

# 成熟度、接種及材料加工對高水分玉米青貯發酵的影響<sup>(1)</sup>

王紓愍<sup>(2)(3)</sup> 游翠凰<sup>(2)</sup> 劉信宏<sup>(2)</sup> 陳嘉昇<sup>(2)</sup>

收件日期：100 年 11 月 29 日；接受日期：101 年 2 月 4 日

## 摘要

玉米粒青貯的水分含量較低，其發酵速度與程度均低於全株玉米青貯，若無適當發酵條件的配合易造成損失或失敗，需要有成熟的青貯調製技術，才能獲得良好的保存與利用。影響青貯的因素極多。本研究的主要目的為了解成熟度、接種及材料加工對高水分玉米青貯發酵的影響，以做為產業化的基礎。試驗 I 以吐絲後 60 天、67 天及 74 天三種不同成熟度的材料進行接種與不接種的比較。結果顯示高水分玉米發酵程度與收穫成熟度成反比，與青貯時間成正比，接種處理的發酵情形優於對照，且接種自行分離菌株的整體效果優於商業菌株，特別是在發酵初期的促進效果上。試驗 II 以相同成熟度的材料比較不同材料處理程序及接種對高水分玉米青貯發酵的影響。結果顯示高水分玉米的發酵反應與材料之含水率相對應，加水碾壓籽實與整穗玉米細切二種含水率高的材料在初期（2 週）的 pH 值下降最快，乳酸含量也較高，但發酵至 8 週時，加水碾壓籽實的乳酸含量反而降低。接種較對照有促進乳酸生成及降低乙酸/乳酸比的效果。高水分玉米的發酵依材料及青貯條件的不同可以產生極大的差異，試驗 I 的乳酸含量介於 0.3 g/kg - 9.1 g/kg (dry base)，而試驗 II 的含量介於 5.2 g/kg - 18.6 g/kg (dry base) 間；縮短收穫至青貯作業時間有利於青貯保存；接種有促進高水分玉米乳酸發酵效果。

關鍵詞：高水分玉米、青貯發酵、接種。

## 緒言

玉米是原產熱帶美洲的 C4 型植物，由於生長適應性佳，在 15、16 世紀傳播到世界各地，由於玉米的適應性廣、生長快、且品種多樣，可以供食用、飼用、加工以及生質能源利用等多種用途，目前已成為全球重要的穀類作物。我國每年進口約 500 萬公噸的玉米，主要供飼用及飼料加工利用。近年因全球暖化與氣候變遷議題日益受重視，加上石油短缺的必然趨勢，造成國際間原物料與農產品價格

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 1751 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。

波動，也因此促使糧食自給問題的重視與討論。

「活化休耕地措施」是自三十年前鼓勵休耕與轉作以來最大的農業生產政策的改變。「活化休耕地措施」獎勵無產銷失虞之虞的作物生產，飼料玉米的補貼雖高於青割玉米，但農民對生產飼料玉米意願低落，而青割玉米面積卻大幅擴增，其原因在於飼料玉米（須人工乾燥）生產成本較高，且受進口玉米的價格壓制，相對於青割玉米其生產期長、風險高而利潤有限。在此情況下，折衷兩者的高水分玉米生產模式值得探討。

高水分玉米是指飼料玉米在田間成熟後，不經過乾燥的程序，收穫後直接以青貯的方式保存其營養。高水分玉米生產的優點為：提前收穫、降低風險、不須人工乾燥、簡化流程，生產成本較低且符合節能減碳，並有證據支持其飼養上的優勢（Engelke *et al.*, 1984; Hoffman *et al.*, 2011; Stock *et al.*, 1987）；缺點是不能做為其他工業用途，及需要優良的保存技術及設施。在國內目前狀況下，高水分玉米生產較青割玉米有更高的利潤空間，而且可以超越草食動物利用的範疇，調節青割玉米過剩的壓力。

然而高水分玉米對台灣而言是一個新的生產與利用模式，尚需多項條件的配合，其中最關鍵的是必須有成熟的青貯調製技術，才能獲得良好的保存與利用。影響青貯的因素極多，玉米粒青貯的水分含量較低，其發酵速度與程度均低於全株玉米青貯，若無適當發酵條件的配合易造成損失或失敗。本研究擬先探討不同材料的發酵模式與接種處理的影響，以做為產業化的基礎。

## 材料與方法

### I. 試驗材料

玉米品種為台南 20 號。試驗 I 之玉米來自台南縣玉米田區，含三種成熟度，收穫時間分別為吐絲後 60 天、67 天及 74 天（98 年 3 月 4 日、3 月 10 日、3 月 17 日）。試驗 II 之材料種植於畜試所恆春分所試驗區，收穫成熟度為吐絲後 58 天（99 年 5 月 10 日）。二批試驗收穫時果穗均為已充實達完熟階段，人工採收，機械脫粒。

### II. 試驗方法

#### (i) 青貯試驗

試驗 1：材料來自台南縣，玉米穗於田間採收後運送到恆春分所進行脫粒及後續試驗，試驗進行日期為採收後一日，運送為冷藏運輸。玉米穗脫粒後，將籽粒混合均勻，分別進行下列處理：對照，無接種；Eco，接種商用乳酸菌 *Lactobacillus plantarum* ( $1 \times 10^6$  CFU/g, Ecosyl 公司提供)；及分別接種恆春分所自行分離之乳酸菌菌株 St12 (*L. plantarum* subsp. *plantarum*)、C51 (*L. casei*) 與 E11 (*L. rhamnosus*)，接種量均為  $1 \times 10^6$  CFU/g。每一處理 500 g，以塑膠袋真空密封，貯存於室溫下，於青貯後 2 週、4 週、8 週及 12 週開封，每次開封 2 重複，測定青貯發酵情形。

試驗 2：材料來源為恆春分所試驗區（99 年春作種植），將收穫的玉米分為四種加工類型材料：EC：細切玉米果穗（整穗細切 2-5 公分，內含苞葉、穗軸及籽實）；SC：玉米脫粒籽實（僅含完整籽實）；SCR：脫粒碾壓籽實（經碾壓破粒之籽實）；SCRW：碾壓破粒籽實加水混合（50 ml/kg）。材料備妥後，進行實驗規模青貯，方法如前，每一種材料均進行二種處理：對照，無接種；接種：接種恆春分所自行分離的乳酸菌（St12、C51 與 E11 三菌株等量混合， $1 \times 10^6$  CFU/g）。青貯料置室溫下保存，經 2 週、4 週及 8 週開封，每次開封二重複，測定青貯品質。

#### (ii) 營養成分測定

青貯前進行取樣。樣品以 80℃ 烘 48 小時，測定乾物量。烘乾磨粉後置 4℃ 冰箱保存以供成分測定。水溶性碳水化合物測定 (water soluble carbohydrate, WSC)：植體乾粉經 80% 酒精萃取三次，合併萃取液並除去酒精後定量，依 anthrone 呈色法測定 (Morris, 1948)。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，定量後同樣以蒽酮 (anthrone) 呈色法測定含量。粗蛋白質 (crude protein, CP) 含量以 Kjeldahl 法測定 (AOAC, 1984)；酸洗纖維 (acid-detergent fiber, ADF) 及中洗纖維 (neutral-detergent fiber, NDF) 的測定以 ANKOM200 纖維分析儀進行 (Komarek *et al.*, 1996; Vogel *et al.*, 1999)，NDF 分析採添加  $\alpha$ -amylase 方法 (van Soest *et al.*, 1991)。

(iii) 青貯品質分析

pH 酸鹼值為 20 克新鮮青貯料加蒸餾水 180 ml，打碎過濾後以酸鹼度計測定之值。乳酸、丁酸、丙酸及乙酸之測定以氣體層析儀依 Jones and Kay (1976) 的方法進行，將前述青貯萃取液經過陽離子管柱，洗出液以 0.05 N tetrabutyl ammonium hydroxide (TBAH) 滴定至 pH 為 8，70℃ 下烘乾，加入定量丙酮溶解並依 TBAH 滴定量加入適量 benzyl bromide 與揮發性脂肪酸反應，樣品製備完成，再以氣相層析儀分析含量。依青貯料中乳酸、丁酸及乙酸占測定乙酸、丙酸、丁酸與乳酸四者總量之當量百分比進行評分，再將三項總加所得即為青貯品質評分 (Fleig's score)，評分 40 以下表示青貯失敗、40–60 分為可接受、60–80 分為好的青貯、80 分以上為發酵優良的青貯。因本試驗系統密閉，沒有滲漏，因此以青貯後之乾物率除以青貯前之乾物率計算乾物回收率。

## 結果與討論

### I. 試驗之高水分玉米材料特性

材料特性 (如表 1)，試驗 I 材料共含三種成熟度，每一成熟度間相差 7 天，吐絲後 60 天的乾物量為 57.9%、吐絲後 67 天為 64.1%、吐絲後 74 天為 64.7%，材料之乾物含量隨成熟度遞增，吐絲後 74 天的乾物量增加有限，可能為採收前下雨之故。營養組成以吐絲後 67 天之蛋白質含量略低，中洗纖維略高，其他營養組成的變動不大。試驗 II 材料之成熟度相同，但經不同的加工處理，其中以整穗玉米 (EC) 的乾物含量 62.3% 最低，應為材料中之苞葉及穗軸含水量較高之故 (Mader and Erickson, 2006)，脫粒籽實的 (SC) 乾物含量為 64.5%。碾壓玉米籽粒 (SCR) 之水分含量略低於未碾壓的籽粒 (SC)，則可能為碾壓過程的水分散失之故。加水碾壓籽實 (SCRW) 的處理過程與 SCR 相同，但在青貯前先加水混合提高材料之含水率，調整之含水率與整穗玉米相近。營養組成除整穗玉米的纖維含量略高，粗蛋白及澱粉含量較略低外，各種材料處理間的變化不大。

### II. 成熟度與接種對高水分玉米調製的影響 (試驗 1)

高水分玉米置於厭氣環境下貯存，其 pH 值隨貯存時間降低，降低情形依成熟度及接種處理有明顯差異 (圖 1)。在無接種的情形下，吐絲後 60 天、67 天及 74 天之玉米經 2 週發酵，其 pH 值分別為 5.8、6.0 及 6.7；4 週時，吐絲後 60 天玉米之 pH 值大幅降低至 4.6，吐絲後 67 天及 74 天玉米則僅降至 5.8 及 6.2；12 週時，三種成熟度之 pH 值分別降至 4.3、5.0 及 4.9，顯示高水分玉米的發酵速度與發酵程度隨成熟度增加而降低，推測水分含量差異為主要影響因素。不論是利用商業菌種或自行分離的菌株，各接種處理之 pH 值均較對照為低，顯示接種具有加速高水分玉米發酵的效果。三種成熟度的試驗結果均顯示，自行分離菌株 S12、C51 及 E11 在降低 pH 值的表現上優於商用菌株，發酵 2 週，自行分離菌株的 pH 值降低幅度即明顯較商用菌株為大；12 週時，自行分離菌株在各種成熟度的 pH 值均低於 4.5，而 Eco 只有在吐絲後 67 天組降低到 4.5 以下。

表 1. 參試之高水分玉米材料特性

Table 1. The properties of high moisture corns used in experiment I and II

Experiment	Maturity	Material treatment*	DM	CP	NDF	ADF	WSC	Starch
	Days after silking (harvest date)		%					
					-----% (dry basis)-----			
I	60 (98/3/4)	SC	57.9 ± 0.3	11.6 ± 0.2	17.2 ± 0.1	4.4 ± 0.07	4.5 ± 0.06	64.4 ± 0.5
	67 (98/3/10)	SC	64.1 ± 0.5	8.8 ± 0.3	20.3 ± 0.2	4.1 ± 0.07	4.3 ± 0.08	64.7 ± 0.6
	74 (98/3/17)	SC	64.7 ± 0.4	10.2 ± 0.2	18.5 ± 0.2	4.0 ± 0.08	4.6 ± 0.05	64.4 ± 0.6
II		EC	62.3 ± 0.4	8.9 ± 0.3	24.8 ± 0.3	9.5 ± 0.07	4.6 ± 0.06	60.4 ± 0.3
	58 (99/5/10)	SC	64.5 ± 0.5	9.6 ± 0.2	19.1 ± 0.1	6.3 ± 0.18	4.7 ± 0.08	63.5 ± 0.4
		SCR	65.8 ± 0.6	10.3 ± 0.3	18.5 ± 0.2	4.5 ± 0.11	4.5 ± 0.07	64.7 ± 0.6
		SCRW	62.7 ± 0.3	10.3 ± 0.4	18.6 ± 0.1	4.6 ± 0.09	4.5 ± 0.06	64.6 ± 0.5

\*SC: shelled corn, EC: ear corn, SCR: rolled shelled corn, SCRW: rolled shelled corn added water (50 ml/kg fresh material)

圖 2 為高水分玉米不接種（對照）與接種菌株 St12 的發酵產酸情形。高水分玉米之青貯產酸以乙酸及乳酸為主，丙酸未檢出，而丁酸僅部分處理檢出且含量極低。高水分玉米的發酵產酸量隨成熟度遞減，隨貯存時間遞增，接種處理之發酵顯著高於對照組。貯存 2 週時，接種處理與對照在乙酸含量上的差異不大，但乳酸含量顯著提高；貯存 8 週時，吐絲後 67 天及 74 天接種處理組之乳酸含量均顯著高於對照，而吐絲後 60 天之接種處理組僅略高於對照，可能與其水分含量較高，自然發生的乳酸發酵程度高有關。（表 2）為成熟度、接種及貯存時間對試驗 I 高水分玉米發酵的平均效應，結果同樣顯示愈晚收穫，pH 值愈高、發酵程度愈低、乙酸/乳酸比升高；乳酸發酵程度隨貯存時間延長而提高，貯存 8 週的 pH 值顯著低於貯存 2 週，且乳酸含量提高、乙酸/乳酸比降低；St12 接種處理有助於提高乳酸發酵、降低乙酸/乳酸比。

### III. 材料處理與接種對高水分玉米調製的影響（試驗 2）

試驗 II 的主要目的在了解不同的收穫加工程序對高水分玉米調製的影響，並進一步確認自行分離乳酸菌株的效用。圖 3 為試驗 II 之 pH 及發酵產酸情形。貯存 2 週時，所有處理之 pH 值均已降至 4.5 以下，顯示試驗 II 各處理的初期發酵極快；接種處理之 pH 值與對照間差異不顯著但均低於對照，而乳酸含量均高於對照，顯示接種處理仍有提高乳酸發酵的作用。不同材料處理方面，四類高水分玉米的發酵反應與其含水率相對應，加水碾壓籽實（SCRW）的含水率最高，pH 值下降最快，乙酸與乳酸的含量最高，次為整穗玉米（EC），而脫粒籽實（SC）的反應最慢。貯存至 8 週，所有處理的 pH 值均較 2 週時降低，接種處理者均較對照為低，而發酵產酸在各處理間變化不一。貯存 8 週時，整穗玉米（EC）、脫粒籽實（SC）及碾壓脫粒籽實（SCR）之乳酸含量較 2 週增加，而乙酸含量減少，加水碾壓籽實（SCRW）則是乳酸及乙酸含量均較 2 週時低。試驗 II 各主效應結果顯示，含水率高的高水分玉米發酵產酸量較高，接種處理之乳酸量增高，乙酸/乳酸比降低（表 3）。

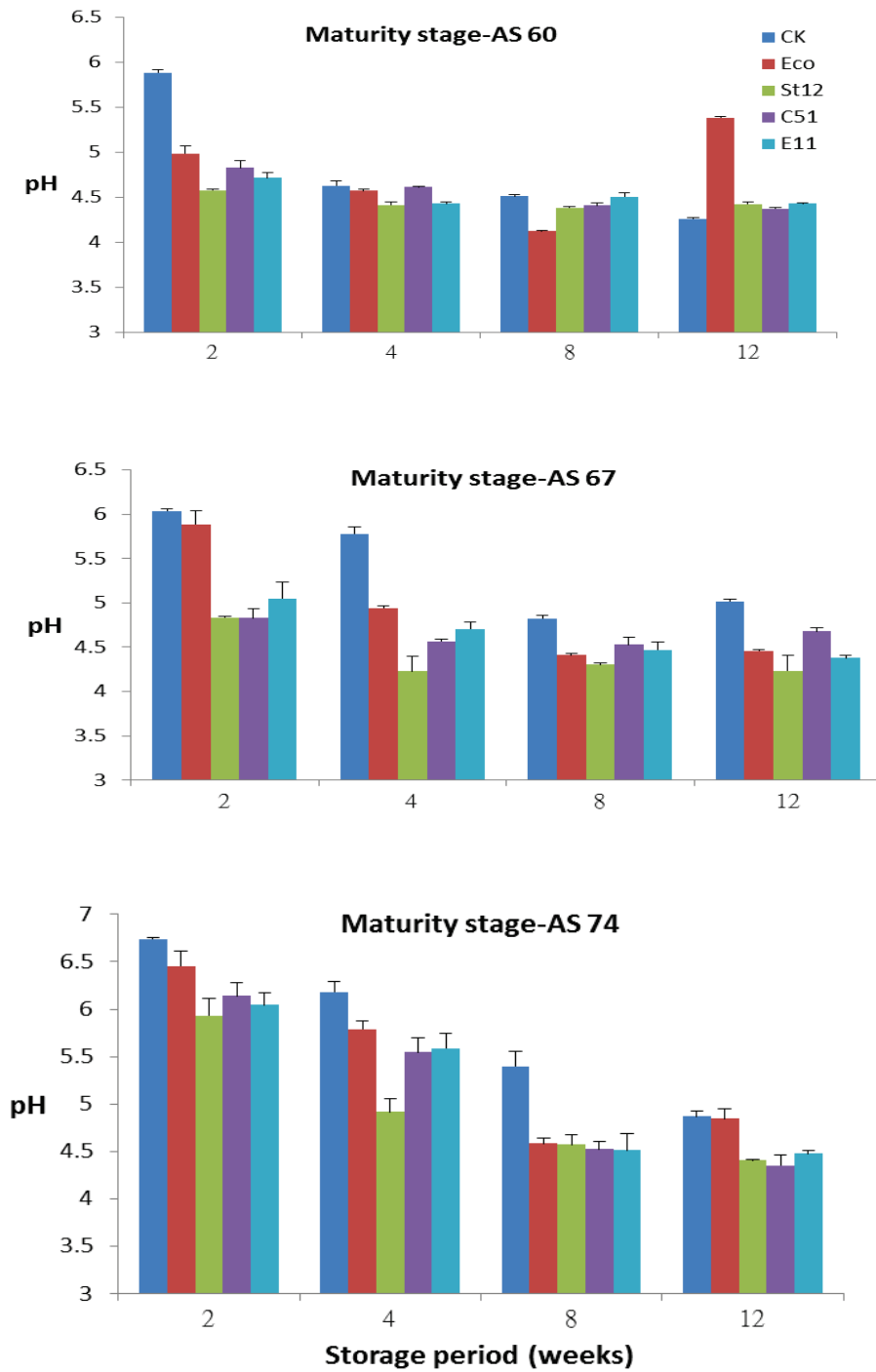


圖 1. 不同成熟度與乳酸菌接種下高水分米調製的 pH 值。

Fig. 1. The pH value of high moisture corn of different maturity and inoculation.

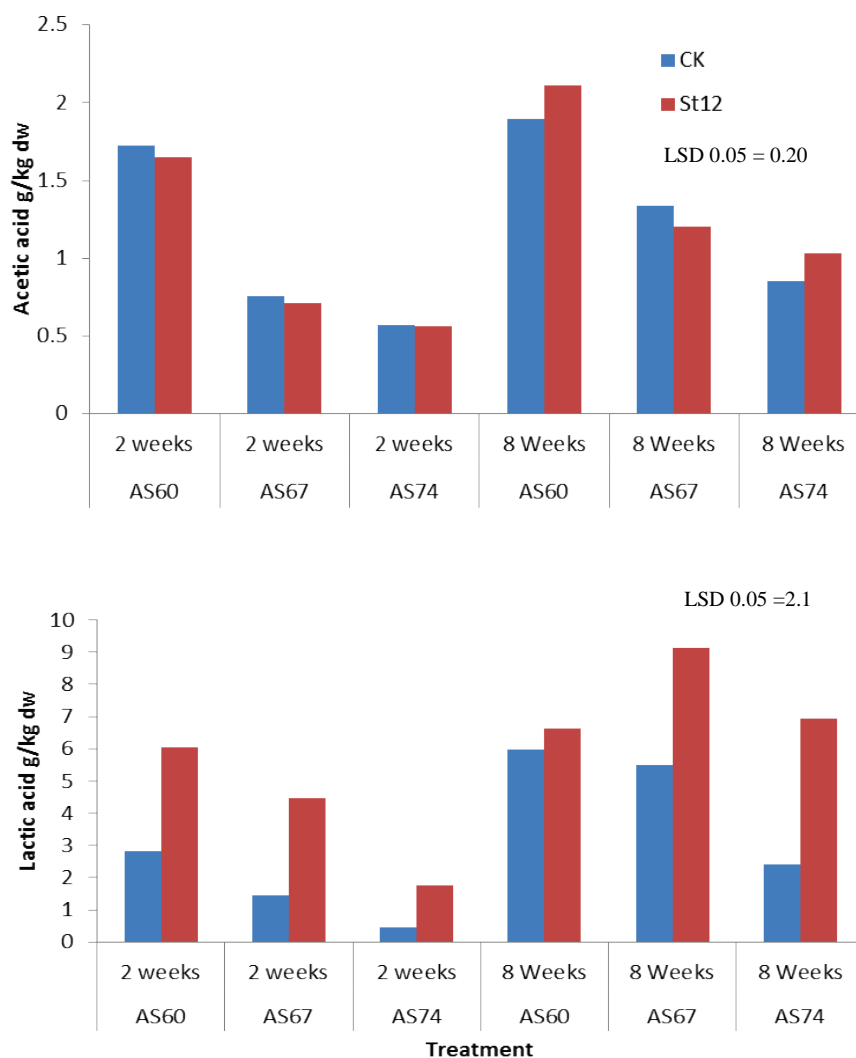


圖 2. 成熟度、接種及貯存時間對高水分玉米發酵產酸的影響。

Fig. 2. The effects of maturity, inoculation and storage period on fermentation of high moisture corn. AS 60: 60 days after silking, AS 67: 67 days after silking, AS 74: 74 days after silking.

#### IV. 討論

近年由於暖化造成氣候變遷、節能減碳與糧食自給等議題在全球備受關注，而農業可以是串連此三議題的重要關鍵。台灣每年需進口高達 500 萬公噸的玉米供畜牧飼養之用，造成糧食自給率偏低，但是因為缺乏價格優勢，同時也有近 20 萬公頃的休耕農地未能適當利用，種植飼料玉米是現行政府鼓勵的方向之一，但因為乾燥能源價高，壓縮獲利，農民意願降低。高水分玉米是以青貯代替乾燥的玉米利用方式，對草食動物而言，高水分玉米與乾玉米是具替代性的飼糧（Wu *et al.*, 2001），同時也有研究顯示，高水分玉米的採食量或澱粉消化率較乾玉米為高（Hoffman *et al.*, 2011；

Thonton *et al.*, 1977; Stock *et al.*, 1987)，此外，單胃動物的利用上也不乏其例 (Engelke *et al.*, 1984; Niven *et al.*, 2007)。因此以飼料利用與節能的觀點，高水分玉米是一項值得嘗試的方向，對我國目前的飼料玉米推行上具有節省能源、作業簡化及田間利用彈性大等優點，但前題是必須具備良好的青貯調製能力，以有效保存玉米營養。

表 2. 成熟度、接種及貯存時間對高水分玉米發酵的影響

Table 2. The effects of maturity, inoculation and storage period on fermentation of high moisture corn

Treatment	Dry matter content	pH	Acetic acid	Propionic acid	Butyric acid	Lactic acid	Acetic acid/ Lactic acid
-----g/kg (dry base)-----							
Maturity							
AS 60	56.7 <sup>c</sup>	4.8 <sup>b</sup>	1.8 <sup>a</sup>	0.0	0.06 <sup>b</sup>	5.4 <sup>a</sup>	0.38 <sup>ab</sup>
AS 67	61.5 <sup>b</sup>	5.0 <sup>ab</sup>	1.0 <sup>b</sup>	0.0	0.28 <sup>a</sup>	5.1 <sup>a</sup>	0.26 <sup>b</sup>
AS 74	64.4 <sup>a</sup>	5.7 <sup>a</sup>	0.8 <sup>b</sup>	0.0	0.04 <sup>b</sup>	2.9 <sup>b</sup>	0.54 <sup>a</sup>
Inoculation							
Control	60.6 <sup>a</sup>	5.6 <sup>a</sup>	1.2 <sup>a</sup>	0.0	0.15 <sup>a</sup>	3.1 <sup>b</sup>	0.56 <sup>a</sup>
St12	61.0 <sup>a</sup>	4.7 <sup>b</sup>	1.2 <sup>a</sup>	0.0	0.10 <sup>a</sup>	5.8 <sup>a</sup>	0.23 <sup>b</sup>
Storage period							
2 weeks	60.5 <sup>a</sup>	5.7 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup>	0.0	0.00 <sup>b</sup>	2.8 <sup>b</sup>	0.53 <sup>a</sup>
8 weeks	61.2 <sup>a</sup>	4.7 <sup>b</sup>	1.4 <sup>a</sup>	0.0	0.26 <sup>a</sup>	6.1 <sup>a</sup>	0.25 <sup>b</sup>

a, b, c Means without the same superscripts within the same column differ significantly ( $P < 0.05$ ).

相較於青割玉米，高水分玉米調製的困難度較高。Rotz and Muck (1994) 表示發酵的好壞決定於材料本身的特性 (營養組成與水分含量)、菌相與發酵環境 (容器、裝填密度及氣體流通狀況)，對青割玉米而言，在相當大的收穫區間，水溶性碳水化合物含量與水分含量都在適合的範圍內，除了極少數極端的情形，通常不須要接種與特別的操作就可以快速地進行乳酸發酵 (王及陳，2005；王等，2007)；而高水分玉米的水分含量極低，通常在 35% 上下，水溶性碳水化合物低於 5%，因此發酵速度慢而且要達到無氧與乳酸發酵的時間也較長，相對就提供了較多其他類微生物活動的空間，也就是說失敗的機率提高。由本研究試驗結果，在相似的水分含量下，試驗 I 的乳酸發酵程度遠低於試驗 II，而二者在材料組成上差別不大，青貯操作的方法相同，顯示縮短由收穫至青貯時間可以有效增加乳酸發酵的進行。Phillip and Fellner (1992) 的研究發現，相同材料在實驗室規模青貯的高水分玉米發酵程度顯著高於槽式青貯的結果，同樣顯示縮短高水分玉米調製作業時間有益於乳酸發酵之進行。Piepera *et al.* (2011) 的研究指出穀物種類、水分含量及接種處理的微生物組成上有顯著差異。試驗 I 收穫成熟度對乳酸發酵的影響，除水分含量影響微生物水活性外，田間延遲收穫造成的表面菌相差異也可能是原因之一，其中吐絲後 67 天與吐絲後 74 天的材料間水分差異不大，但乳酸發酵速度明顯較佳即可能與此有關，唯尚須進一步的試驗證實。

本試驗顯示接種處理對高水分玉米青貯品質具極顯著之促進效果，雖然在適當的條件下不接種也能發酵良好，但如條件改變就可能因發酵不良影響青貯品質及材料的保存，因此，接種是維持高水分玉米青貯品質的重要因子。同時，試驗結果顯示由恆春分所自行離的乳酸菌株表現較商業菌劑穩定。

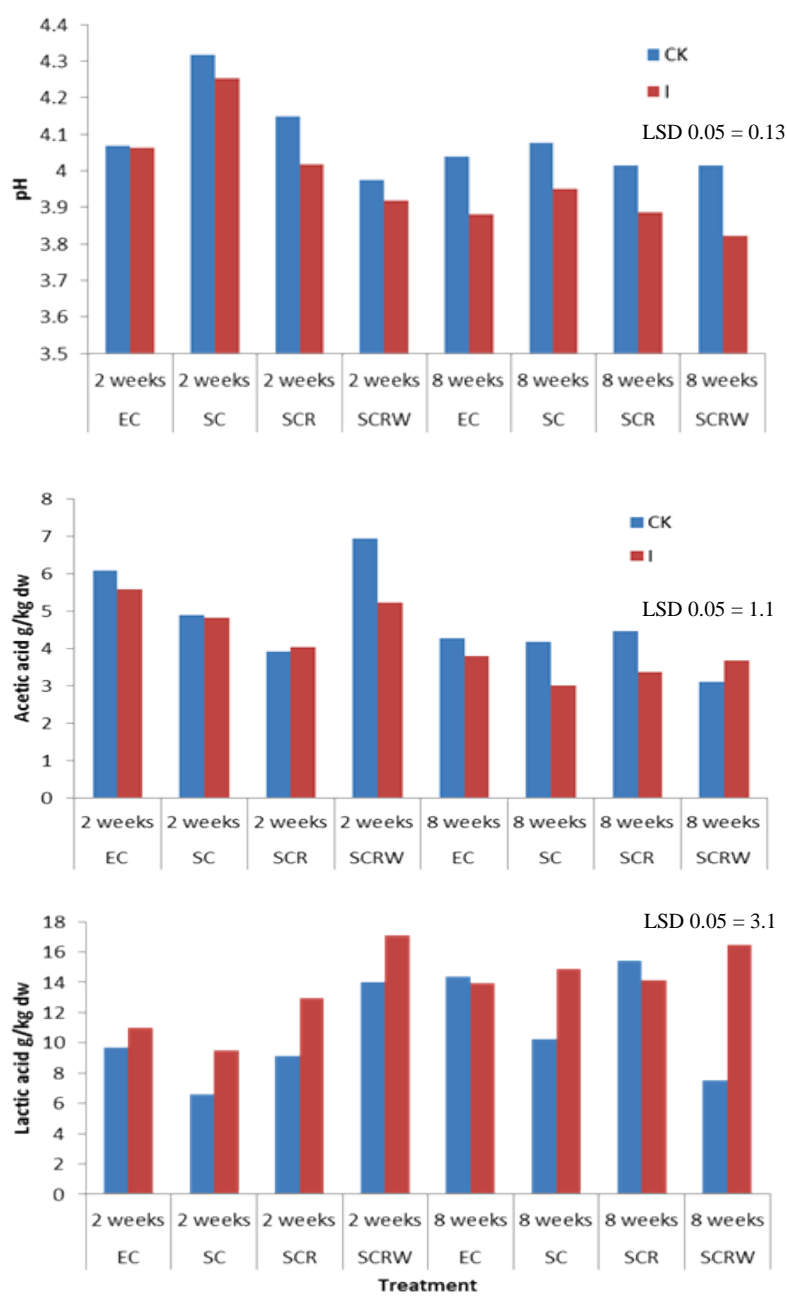


圖 3. 材料、接種及貯存時間對高水分玉米發酵產酸的影響。

Fig. 3. The effects of material, inoculation and storage period on fermentation of high moisture corn. EC: ear corn, SC: shelled corn, SCR: rolled shelled corn, SCRW: rolled shelled corn added water (50 ml/kg fresh material).



表 3. 材料、接種及貯存時間效應對高水分玉米發酵的影響

Table 3. The effects of material, inoculation and storage period on fermentation of high moisture corn

Treatment	Dry matter content	pH	Acetic acid	Propionic acid	Butyric acid	Lactic acid	Acetic acid/ Lactic acid
-----g/kg (dry base)-----							
Material							
EC	60.0 <sup>c</sup>	4.0 <sup>a</sup>	4.4 <sup>a</sup>	0.14 <sup>ab</sup>	0	12.1 <sup>b</sup>	0.38 <sup>a</sup>
SC	65.5 <sup>a</sup>	4.1 <sup>a</sup>	3.7 <sup>b</sup>	0.12 <sup>b</sup>	0	10.4 <sup>c</sup>	0.42 <sup>a</sup>
SCR	65.0 <sup>a</sup>	4.0 <sup>a</sup>	3.7 <sup>b</sup>	0.15 <sup>ab</sup>	0	12.2 <sup>b</sup>	0.29 <sup>b</sup>
SCRW	62.0 <sup>b</sup>	3.9 <sup>a</sup>	4.1 <sup>ab</sup>	0.20 <sup>a</sup>	0	14.9 <sup>a</sup>	0.30 <sup>b</sup>
Inoculation							
Control	63.3 <sup>a</sup>	4.1 <sup>a</sup>	4.2 <sup>a</sup>	0.15 <sup>a</sup>	0	11.4 <sup>b</sup>	0.41 <sup>a</sup>
Mixture	63.0 <sup>a</sup>	4.0 <sup>a</sup>	3.7 <sup>b</sup>	0.16 <sup>a</sup>	0	14.0 <sup>a</sup>	0.28 <sup>b</sup>
Storage period							
2 weeks	64.1 <sup>a</sup>	4.1 <sup>a</sup>	5.2 <sup>a</sup>	0.46 <sup>a</sup>	0	11.2 <sup>b</sup>	0.50 <sup>a</sup>
8 weeks	62.7 <sup>b</sup>	4.0 <sup>a</sup>	3.7 <sup>b</sup>	0.00 <sup>b</sup>	0	13.4 <sup>a</sup>	0.31 <sup>b</sup>

<sup>a, b, c</sup> Means without the same superscripts within the same column differ significantly ( $P < 0.05$ ).

## 參考文獻

- 王紓愍、陳嘉昇。2005。青割玉米非結構性碳水化合物含量變化之研究。畜產研究 38：1-10。
- 王紓愍、陳嘉昇、游翠鳳、劉信宏。2007。種植期、收穫期及品種對青割玉米發酵品質的影響。畜產研究 40：37-47。
- A. O. A. C. 1984. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. 14 ed. Washington DC. pp.125-142.
- Engelke, G. L., M. H. Jurgens and V. C. Speer. 1984. Performance of rowing-finishing swine fed high-moisture or artificially dried corn in complete and free-choice diets. J. Anim. Sci. 58: 1307-1312.
- Hoffman, P. C., N. M. Esser, R. D. Shaver, W. K. Coblenz, M. P. Scott, A. L. Bodnar, R. J. Schmidt and R. C. Charley. 2011. Influence of ensiling time and inoculation on alteration of the starch-protein matrix in high-moisture corn. J. Dairy Sci. 94: 2465-2474.
- Jones, D. W. and J. J. Kay. 1976. Determination of volatile fatty acid C<sub>1</sub>-C<sub>6</sub> and lactic acid in silage juice. J. Sci. Food Agric. 27: 1005-1014.
- Kung, L. Jr., C. L. Myers, J. M. Neylon, C. C. Taylor, J. Lazartie, J. A. Mills and A. G. Whiter. 2004. The effects of buffered propionic acid-based additives alone or combined with microbial inoculation on the fermentation of high moisture corn and whole-crop barley. J. Dairy Sci. 87: 1310-1316.

- Kung, L. Jr., R. J. Schmidt, T. E. Ebling and W. Hu. 2006. The effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the fermentation and aerobic stability of ground and whole high-moisture corn. J. Dairy Sci. 90: 2309-2314.
- Mader, T. and G. Erickson. 2006. Feeding high moisture corn. NebGuide, University of Nebraska-Lincoln extension, Institute of Agriculture and Nature Resources, USA.
- Morris, D. L. 1948. Quantitative determination of carbohydrates with dry-wood's anthrone reagent. Science 107: 254-255.
- Niven, S. J., C. Zhu, D. Columbus, J. R. Pluske and C. F. M. de Lange. 2007. Impact of controlled fermentation and steeping of high moisture corn on its nutritional value for pigs. Livestock Sci. 109: 166-169.
- Piepera, R., W. Hackla, U. Kornb, A. Zeynera, W. B. Souffrantc and B. Pieperb. 2011. Effect of ensiling triticale, barley and wheat grains at different moisture content and addition of *Lactobacillus plantarum* (DSMZ 8866 and 8862) on fermentation characteristics and nutrient digestibility in pigs. Anim. Feed Sci. and Tech. 164: 96-105.
- Phillip, L. E. and V. Fellner. 1992. Effects of Bacterial Inoculation of high-moisture ear corn on its aerobic stability, digestion, and utilization for growth by beef steers. J. Anim. Sci. 70: 3178-3187.
- Rotz, C. A. and R. E. Muck. 1994. Changes in forage quality during harvest and storage. 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, p828-868.
- Stock, R. A., D. R. Brink, R. T. Brandt, J. K. Merrill and K. K. Smith. 1987. Feeding combinations of high moisture corn and dry corn to finishing cattle. J. Anim. Sci. 65: 282-289.
- Thonton, J. H., F. N. Owens, D. E. Williams, R. P. Lake and R. W. Fent. 1977. Ensiled corn grain moisture level and supplement protein source effects on feed intake. Oklahoma Agricultural Experiment Station 1977 Animal Science Research Report : 67-70.
- van Soest, P. J., J. B. Robertson and B. A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74: 3583-3597.
- Vogel, K., J. F. Pedersen, S. D. Masterson and J. J. Toy. 1999. Evaluation of a filter bag system for NDF, ADF, and IVDMD forage analysis. Crop Sci. 39: 276-279.
- Wu, Z., L. J. Massingill, R. P. Walgenbach and L. D. Satter. 2001. Cracked dry or finely ground high moisture shelled corn as a supplement for grazing cows. J. Dairy Sci. 84: 2227-2230.

# The effect of maturity, processing and inoculation on the fermentation of high moisture corn<sup>(1)</sup>

Shu-Min Wang<sup>(2)(3)</sup> Tsui-Huang Yu<sup>(2)</sup> Hsin-Hung Liu<sup>(2)</sup>  
and Chia-Sheng Chen<sup>(2)</sup>

Received: Nov. 29, 2011; Accepted: Feb. 4, 2012

## Abstract

Ensiling technology is the key factor of high moisture corn production. The fermentation quality of high moisture corn is not easy to control and tend to get loss due to its low moisture content and low fermentation speed as comparing to forage corn. The purpose of this study is to investigate the effect of maturity, processing and inoculation on fermentation of high moisture corn. In experiment I, materials of days, 67 days and 74 days after silking were used to evaluate the effect of maturity and inoculation. Inoculants included the commercial one (Ecosyl, *Lactobacillus plantarum*) and three locally isolated strains. The fermentation degree is inversely proportional to the maturity and positively proportional to the ensiling period. Inoculation could improve the fermentation, and local strains were more effective than commercial one especially at the early stage. In experiment II, the material in the same maturity was processed in different ways to investigate the influence of processing and inoculation. The inoculant used was a mixture of three strains (St12, C51 and E11). The fermentation reactions responded to the moisture contents of different processing materials. The pH values of the water adjusted rolled corn grain (SCRW) and cut ear (EC) decreased faster than the other treatments in the early period (2 weeks) and had higher lactic acid contents than the others. However, the lactic acid content of SCRW decreased after 8 weeks. The mixed inoculants improved the lactic acid production and reduced the ratio of acetic acid/lactic acid. The results showed that the fermentation of high moisture corn were apt to fluctuate under different conditions. The range of lactic acid contents in experiment I and experiment II were from 0.3 g/kg (dry base) to 9.1 g/kg (dry base), and from 5.2 g/kg (dry base) to 18.6 g/kg (dry base), respectively. Shortening the time between harvest and ensiling helps preserving the high moisture corn. Inoculation with lactic acid bacteria effectively improved fermentation.

Key words : High moisture corn, Ensiling fermentation, Inoculation.

---

(1) Contribution No. 1751 from Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

(2) Hengchun Branch, COA-LRI, Pingtung 94644, Taiwan, R. O. C.

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

