

不同材料高水分玉米的青貯發酵⁽¹⁾

王紓愍⁽²⁾⁽³⁾ 游翠凰⁽²⁾ 陳嘉昇⁽²⁾

收件日期：101 年 8 月 6 日；接受日期：101 年 10 月 9 日

摘要

本研究的主要目的為了解不同材料高水分玉米的青貯發酵狀況，並測試袋式青貯調製的長期貯存（180 天）。實驗室規模試驗採用 8 種不同特性的高水分玉米材料，包含整穗細切（Ear corn, EC）、脫粒籽實（Shelled corn, SC）、碾壓脫粒籽實（Rolled shelled corn, SCR）、加水碾壓脫粒籽實（Rolled shelled corn added wter, SCRW）、堆積脫粒籽實（24 hours piled shelled corn, SCP）、堆積碾壓脫粒籽實（24 hours piled rolled shelled corn, SCRP）延遲收穫的較乾脫粒籽實（Dryer shelled corn, SCM）、及較乾的碾壓脫粒籽實（Dryer rolled shelled corn, SCRM）等，每一種材料均有對照（不接種）與接種（以 St12（*Lactobacillus plantarum* subsp. *plantarum*）、C51（*L. casei*）與 E11（*L. rhamnosus*）三種自篩菌株等量混合，接種量 1×10^6 CFU/kg fresh material）二種處理，分別於青貯後 14 天、28 天、56 天及 180 天開封測定青貯品質。袋式青貯包括 5 公斤與 30 公斤二種，青貯 180 天後開封。高水分玉米的發酵慢，主要產酸為乳酸及乙酸，試驗結果，各處理的乳酸極大值介於 9 g/kg - 18 g/kg（dry base）間，多數的乳酸高峰時間出現於青貯後 56 天。丙酸與丁酸僅在部分樣品中產生，丙酸多數出現於貯存的早期（14 天），而丁酸多出現於貯存的後期（180 天）。乳酸發酵程度大致與材料含水率的變化一致。碾壓脫粒籽實（SCR）較脫粒籽實（SC）的發酵快。堆積處理的初期發酵速度較快，但發酵後期乙酸含量增高，乳酸/乙酸比顯著降低。延遲收穫的材料含水率低，發酵慢，乳酸含量也低。接種乳酸菌有促進乳酸發酵的趨勢，特別是對發酵較慢的材料，效果尤為顯著。袋式青貯調製試驗結果顯示，5 公斤與 30 公斤規模的高水分玉米均發酵良好，接種處理的 pH、評分及乳酸/乙酸比表現均優於對照。本試驗結果顯示，高水分玉米發酵受材料的影響大，袋式的調製方法適用於多種特性的材料，可維持優良到好等級的青貯品質至少 180 天。此外，本研究室自行篩選的乳酸菌株可協助穩定高水分玉米品質。

關鍵詞：高水分玉米、發酵、接種。

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所研究報告第 1807 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。

緒言

玉米的適應性廣、生長快、品種多樣，可以供食用、飼用、加工以及生質能源等多種用途，是全球重要的穀類作物。我國每年需進口約 500 萬公噸的玉米，主要供飼用及飼料加工利用，是國內動物飼糧的重要來源，因此目前政府希望透過政策引導，鼓勵農民種植，以提高糧食自給率並活化休耕農地。

飼料玉米收穫後一般須乾燥至含水率 13% 以下，以利保存。近年因石油價格上漲，人工乾燥費用成為不小的支出，部分農民轉採日曬乾燥，但因氣候因素難掌握，容易造成品質的不穩定。事實上，以飼用的觀點，乾燥並不是保存的唯一方法，利用青貯技術也能將玉米的營養價值做良好保存。文獻中的高水分玉米（high moisture corn）指的就是收穫後不乾燥直接青貯的飼料玉米。高水分玉米生產的優點包括：提前收穫、降低風險、不須人工乾燥、簡化流程，生產成本低且節能（Mader and Erickson, 2006），此外，並有證據支持其用於飼養上的優勢（Engelke *et al.*, 1984; Hoffman *et al.*, 2011; Niven *et al.*, 2007; Stock *et al.*, 1987; Thonton *et al.*, 1997; Wu *et al.*, 2001）；缺點則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，高水分玉米生產可以提供一種節省能源、作業簡化及田間利用彈性大的飼料玉米生產方式，而且可以超越草食動物利用的範疇，前提是必須能掌握其影響因子。

適當的青貯調製是影響高水分玉米利用的首要條件（Asche *et al.*, 1986; Muck, 1988）。高水分玉米的青貯發酵原則與青割玉米相近，唯其水分含量較低，發酵速度與程度均低於全株玉米青貯，而且玉米粒澱粉含量高，保存不當，極易損失，需更加注意。由於高水分玉米的發酵程度較低，菌種添加的研究在調製上佔重要的地位（Dawson *et al.*, 1998; Kung *et al.*, 2004; Kung *et al.*, 2006; Piepera *et al.*, 2011; Taylor and Kung, 2002）。台灣地處亞熱帶，氣候與產業型態均有其特性，近年陸續探討青割玉米及多種物料的青貯調製技術（王等，2005；王等，2007；王等，2008；王等，2009，王等，2012），也已著手於適合本地利用菌種的篩選（游等，2012），除此之外，國內桶式或太空包青貯模式的發展（彭等，2004；劉，2004；劉，2012），均有效提昇國內青貯調製技術。

高水分玉米一般是指收穫含水率在 24% 以上的成熟玉米，保存於特定的青貯設備供動物利用，其收穫之玉米可以為含穗、脫粒或脫粒再經不同程度之破碎處理。因此，本研究以 8 種不同條件的玉米材料進行青貯，以了解各別材料的發酵狀況與接種效果，並測試袋式青貯調製的長期貯存（180 天），以提供產業利用參考。

材料與方法

I. 試驗材料

品種為台南 20 號。實驗室規模試驗的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 天及 62 天（99 年 5 月 10 日及 5 月 14 日）。試驗收穫時果穗均已充實達完熟階段，人工採收，機械脫粒。袋式青貯試驗材料共三批，第一批於 100 年 2 月 24 日收穫，來自台南農家，第二批及第三批均來自畜試所恆春分所，分別於 100 年 3 月 22 日及 5 月 18 日收穫，收穫時果穗均達完熟階段。

II. 青貯試驗

(i) 實驗室規模試驗

試驗材料處理包括整穗、脫粒籽實、碾壓處理、堆積及延遲收穫共 8 種，分別為：整穗細切（EC）：5 月 10 日收穫，細切玉米果穗，整穗細切 2–5 公分，內含苞葉、穗軸及籽實；脫粒籽實（SC）：5 月 10 日收穫，玉米脫粒籽實，僅含籽實；碾壓脫粒籽實（SCR）：5 月 10 日收穫，

經碾壓破粒之籽實；加水碾壓脫粒籽實 (SCRW)：5 月 10 日收穫，調高含水率之碾壓破粒籽實，加水量為 50 ml/kg fresh material；堆積脫粒籽實 (SCP)：5 月 10 日收穫，經 24 小時堆積的脫粒籽實；堆積碾壓脫粒籽實 (SCR)：5 月 10 日收穫，經 24 小時堆積的碾壓脫粒籽實；延遲收穫較乾的脫粒籽實 (SCM)：5 月 14 日收穫，脫粒籽實；延遲收穫較乾的碾壓脫粒籽實 (SCRM)：5 月 14 日收穫，碾壓脫粒籽實。

青貯時，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（以 St12 (*L. plantarum subsp. plantarum*)、C51 (*L. casei*) 與 E11 (*L. rhamnosus*) 三菌株等量混合，接種量 1×10^6 CFU/kg fresh material)。進行實驗規模青貯，每一處理 500 g，以塑膠袋真空密封，貯存於室溫下，經 14 天、28 天、56 天及 180 天後開封，每次開封三重複，測定青貯品質。

(ii) 袋式青貯試驗

共進行三次，第一次於台南進行，第二次及第三次在畜試所恆春分所進行。處理規模為 5 Kg 及 30 Kg，每一規模含二種處理，對照（不接種）及接種（接種菌株及接種比例均與實驗規模相同），玉米收穫脫粒後依前述規模裝袋，密封，置室溫下保存，於貯存 6 個月後開封，測定發酵品質。

III. 營養成分測定

青貯前取樣，樣品以 80°C 烘 48 小時，測定乾物量。烘乾磨粉後置 4°C 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 anthron 呈色法測定 (Morris, 1948)。澱粉的測定：先以 80% 的酒精於 80°C 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。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 (Vogel *et al.*, 1999)，NDF 分析採添加 α -amylase 方法 (van Soest *et al.*, 1991)。

IV. 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 0.05N tetrabutyl ammonium hydroxide (TBAH) 滴定至 pH 為 8，70°C 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，再以氣象層析儀分析含量。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. 高水分玉米的材特性

試驗材料處理包含整穗細切、脫粒玉米、碾壓破碎玉米、加水分調整、堆積及不同成熟度等，表 1 為參試的材料特性，乾物率介於 62.3% 至 69.1%，以整穗細切 (EC) 的水分含量較高，而延遲 4 天收穫 (吐絲後 62 天) 的材料含水率約降低 3-4%。堆積處理及延遲收穫都降低水溶性碳水化合物與澱粉含量。整穗細切材料含有苞葉與穗軸，其纖維含量較高，蛋白質含量較低。

表 1. 實驗室規模試驗之高水分玉米材料特性

Table 1. The properties of high moisture corn materials used in this experiment

Maturity			Material treatment	DM [#]	CP	NDF	ADF	WSC	Starch
Days	after	silking		%					
(harvest date)						-----% (dry base)-----			
58	(99/5/10)		EC*	62.3	8.9	24.8	9.5	4.6	60.4
			SC	64.5	9.6	19.1	6.3	4.7	63.5
			SCR	65.8	10.3	18.5	4.5	4.5	64.7
			SCRW	62.7	10.3	18.6	4.6	4.5	64.6
			SCP	65.2	10.0	19.2	4.6	3.1	52.1
			SCRW	65.5	11.3	19.0	4.7	2.7	51.2
62	(99/5/14)		SCM	68.4	10.4	19.7	4.7	3.6	53.9
			SCRM	69.1	10.8	20.1	4.7	3.3	57.8

* EC: ear corn, SC: shelled corn, SCR: rolled shelled corn, SCRW: rolled shelled corn added water (50 ml/kg fresh material), SCP: 24 hours piled shelled com, SCRW: 24 hours piled rolled shelled corn, SCM: dryer shelled corn, SCRM: dryer rolled shelled corn

DM: Dry matter content, CP: Crude protein, NDF: neutral detergent fiber, ADF: Acid detergent fiber, WSC: Water soluble carbohydrates

II. 不同材料的發酵狀況

8 種材料各別的青貯結果分別列於表 2 – 表 9，表 10 為各種材料的平均表現。高水分玉米的發酵型態與全株青割玉米相似，主要產酸為乳酸及乙酸，但發酵速度及產酸量均遠低於青割玉米。多數高水分玉米乳酸含量的高峰時間出現於青貯後 56 天，各批試驗之乳酸極大值介於 9 g/kg – 18 g/kg (dry base) 間，大約是全株玉米青貯料的 1/4 左右（王等，2007）。丙酸與丁酸僅在部分高水分玉米樣品中產生，丙酸多數出現於貯存的早期（14 天），而丁酸多出現於貯存的後期（180 天）。

高水分玉米的發酵反應明顯受材料特性、菌種添加及青貯時間的影響。其中，水分含量是材料特性中影響發酵的重要因子之一，本研究結果顯示，乳酸發酵程度變動大致與材料的含水率相應，整穗細切（EC）與加水調整的碾壓籽實（SCRW）的水分含量最高，pH 值下降速度最快，發酵產酸量也較高，其次為脫粒籽實及碾壓籽實以及堆積一日的籽實，延遲收穫的材料，含水率低，發酵慢，發酵程度也較低。含水率是影響微生物活動的重要因素之一，含水率低則水活性低，顯著影響多數細菌的活動（Piepera *et al.*, 2011; Rotz and Muck, 1994）。

材料加工影響方面，由表 3 及表 4 結果，碾壓脫粒籽實（SCR）較整粒籽實（SC）的發酵快，14 天時 SCR 的 pH 值在對照及接種處理分別達到 4.1 及 4.0，而 SC 則在 56 天時才達到相同的表現（表 3、表 4）。破碎處理的發酵較迅速可能與微生物較易與釋出的養分接觸有關，同時，碎粒也有助於裝填作業，可以減少混入的空氣，加速到達無氧狀態。

堆積的影響見表 3、表 6 及表 4、表 7 的比較，由 SC 及 SCR 二類材料堆積與否的青貯發酵表現可以發現，堆積處理與直接青貯的發酵反應不同，堆積處理的初期乳酸發酵速度較快，14 天時 SC 及 SCR 的乳酸含量分別為 6.6 g/kg (dry base) 與 9.5 g/kg (dry base)，而堆積處理 SCP 及 SCRW 的含量分別為 11.4

g/kg (dry base)及 12.5 g/kg (dry base)，但發酵後期堆積處理的乙酸含量增高而直接青貯的乙酸含量降低，造成堆積處理的乳酸/乙酸比顯著降低，影響青貯品質（表 6、表 7）。此現象可能與材料的水溶性碳水化合物與澱粉含量較低有關，此外，堆積期間的表面菌相變化也可能是因素之一。Phillip and Fellner（1992）的研究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。

隨青貯天數增加，多數高水分玉米材料的 pH 值逐步下降，乳酸含量漸增，在青貯 28 天或 56 天時的乳酸含量最高，顯示乳酸發酵的持續時間長，延遲收穫的材料因為含水率低，乳酸發酵持續的時間更長。貯存至 180 天，多種材料都出現丁酸，造成青貯品質降低，但仍在可接受的範圍內。

乳酸菌的添加效果，在各種材料上表現不一，但均顯示有促進乳酸發酵的趨勢。特別是對發酵較慢的材料，接種的效果顯著。由表 3、表 8 及表 9 可以發現接種處理的乳酸含量顯著高於對照，其他材料也大多能看到乳酸/乙酸比較高的效果。由於高水分玉米不易發酵，菌種添加的研究一直在高水分玉米的研究中佔有重要的地位，多數研究顯示菌種添加有助於加快發酵速度、減少乾物損失（Dawson *et al.*, 1998; Kung *et al.*, 2004; Kung *et al.*, 2006; Piepera *et al.*, 2011; Taylor and Kung, 2002）。王等（2012）的研究亦指出自行篩選菌種對高水分玉米的表現優於商用菌種。

表 2. 整穗高水分玉米在接種/不接種下之青貯品質

Table 2 The dry matter contents, pH values, Fleig's score, volatile fatty acid contents of ear corn (EC) silages with/without inoculant

Treatment	Ensiling period	Dry matter content	pH	Score	Acetic acid	Propionic acid	Butyric acid	Lactic acid
	Days	%			-----g/kg (dry base)-----			
Control	14	61.3 ^{a*}	4.1	76.5 ^{bc}	6.1 ^a	0.44	--	9.7 ^b
	28	60.9 ^a	3.9	92.0 ^a	3.6 ^{bc}	--	--	10.8 ^b
	56	60.0 ^a	4.0	93.0 ^a	4.3 ^{ab}	--	--	14.4 ^a
	180	60.0 ^a	4.1	76.0 ^{bc}	2.7 ^c	--	1.66	11.0 ^b
Inoculation	14	60.3 ^a	4.1	81.5 ^b	5.6 ^a	0.39	--	11.0 ^b
	28	57.2 ^b	4.0	95.5 ^a	3.3 ^{bc}	--	--	13.0 ^a
	56	60.6 ^a	3.9	95.0 ^a	3.8 ^{bc}	--	--	13.9 ^a
	180	60.6 ^a	4.0	77.5 ^{bc}	2.8 ^c	--	1.20	11.0 ^b

* a, b, c Means within a column followed by the different letter are significantly different ($P < 0.05$).

--: undetected

表 3. 脫粒高水分玉米在接種/不接種下之青貯品質

Table 3. The dry matter contents, pH values, Fleig's score, volatile fatty acid contents of shelled corn (SC) silages with/without inoculant

Treatment	Ensiling period	Dry matter content	pH	Score	Acetic acid	Propionic acid	Butyric acid	Lactic acid
	Days	%			-----g/kg (dry base)-----			
Control	14	65.2 ^{a*}	4.4 ^a	72.0 ^c	5.0 ^{ab}	0.33 ^a	--	6.6 ^e
	28	64.4 ^a	4.2 ^{ab}	92.0 ^{ab}	2.9 ^{cd}	--	--	9.7 ^d
	56	64.7 ^a	4.1 ^b	86.0 ^b	4.2 ^{bc}	--	--	10.8 ^d
	180	64.7 ^a	4.1 ^b	96.8 ^a	2.6 ^d	--	--	11.2 ^{cd}
Inoculation	14	65.9 ^a	4.3 ^a	75.3 ^c	6.2 ^a	0.46 ^a	--	9.4 ^d
	28	64.8 ^a	4.1 ^{ab}	97.0 ^a	2.9 ^{cd}	--	--	13.0 ^{bc}
	56	64.4 ^a	4.0 ^b	96.5 ^a	3.6 ^{cd}	--	--	15.0 ^a
	180	64.4 ^a	4.0 ^b	91.5 ^{ab}	3.4 ^{cd}	0.08 ^b	0.17 ^a	13.7 ^{ab}

* a, b, c, d, e Means within a column followed by the different letter are significantly different ($P < 0.05$).

--: undetected

表 4. 碾壓脫粒高水分玉米在接種/不接種下之青貯品質

Table 4. The dry matter contents, pH values, Fleig's score, volatile fatty acid contents of rolled shelled corn (SCR) silages with/without inoculant

Treatment	Ensiling period	Dry matter content	pH	Score	Acetic acid	Propionic acid	Butyric acid	Lactic acid
	Days	%			-----g/kg (dry base)-----			
Control	14	65.8	4.1	85.8 ^{b*}	4.1 ^{ab}	0.44 ^a	--	9.5 ^c
	28	64.5	4.0	96.8 ^a	3.3 ^{bc}	--	--	14.4 ^a
	56	64.3	4.0	94.5 ^a	4.1 ^{ab}	--	--	14.2 ^a
	180	64.3	4.1	83.3 ^b	2.5 ^c	--	1.04	12.5 ^b
Inoculation	14	65.3	4.0	87.3 ^b	5.2 ^a	0.51 ^a	--	12.9 ^b
	28	64.3	3.9	99.3 ^a	2.5 ^c	--	--	14.5 ^a
	56	64.9	3.9	95.8 ^a	3.6 ^{bc}	--	--	14.4 ^a
	180	64.9	4.0	84.3 ^b	2.6 ^c	0.12 ^b	1.10	12.6 ^b

* a, b, c Means within a column followed by the different letter are significantly different ($P < 0.05$).

--: undetected

表 5. 加水碾壓脫粒高水分玉米在接種/不接種下之青貯品質

Table 5. The dry matter contents, pH values, Fleig's score, volatile fatty acid contents of silages ensiled by rolled shelled corn with water (SCRW) with/without inoculant

Treatment	Ensiling period	Dry matter content	pH	Score	Acetic acid	Propionic acid	Butyric acid	Lactic acid
	Days	%			-----g/kg (dry base)-----			
Control	14	62.0	4.0 ^{a*}	82.5 ^b	6.9 ^a	0.74 ^a	--	14.0 ^c
	28	62.1	3.9 ^{ab}	98.5 ^a	2.9 ^{cd}	--	--	15.6 ^b
	56	61.4	4.0 ^a	86.0 ^b	3.1 ^c	--	--	7.5 ^d
	180	61.4	4.0 ^a	69.5 ^c	3.0 ^{cd}	--	3.08 ^a	13.8 ^c
Inoculation	14	61.5	3.9 ^{ab}	93.0 ^a	5.2 ^b	0.45 ^b	--	17.1 ^{ab}
	28	63.6	3.8 ^b	99.5 ^a	3.0 ^{cd}	--	--	18.6 ^a
	56	61.4	3.8 ^b	97.0 ^a	3.7 ^c	--	--	16.5 ^b
	180	61.4	3.9 ^{ab}	76.0 ^{bc}	2.1 ^d	--	2.53 ^b	14.7 ^{bc}

* a, b, c Means within a column followed by the different letter are significantly different ($P < 0.05$).

--: undetected

表 6. 堆積 1 日脫粒高水分玉米在接種/不接種下之青貯品質

Table 6. The dry matter contents, pH values, Fleig's score, volatile fatty acid contents of silages ensiled by 24 hours piled shelled com (SCP) with/without inoculant

Treatment	Ensiling period	Dry matter content	pH	Score	Acetic acid	Propionic acid	Butyric acid	Lactic acid
	Days	%			-----g/kg (dry base)-----			
Control	14	64.8	4.3 ^{a*}	96.8 ^a	2.6 ^c	--	--	11.4 ^a
	28	64.9	4.1 ^b	95.3 ^a	2.6 ^c	--	--	9.9 ^b
	56	65.0	4.2 ^{ab}	83.8 ^{bc}	6.1 ^a	--	--	13.1 ^a
	180	65.0	4.2 ^{ab}	76.3 ^c	5.8 ^a	0.12	0.40 ^a	10.7 ^{ab}
Inoculation	14	64.4	4.3 ^a	98.3 ^a	2.3 ^c	--	--	11.6 ^a
	28	65.4	4.1 ^b	95.8 ^a	2.4 ^c	--	--	9.4 ^b
	56	65.5	4.1 ^b	91.0 ^{ab}	4.3 ^b	--	--	12.7 ^a
	180	65.5	4.1 ^b	89.8 ^{ab}	3.5 ^{bc}	--	0.10 ^b	11.4 ^a

* a, b, c Means within a column followed by the different letter are significantly different ($P < 0.05$).

--: undetected

表 7. 堆積 1 日碾壓脫粒高水分玉米在接種/不接種下之青貯品質

Table 7. The dry matter contents, pH values, Fleig's score, volatile fatty acid contents of silages ensiled by 24 hours piled rolled shelled com (SCR) with/without inoculant

Treatment	Ensiling period	Dry matter content	pH	Score	Acetic acid	Propionic acid	Butyric acid	Lactic acid
	Days	%			-----g/kg (dry base)-----			
Control	14	65.4	4.2 ^{a*}	90.5 ^a	4.3 ^c	--	--	12.5 ^a
	28	66.2	4.1 ^{ab}	83.0 ^b	4.4 ^c	--	--	9.2 ^b
	56	65.2	4.1 ^{ab}	72.0 ^c	7.8 ^a	--	--	10.4 ^{ab}
	180	65.2	4.1 ^{ab}	83.5 ^b	6.0 ^b	--	--	12.1 ^a
Inoculation	14	64.8	4.2 ^a	93.5 ^a	4.0 ^c	--	--	12.9 ^a
	28	65.1	4.1 ^{ab}	88.0 ^a	3.7 ^c	--	--	9.1 ^b
	56	65.8	4.0 ^b	89.5 ^a	4.7 ^c	--	0.04	13.5 ^a
	180	65.8	4.0 ^b	83.5 ^b	6.1 ^b	--	--	12.7 ^a

* a, b, c Means within a column followed by the different letter are significantly different ($P < 0.05$).

--: undetected

表 8. 較晚收穫脫粒高水分玉米在接種/不接種下之青貯品質

Table 8. The dry matter contents, pH values, Fleig's score, volatile fatty acid contents of silages ensiled by dryer shelled corn (SCM) with/without inoculant

Treatment	Ensiling period	Dry matter content	pH	Score	Acetic acid	Propionic acid	Butyric acid	Lactic acid
	Days	%			-----g/kg (dry base)-----			
Control	14	66.8	5.4 ^{a*}	77.0 ^c	1.8 ^c	--	--	2.9 ^d
	28	68.8	4.6 ^c	70.5 ^c	4.5 ^a	--	--	5.9 ^c
	56	66.5	4.2 ^{de}	91.0 ^{ab}	3.2 ^b	--	--	9.4 ^b
	180	66.5	4.3 ^{de}	87.5 ^b	2.3 ^{bc}	--	0.49	9.4 ^b
Inoculation	14	67.2	4.9 ^b	75.0 ^c	3.1 ^b	--	--	4.6 ^c
	28	68.4	4.4 ^{cd}	78.0 ^{bc}	4.7 ^a	--	--	8.1 ^b
	56	66.4	4.1 ^e	90.5 ^{ab}	3.0 ^b	--	--	8.4 ^b
	180	66.4	4.1 ^e	97.0 ^a	2.4 ^{bc}	--	--	11.4 ^a

* a, b, c, d, e Means within a column followed by the different letter are significantly different ($P < 0.05$).

--: undetected

表 9. 較晚收穫碾壓脫粒高水分玉米在接種/不接種下之青貯品質

Table 9. The dry matter contents, pH values, Fleig's score, volatile fatty acid contents of silages ensiled by dryer rolled shelled com (SCRM) with/without inoculant

Treatment	Ensiling period	Dry matter content	pH	Score	Acetic acid	Propionic acid	Butyric acid	Lactic acid
	Days	%			-----g/kg (dry base)-----			
Control	14	67.7	4.8 ^{a*}	76.0 ^{bc}	2.5 ^d	--	--	3.8 ^d
	28	69.1	4.3 ^b	75.0 ^{bc}	6.0 ^b	--	--	9.1 ^b
	56	67.3	4.3 ^b	82.0 ^{ab}	4.2 ^c	--	--	8.3 ^b
	180	67.3	4.4 ^b	59.0 ^d	3.2 ^{cd}	--	2.86 ^a	9.0 ^b
Inoculation	14	67.0	4.6 ^a	82.0 ^{ab}	3.3 ^{cd}	--	--	6.6 ^c
	28	68.7	4.1 ^c	69.5 ^c	8.8 ^a	--	--	9.8 ^b
	56	66.6	4.0 ^c	86.0 ^a	3.8 ^c	--	0.27 ^c	11.9 ^a
	180	66.6	4.1 ^c	77.0 ^b	3.5 ^c	--	1.09 ^b	11.9 ^a

* a, b, c Means within a column followed by the different letter are significantly different ($P < 0.05$).

--: undetected

表 10. 不同性質高水分玉米的青貯品質比較

Table 10. Comparison of dry matter contents and fermentation quality of different high moisture corn materials

Treatment	Dry matter content	pH	Score	Acetic acid	Propionic acid	Butyric acid	Lactic acid
	%			-----g/kg (dry base)-----			
EC [*]	60.1 ^{b#}	4.0 ^b	85.9 ^a	4.0 ^{ab}	0.10 ^a	0.36 ^b	11.8 ^{ab}
SC	64.8 ^a	4.1 ^b	88.4 ^a	3.8 ^{ab}	0.11 ^a	0.02 ^c	11.2 ^{ab}
SCR	64.8 ^a	4.0 ^b	90.8 ^a	3.5 ^b	0.13 ^a	0.27 ^b	13.1 ^a
SCRW	61.9 ^b	3.9 ^b	87.8 ^a	3.7 ^{ab}	0.15 ^a	0.70 ^a	14.7 ^a
SCP	65.1 ^a	4.2 ^{ab}	90.8 ^a	3.7 ^{ab}	0.02 ^b	0.06 ^c	11.3 ^{ab}
SCRW	65.5 ^a	4.1 ^b	85.4 ^a	5.1 ^a	--	0.01 ^c	11.6 ^{ab}
SCM	67.1 ^a	4.5 ^a	83.3 ^{ab}	3.1 ^b	--	0.06 ^c	7.5 ^c
SCRM	67.6 ^a	4.3 ^a	75.8 ^b	4.4 ^{ab}	--	0.53 ^a	8.8 ^{bc}

*: As show in table 1.

a, b, c Means within a column followed by the different letter are significantly different ($P < 0.05$).

III. 袋式青貯試驗

袋式青貯調製試驗共進行三批，材料的乾物率介於 66.6%-71.1%之間，青貯時間為 6 個月，結果顯示 5 Kg 及 30 Kg 二種規模均發酵良好，發酵以乳酸、乙酸為主，丙酸及丁酸都未檢出，結果與實驗室規模試驗相近。接種處理的 pH、評分及乳酸/乙酸比表現均優於對照（表 11）。顯示本研究採行的袋裝調製方式發酵結果穩定，此外，因為袋裝調製作業迅速以及具備方便貯存與運輸的特點，應可實際提供產業應用。

因玉米含大量澱粉，開封後易受微生物分解，品質迅速劣化，因此，開封後穩定性是水分玉米利用上必須注意的問題，國外通常以開封後管理與接種異質乳酸發酵菌進行控制（Hoffman and Ocker, 1997; Kung *et al.*, 2004; Kung *et al.*, 2006）。而本研究採用袋裝調製方式，開封後可快速利用，應可大幅降低因開封後穩定性不佳而造成的影響。

表 11. 袋式高水分玉米青貯 6 個月的發酵品質（n=3）

Table 11. The fermentation quality of high moisture corn ensiled in plastic bag after 6 months (n = 3)

Scale	Treatment	Dry matter	pH	Score	Acetic acid	Lactic acid
		%			-----g/kg (dry base)-----	
5 kg	Control	67.3	4.1 ^{a*}	92.5 ^b	3.6 ^a	11.8 ^b
5 kg	Inoculation	67.4	4.0 ^a	97.5 ^a	2.6 ^b	12.5 ^a
30 kg	Control	66.9	4.0 ^a	94.0 ^{ab}	3.8 ^a	11.8 ^b
30 kg	Inoculation	68.5	3.9 ^b	95.5 ^{ab}	3.2 ^a	12.2 ^a

* a, b Means within a column followed by the different letter are significantly different (P < 0.05).

結論

本研究利用袋裝調製方式進行高水分玉米青貯，主要著眼其操作簡便並且不需要特別的場地與設備，同時，試驗中採用 8 種不同特性的高水分玉米，模擬多種實際收穫調製可能發生的材料條件，可以了解高水分玉米的青貯變異性，並測試 5 公斤與 30 公斤兩種產業應用規模。由本試驗結果，袋裝調製的方式可以穩定保存高水分玉米品質至 6 個月，並具有作業迅速、簡單及方便貯存與運輸的特點，適宜提供產業應用。此外，利用本實驗室自行篩選的乳酸菌株接種具有穩定高水分玉米品質的效果。

參考文獻

- 王舒慇、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。
- 王舒慇、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。
- 王舒慇、陳嘉昇、謝文彰、游翠鳳、劉信宏。2008。成熟度、接種處理與青貯保存時間對全株水稻青貯品質的影響。畜產研究 41：153-162。
- 王舒慇、陳嘉昇、游翠鳳、劉信宏。2009。太陽麻之青貯調製研究。畜產研究 42：309-318。
- 王舒慇、陳嘉昇、游翠鳳、劉信宏。2012。成熟度、接種及材料加工對高水分玉米青貯發酵的影響。

- 畜產研究：45：197-208。
- 游翠鳳、王紓愍、陳嘉昇、劉信宏。2012。本土青貯菌劑的篩選及對苜蓿半乾青貯品質的影響。畜產研究：45：209-216。
- 彭炳戊、陳嘉昇、張敏郎。2004。桶式青貯調製作業之改良。畜產專訊第 50 期：6-7。
- 劉信宏。2004。青割玉米太空包青貯自動封裝系統之研究。台中。國立中興大學碩士論文。
- 劉信宏。2012。自動化芻料包裝機之開發。畜產專訊第 80 期：16-17。
- A. O. A. C. 1984. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. 14 ed. Washington DC. pp.125-142.
- Asche, G. L., J. D. Crenshaw, A. J. Lewis and E. R. Peo, Jr. 1986. Effect of dry, high-moisture and reconstituted normal and high lysine corn diets and particle size on energy and nitrogen metabolism in growing swine. 1986. J. Anim Sci. 63: 131 – 138.
- Dawson, T. E., S. R. Rust and M. T. Yokoyama. 1998. Improved fermentation and aerobic stability of ensiled, high moisture corn with the use of *Propionibacterium acidipropionici*. J Dairy Sci 81: 1015 – 1021.
- 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. and S. M. Ocher. 1997. Quantification of milk yield losses associated with aerobically unstable high moisture corn. J. Dairy Sci. 80: 234.
- 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 C₁-C₆ 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.
- Muck, R. E. 1988. Factors influencing silage quality and their implications for management. J. Dairy Sci. 71: 2992 – 3002.
- 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. Zeyner, W. B. Souffrant and B. Pieper. 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. 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.
- Taylor, C. C. and L. Kung, Jr. 2002. The Effect of *Lactobacillus buchneri* 40788 on the fermentation and aerobic stability of high moisture corn in laboratory silos. J. Dairy Sci. 85: 1526 – 1532.
- 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 Anim. Sci. 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 fermentation properties of different high moisture corn materials⁽¹⁾

Shu-Min Wang⁽²⁾⁽³⁾ Tsui-Huang Yu⁽²⁾ and Chia-Sheng Chen⁽²⁾

Received: Aug. 6, 2012; Accepted: Oct. 9, 2012

Abstract

The purpose of this research is to realize the fermentation properties of different high moisture corn materials and to test the long-term storage (180 days) of plastic bagged high moisture corn. Eight kinds of materials were used in the laboratory-evaluation. The materials included ear corn (EC), shelled corn (SC), rolled shelled corn (SCR), rolled shelled corn added with water (50 ml/kg fresh material, SCRW), piled shelled corn (SCP), piled rolled shelled corn (SCRW), dryer shelled corn that harvested lately (SCM), and dryer rolled shelled corn (SCRM). Each material was divided into two treatments: control (no inoculant) and inoculation (inoculated with blend of three strains of lactic acid bacteria). The fermentation qualities were assayed after storage of 14 days, 28 days, 56 days and 180 days. The silage quality of two different scales of plastic bagged high moisture corn: 5 kilogram and 30 kilogram were tested after six months storage as well. Due to the low moisture content, high moisture corn fermented slowly. The major products were lactic acid and acetic acid, propionic acid and butyric acid appeared only in some treatments. Usually, the propionic acid was found in early stage (14 days) and the butyric acid was found in late stage (180 days). The levels of lactic acid fermentation were correlated with the moisture contents of the materials. The fermentation of SCR was faster than that of SC. After piling, high moisture corn ferment faster in the early stage, but due to their acetic acid content increased faster than lactic acid content, the silage quality decreased in the late stage. The high moisture corn harvested lately has lower moisture content and lower fermentation speed and low lactic acid content. Inoculation could improve lactic acid production, especially for the materials with slow fermentation speed. The results of plastic bagged high moisture corn showed that both 5 kilogram and 30 kilogram scale fermented well, and inoculation treatment had better performance than control. Our results indicated that the fermentation properties of high moisture corn were impacted by different materials, and bagged silage could preserve quality at excellent to good level for at least 180 days. In addition, the inoculants isolated were helpful for high moisture corn preservation.

Key words: High moisture corn, fermentation, Inoculation.

(1) Contribution No. 1807 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.

