\pm$ 4.4
	21	11.6 $\pm$ 1.9	11.9 $\pm$ 2.3	12.7 $\pm$ 1.8	31.6 $\pm$ 4.9	32.0 $\pm$ 2.0	32.7 $\pm$ 5.3
	28	10.1 $\pm$ 1.8	7.6 $\pm$ 2.1	6.7 $\pm$ 2.0	33.3 $\pm$ 9.3	35.5 $\pm$ 1.8	35.1 $\pm$ 4.2

## II. 秋作

由於成熟度對 NSC 含量的影響最大，為更精確了解成熟度與 NSC 含量的關係，秋作試驗採各單株分別掛牌紀錄吐絲期，每隔四日收穫六株以上單株進行調查。

隨成熟度增加，WSC 總平均由吐絲後 12 天之 14.8%、16 天之 16.5% 下降至 48 天之 4.0%，澱粉由 12 天之 7.2% 提高至 48 天之 27.9%，NSC 由 12 天之 20.0% 提高至 40 天之 34.6%，而後略降至 32% 左右。秋作整體的 NSC 含量平均變化趨勢與春作相似，但二期秋作間仍稍有不同，變動詳見圖 1 及圖 2。8 月種植之 WSC 隨成熟度降低的幅度大，10 月種植之 WSC 變動較小，10 月份種植之平均 WSC 含量高於 8 月種植者，澱粉及 NSC 含量二者相近。品種間以台南 21 號之 WSC 低於其他二品種，澱粉及 NSC 均以台農 3 號高於台南 19 號與台南 21 號。

由圖 1 及圖 2 所示，同一品種在不同種植月份下，其澱粉累積或 WSC 降低之速度不一致，蓋兩種種植期之溫度、日照及雨量等均有別，造成澱粉累積或 WSC 轉化速度不一。

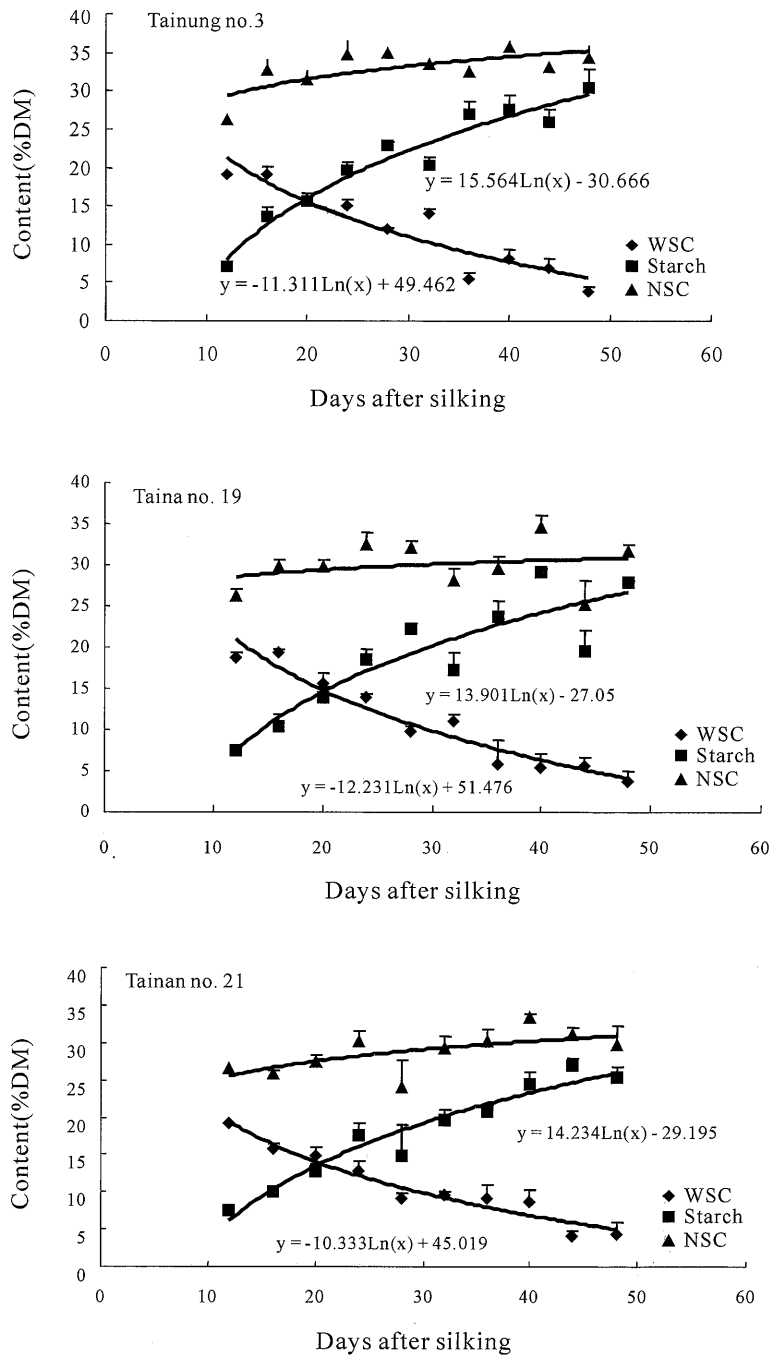


圖 1. 8月種植青割玉米水溶性碳水化合物、澱粉及非結構碳水化合物含量變化。

Fig. 1. The changes of contents of water-soluble carbohydrates (WSC), starch and non-structural carbohydrates (NSC) in forage corn planted in August.

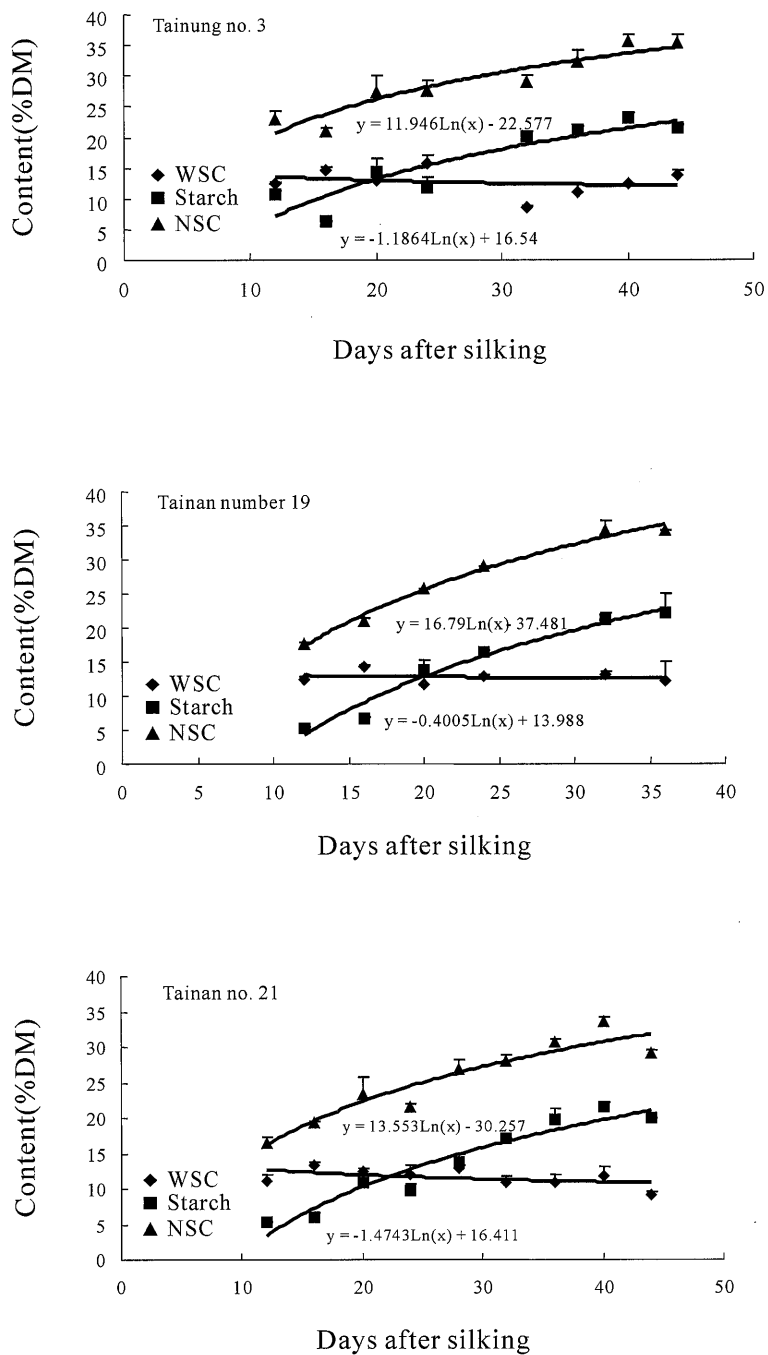


圖 2. 10月種植青割玉米水溶性碳水化合物、澱粉及非結構碳水化合物含量變化。

Fig. 2. The changes of contents of water-soluble carbohydrates (WSC), starch and non-structural carbohydrates (NSC) in forage corn planted in October.

醣類、有機酸、澱粉及其他貯藏性醣類如 fructans 等構成植體中的 NSC，不同的植物種類組成不一 (Moore and Hatfield, 1994)，是反芻動物的重要能量來源。對於芻料非結構性碳水化合物含量的估算有多種方法，有一部分的研究人員以動物利用的觀點，還將果膠等部分計入，或稱非纖維碳水化合物 (non-fibrous carbohydrates, NFC)，除豆科差距較大外，一般 NFC 估值約較 NSC 測值多出 3-7% (Hall, 1999; NRC, 2001)。而本研究以 WSC 與澱粉合計為青割玉米之 NSC。

水溶性碳水化合物及貯藏性碳水化合物均為光合作用的直接或間接產物，而光合作用的影響因子眾多且因子間交互影響複雜，因此其不同植物與環境下的表現差異大 (Douglas *et al.*, 2001; Heather and Lauer, 2002)。本研究結果亦然，青割玉米的 WSC 及澱粉含量在不同品種、季節及種植月份下呈現明顯的差異，但參試品種間差異較小且變化的趨勢一致，均隨成熟度增加而 WSC 遞減、澱粉遞增。大致而言，溫度、光照及植物特性是主要的影響因子 (王等, 2003；陳等, 2000；陳等, 2002；Matthew and Foyer, 2001; Martha *et al.*, 2003)。

由於青割玉米含有高量的 NSC 可以提供泌乳牛之淨能需求，一直是泌乳牛飼糧的重要組成。以動物營養的觀點目前對於碳水化合物雖然沒有一定的標準，但乳牛飼糧推薦之最大 NFC 含量介於 36%-44% 間，同時最低之中纖維含量介於 33%-25% 間 (NRC, 2001)。本研究的結果顯示不論品種與環境的差異，適當收穫期之國產青割玉米已含有約 30% 之 NSC，因此酪農進行飼糧調配時應注意平衡結構性碳水化合物與非結性碳水化合物含量間的適當比例，以減少因 NSC 攝食過量可能造成反芻動動不適或提早淘汰。

由於青割玉米草農在收穫時程上的安排，不易使每批玉米均於最適收穫，前後 15 天的不同成熟度可能會影響 NSC 變化達 10% 以上 (圖 2)。同時收穫後堆積、青貯過程的 WSC 消耗與青貯料開封後管理，都造成 NSC 在以青割玉米為主的飼養上處於不穩定的狀態，因此 WSC 與澱粉的測定 (特別是快速測定)，應有助於酪農對青割玉米的有效利用與更精準調配日糧。

## 參考文獻

- 王永琴、李免蓮、陳文。1995。栽培密度及氮肥用量對青割玉米生長性狀、產草量及化學組成之影響。畜產研究 28：125~132。
- 何千里、謝光照、盧煌勝。1998。青割玉米單雜交種台農 3 號之育成。中華農業研究 47：189~203。
- 李善男、劉振發、許義明、楊德威、陳得財、古兆和、梁宗寶。1999。熱季應用噴水及吸風循環涼爽法對乳牛生理與繁殖之效應。畜產研究 32：137~146。
- 許福星、洪國源、李國貞、徐阿里。1987。青割玉米不同成熟期青割產量及營養成分變化。中華農學會報 (新) 139：44~55。
- 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。
- 曾清田。1999。青割玉米新品種「台南 21 號」。台南區農業專訊 29：2~4。
- 曾清田、李文輝、陳振耕。1994。青割玉米新品種「台南 19 號」。台南區農業專訊 9：2~4。
- Hall, M. B. 1999. Management strategies against ruminal acidosis. 10th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium. pp. 104~113.

- Herrera-Saldana, R. E., J. T. Huber and M. H. Poore. 1990. Dry matter, crude protein, and starch degradability of five cereal grains. *J. Dairy Sci.* 73 : 2386~2393.
- Martha, G. J., K. Denyer and A. M. Myers. 2003. Starch synthesis in the cereal endosperm. *Current Opinion in Plant Biology* 6 : 215~222.
- Mattew, J. P. and C. H. Foyer. 2001. Sink regulation of photosynthesis. *J. Exp. Botany* 52 : 1383~1400.
- 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 I. E. Moser. American Society of Agronomy, Inc. Madison, pp. 229~280.
- Morris, D. L. 1948. Quantitative determination of carbohydrates with dry-wood's anthrone reagent. *Science* 107 : 254~255.
- National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, D. C. USA.
- Nocek, J. E. and J. B. Russell. 1988. Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. *J. Dairy Sci.* 71 : 2070~2107.
- Nocek, J. E. 1997. Bovine acidosis : Implications on laminitis. *J. Dairy Sci.* 80 : 1005~1028.



# The change of non-structural carbohydrates in forage corn<sup>(1)</sup>

Shu-Min Wang<sup>(2)(3)</sup> and Chia-Sheng Chen<sup>(2)</sup>

Received : June 7, 2004 ; Accepted : Sep. 13, 2004

## Abstract

The objectives of this study were to investigate the variation of non-structural carbohydrates (NSC) in forage corn. Three major varieties, Tainung No. 3, Tainan No.19 and Tainan No.21 were planted in spring and autumn and the water-soluble carbohydrate (WSC) and starch contents were analyzed in different maturity. The results in spring crop showed that the NSC had a wide range of 15.8% to 33.6% of the total dry matter during the ear-filling stages according to different varieties, environments, and degrees of maturity. WSC was the major component of NSC in early ear-filling stage. WSC in stems and leaves were rather constant as compared with those in ears, which decreased significantly in late ear-filling stage. Starch contents in stem and leaves were low and quite constant, while those in ears increased dramatically during ear-filling stage. The changing patterns of NSC in fall-crop were similar to those in spring-crop. In late ear-filling stage, forage corn planted in October had higher WSC contents than those planted in August, while the contents of starch and NSC were similar. Among the three entries, Tainan No.21 had the lowest contents of WSC, starch and NSC. No matter the variation in varieties and environments, the NSC content in forage corn was above 20% in later milk stage and increased as ear became matured. Therefore, it is necessary to pay attention to the balance of structural carbohydrates and non structural carbohydrates in the diet to prevent acidosis when feeding ruminants with forage corn.

Key words : Non-structural carbohydrates, Water-soluble carbohydrates, Starch, Forage corn.

---

(1) Contribution No.1251 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

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

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