

高粱穀粒與高粱芻料應用於肉牛飼糧的飼養價值
Feeding Value of Sorghum Grain and Forage in Beef Diets

聯合高粱公積金方案
United Sorghum Checkoff Program

作者：Micheal J. Brouk 博士

美國堪薩斯州立大學動物科學與產業學系

譯者：王勝德博士¹ 黃政齊博士²

1 行政院農業委員會畜產試驗所恆春分所畜產科技系

2 行政院農業委員會畜產試驗所恆春分所分所長

緒言

高粱穀粒與高粱芻料都是非常重要的家畜飼料原料。一般而言，高粱多半種植在像是堪薩斯西部等降雨量無法應付大規模經濟性生產玉米或其他作物的地區。主要是大規模的經濟性生產玉米或其他作物對水份的需求，幾乎比高粱多出 1 倍。過去 10 年來，美國農民平均每年收割近 700 萬英畝的高粱田，生產超過 3.5 億蒲式耳 (bushel, 穀物計量單位, 1 蒲式耳 = 35.238 公升, 1 蒲式耳高粱 = 56 磅或 25.5 公斤) 的高粱穀粒，此外還有超過 35 萬英畝的高粱被收穫作成青貯料。雖然以肉牛肥育飼糧所作的研究結果顯示，高粱穀粒確實可以取代玉米，但市場上一般認為高粱的價值低於玉米。過去 10 年來，每一蒲式耳的高粱價格大約比玉米便宜 0.12 元美金，導致高粱生產業者每年短收約 4,200 萬美金。以 2008 年而言，玉米與高粱的價差擴大到每一蒲式耳 0.70 元美金，高粱的產值因而減少約 3.3 億元美金。就許多試驗研究的結果來看，低估高粱的價值是沒有根據的，然而，家畜飼養者與家畜市場卻持續低估高粱用在肉牛飼糧的價值。

針對 42 位在美國中西部、高原地區與西南部等地區擔任顧問的營養學家所做的調查，顯示高粱用於肉牛飼糧中是受到限制的 (Vasconcelos and Galyean, 2007)。分析其中 29 位完成該項調查並且提供個人每年所服務動物頭數的營養學家資料，他們所涵蓋的肉牛頭數在 2007 年約佔總肉牛頭數的 69%。而所有完成該項調查的營養學家的資料顯示，玉米是肉牛肥育飼糧中最主要的穀物來源，而有 31% 的營養學家指出高粱是次要穀物。先前的研究 (Galyean and Gleghorn, 2001) 發現，有 10% 的營養學家使用玉米與高粱混合物作為肉牛肥育飼糧最主要的穀物來源，另有 31.5% 把高粱當作次要穀物。此資料顯示在美國中西部、高原地區與西南部等地區，肉牛飼糧的穀物來源已有從高粱微幅轉變為玉米的趨勢。這也證明需要額外的資訊與研究，以直接證實在肉牛飼糧中使用高粱的效益。

有必要綜整出版的文獻中，有關架子牛、肥育牛、母牛與女牛餵飼高粱穀粒、高粱青貯與高粱蒸餾酒糟的性能表現，以教育家畜飼養者與相關專業人員能了解高粱在肉牛產業的真實價值。以下就是近期一篇關於肉牛餵飼高粱的綜整報告。

與玉米、大麥、小麥比較之下的高粱營養組成

大麥、玉米、高粱與小麥都是可被用於飼養肉牛的重要能量來源。依照各地氣候條件的不同，某種穀類可能比其他穀類更適合當地種植。通常，玉米是動物飼料中最主要的能量來源選擇。然而某些氣候因素限制了玉米在當地的生產力，甚至對玉米的生產力有不利的影響。表一列示高粱、玉米、大麥與小麥的營養價值。相關數據來自國家研究委員會 (National Research Council, NRC) 不同版本

的出版物（肉牛 NRC, 1996 版與乳牛 NRC, 2001 版）以及位於紐約的 Dairy One 芻料實驗室。國家研究委員會的數值是根據該刊物在出版前所收集到的資料，而 Dairy One 芻料實驗室的數據則來自 2000 年 5 月到 2010 年 4 月 30 日為止所有分析樣品的平均數值。

可以發現 Dairy One 芻料實驗室 4 種穀物樣品的粗蛋白質分析值都低於 NRC 的數值，此可能是過去數十年來因為提高了穀物產量因而增加了穀物澱粉量，以致於 Dairy One 芻料實驗室近年來所分析的穀物粗蛋白質含量相對較低。高粱的粗蛋白質含量比玉米高，但低於小麥與大麥。一般認為，高粱的粗蛋白質含量會比玉米高出約 14%。由 NRC 的資料也可看出，高粱的粗蛋白質含量比玉米高出 23~28%。但植物育種的改變導致穀物中所含的澱粉量提高，因而稀釋穀物中的粗蛋白質含量。以酸洗纖維含量代表穀物中的粗纖維含量，結果顯示玉米最低、小麥次之，高粱與大麥則較高。高粱、大麥的粗纖維含量值變化較大，可能和這兩種穀物的種皮與胚乳、胚芽的比例較玉米、小麥為高有關，也可能是高粱、大麥的酸洗纖維含量較多所致。儘管存有上述差異，但彼此的差異不大且對瘤胃的消化作用沒有嚴重的負面影響。能量值則以維持所需淨能（ NE_m ）與增重所需淨能（ NE_g ）兩種項目表示，用以反映動物如何從飼料中有效率地利用能量。比較 NRC 的數值與 Dairy One 芻料實驗室近年來分析的數據發現，4 種穀物的維持所需淨能與增重所需淨能均有所提升。可能與近年來植物育種以及農事經驗的改變，穀物產量提高、澱粉含量也增加有關。在能量方面，高粱與玉米是相當具有比較性。表 1 數據顯示，玉米所含的能量比高粱略高但彼此的差異極少；如此低的差異也不容易在動物試驗中被檢測出來。由於氣候條件、農事經驗與植物遺傳的影響，建議應該針對不同地區來源的穀物加以分析，並將分析所得的營養資料用於調配動物飼糧，應該比直接利用表 1 的數據更為有益。

高粱穀粒應用於肉牛飼糧

穀物是家畜飼糧中最重要能量來源，大約佔所有肥育飼糧的 95%。玉米、高粱、大麥、小麥與燕麥是美國最常使用的穀物種類。依據對肉牛營養技師所做的調查資料（Galyean and Gleghorn, 2001; Vasconcelos and Galyean, 2007），玉米是肉牛飼糧中最佳的穀物選擇，其他 4 種穀物則被視為次要的能量來源。此點並非表示高粱、大麥、小麥與燕麥等 4 種穀物比玉米差，只能說明營養技師與飼主具有使用玉米做為主要飼糧能量來源的偏好性。對提升家畜的性能表現而言，澱粉在瘤胃內的利用程度至為重要。因此，如要達到高水準的飼料效率以及提升平均每日增重，測定與了解不同穀物種類在瘤胃中的發酵模式實屬重要。

乾物質、粗蛋白質與澱粉在瘤胃中的發酵模式因為穀物種類的不同而有所差

異，圖 1 至圖 3 證實了玉米、高粱、大麥、小麥與燕麥等 5 種穀物發酵速率的不同。顯示出高粱的發酵速率比其他穀類來的慢，但計算乾物質、粗蛋白質與澱粉消化率則發現玉米與高粱相當 (Herrera-Saldana, 1990)。當進入瘤胃 48 小時後，所有穀物幾乎被完全發酵。某些研究發現，穀類混合物會比單一穀物更有理想的瘤胃發酵模式。舉例來說，把少量 (約 1~2 磅) 的小麥、大麥或燕麥加到完全混合日糧，可在餵飼後立即提高可被瘤胃利用的澱粉量。如與玉米或高粱混合，將可在兩餵餐之間的空檔，提供瘤胃一個較高量且較穩定的可利用澱粉。Huck 與其研究夥伴 (1998) 比較蒸氣壓片高粱與玉米為 2:1 的混合物或單一種的蒸氣壓片高粱或玉米，發現餵飼蒸氣壓片高粱與玉米混合物可獲致較佳的平均每日增重以及飼料效率。其中，飼料效率改善了 5%。

Owen 氏等人 (1997) 綜整 605 篇比較 5 種穀類使用不同的加工方法對肉牛性能表現的影響，結論認為肥育肉牛餵飼高粱可以獲得與玉米相似的平均每日增重 (表 2)。此一比較結論並未考慮加工方法的影響，而只是餵飼單一穀類所獲致的結果，如比較不同加工方法則會有不同的結論。與其他加工方法相比較，餵飼高水分玉米或高粱會得到較差的增重速率 (表 3)。增加高粱的加工程度會降低肉牛的乾物質採食量 (表 4)，但會改善飼料效率 (表 5)。與乾式滾壓高粱相比較，餵飼蒸氣滾壓高粱將提高飼料效率達 15%。當餵飼高粱以及比較玉米與高粱的飼料效率時，應該考慮加工型態的穀物，特別是加熱處理。

加熱處理對動物性能的影響

加熱處理應用於飼料工業已有數十年歷史。有別於未加工過的全穀物或者如滾壓、磨碎、乾式滾壓等低度加工產品，穀物的加工方法包括蒸氣壓片、復水處理、早收青貯 (高水分)、爆鼓花、炸裂、烘烤或微波處理 (Theurer, 1986)。如要將圍繞在澱粉微粒外的蛋白質基體破壞並進一步將澱粉微粒解體，應用磨碎、滾壓、蒸氣滾壓或蒸氣壓片等加工方法處理高粱穀粒有其必要。其中以蒸氣壓片法對破壞蛋白質基體與崩解澱粉微粒的效果最好。這是因為蒸氣壓片法將水分、壓力與加熱等加工方法結合在一起，產品因而能夠供給瘤胃微生物更大比例的可利用澱粉。表 6 數據證明，以蒸氣壓片法處理玉米或高粱穀粒，比使用乾式滾壓法能得到更好的飼料轉換率 (Theurer, 1986)。表 6 資料也顯示，加工處理並無法提升肉牛的平均每日增重。但加工過的高粱與玉米相比較，所得到的飼料轉換率與平均每日增重等結果也相近。比較乾式滾壓法處理玉米與高粱，發現玉米組的飼料轉換率優於高粱組。改變穀物澱粉被瘤胃微生物作用與消化的位置將提升飼料轉換率，相同的比較方式與結果也在泌乳牛被證實 (Theurer *et al.*, 1999)。

與其它加工方法相比較，蒸氣壓片玉米的澱粉總消化率可以從 91% 提高到

99%，蒸氣壓片高粱則可由 91% 提高到 98%。瘤胃的澱粉消化率方面，蒸氣壓片玉米也從 70% 提高到 86%，蒸氣壓片高粱則可由 57% 提高到 76%。表示蒸氣壓片法可以提高玉米的瘤胃澱粉消化率達 23%，高粱甚至可以提高達 33%。當玉米與高粱的澱粉總消化率相近時，蒸氣壓片高粱所改善的瘤胃澱粉消化率遠比蒸氣壓片玉米組來的大，也凸顯蒸氣壓片法處理高粱的價值。蒸氣壓片法不僅改變穀物澱粉在瘤胃中被作用的位置，也提高瘤胃的菌體合成量以及瘤胃菌體蛋白在小腸內的可利用性 (Rahnema *et al.*, 1987)。增加菌體蛋白的供應量與提高其消化率，對改善反芻動物的性能表現著實重要。吾等已經了解餵飼蒸氣壓片高粱遠比餵飼其他加工法的高粱更具有效益，是故應該審慎考慮穀物的加工方法。

穀物被擠壓後的密度也會影響反芻動物的性能表現。Swingle 氏與其研究夥伴 (1999) 以 4 種不同密度 (20, 24, 28, 32 磅/蒲式耳) 的蒸氣壓片高粱完成的兩項研究認為，較低的壓片密度 (較高的處理壓力) 有助於提高澱粉在體外 (*in vitro*) 的可利用性與澱粉的總可利用性，而最大的提升效果是將壓片的密度從 32 磅/蒲式耳減低到 28 磅/蒲式耳。減低壓片密度將線性地降低肉牛的平均每日增重，也線性地提高電力成本。考量反芻動物的性能表現以及電力成本，Swingle 氏等人 (1999) 認為最佳的壓片密度為 28 磅/蒲式耳。Theurer 與其研究夥伴 (1999) 比較 22, 28, 32 磅/蒲式耳的蒸氣壓片高粱，得到澱粉可利用性的研究結果也與 Swingle 氏等人 (1999) 相同。上述 2 篇研究中，蒸氣壓片高粱在瘤胃的澱粉消化率提高到總澱粉採食量的 81%。當被消化的澱粉進入小腸的量減少時，蒸氣壓片高粱的澱粉總消化率也會提高。這些結果與稍早得自 Reinhardt *et al.* (1997) 的報導相近似。

雜交高粱品種對動物性能的影響

已有許多研究探討各種雜交高粱品種之間的差異 (Larrain *et al.*, 2009; McCollough *et al.*, 1972; Maxson *et al.*, 1973; Goldy *et al.*, 1987; Streeter *et al.*, 1990; Pederson *et al.*, 2000)。飼糧中含有超過 65% 的高單寧高粱穀粒，會降低肉牛的生長性能 (Larrain *et al.*, 2009; Maxson *et al.*, 1973)；但高單寧高粱穀粒與玉米混合物餵飼肉牛則可以改善其生長性能 (Larrain *et al.*, 2009)。現今栽種的高粱含有的單寧量較低，因此單寧含量不再是高粱的問題。Streeter 氏等人 (1990) 評估 4 種不同顏色的雜交高粱 (黃色型、乳黃色型、異黃色型與紅色型)，發現乳黃色型的雜交種高粱與玉米有相同的總澱粉消化率，但飼料效率則比其他 3 種雜交高粱差。顯示餵飼不同品種的雜交高粱，所得到的動物生長性能表現也會有所差異。此外，動物生長時所處的環境條件也進一步影響前述的差異。Pederson 氏等人 (2000) 發表一套新的 12 小時體外試驗流程，可用來評估雜交穀物消化時的

參數變化。有助於估算不同品種的雜交高粱或是動物在不同生長環境下餵飼高粱的價值。

藉由加工處理提升高粱穀物的價值

動物研究已經證實，經過加工處理的高粱可以提高其在畜產業的價值。根據近期的研究結果，蒸氣壓片的加熱處理方式，對提升高粱的消化效率而言似乎提供了最佳的解決方案。壓片處理改善高粱中所含的澱粉在反芻動物瘤胃中的消化率並提高總澱粉消化率，因而增加高粱的飼養價值達 12~15%，效果優於乾式滾壓法，對高粱的粗蛋白質消化率同樣也有所改善。理想的壓片密度建議是 28 磅/蒲式耳，如將壓片密度減低到 28 磅/蒲式耳以下，勢必大大地提高能量的耗費。Swingle 氏等人（1999）指出，將壓片密度從 32 磅/蒲式耳減低到 20 磅/蒲式耳，使用的電力會增加 50%；但如將壓片密度從 32 磅/蒲式耳減低到 28 磅/蒲式耳，則只會增加 8% 的使用電力。Reinhardt 氏與其夥伴（1997）指出，如將壓片密度從 28 磅/蒲式耳減低到 22 磅/蒲式耳，電力成本會增加 67%。如果也把反芻動物的性能表現納入考量，Swingle 氏等人（1999）認為最佳的改善結果是將壓片密度從 32 磅/蒲式耳減低到 28 磅/蒲式耳；Reinhardt 氏與其夥伴（1997）則認為減低壓片的密度會使動物的性能表現變差。因此對高粱穀粒而言，最具成本效益的壓片密度就是 28 磅/蒲式耳。

生質高粱酒糟的應用

最近一篇綜整生質穀物副產品（distillers by-products）應用於肉牛飼養的報告（Klopfenstein *et al.*, 2008），指出生質玉米酒糟與生質高粱酒糟對反芻動物的性能表現並無顯著差異。但作者特別提醒，其中有 4 篇研究結果都指出生質玉米酒糟比生質高粱酒糟更具有數據上的效果。吾等在比較生質玉米酒糟與生質高粱酒糟的時候，要留意生質酒糟應來自同一工廠與相同的生產流程，工廠設計與生產流程的差異都會影響生質副產物的飼養價值。其中，只有一篇研究所使用的生質穀物酒糟是由同一工廠所生產（Al-suwaiegh *et al.*, 2002）。當飼糧中含有 15% 乾式或濕式的生質玉米酒糟或生質高粱酒糟，穀物的種類並不會顯著影響動物的採食量、每日增重或飼料利用效率。因為高粱所含的粗蛋白質比玉米高，因此生質高粱酒糟也比生質玉米酒糟含有較高的粗蛋白質。有必要針對生質高粱酒糟進一步探討相關的議題，探討時需要加以考慮的因子包括蒸餾的方法、工廠的生產方式與飼糧的組成等等。

結論

在美國，高粱的飼養價值最常被拿來和玉米做比較。針對飼育場的營養學家所做的調查，多數認為玉米是肥育肉牛最主要的穀物來源。而有 30% 使用高粱作為次要的穀物來源，此點凸顯出在地穀物的可利用性要比動物的性能表現來的重要。由於高粱存有蛋白質-澱粉基質，應用加工方法以改善高粱的飼養價值受到更多的關注。使用水分、加熱與壓力降低高粱穀粒的密度，有助於崩解高粱的蛋白質-澱粉基質，而崩解的澱粉基質有助改善飼料轉換率。蒸氣壓片法提供最佳的改善效果，而理想的壓片密度是 28 磅/蒲式耳。28 磅/蒲式耳的壓片高粱，對飼料效率的改善效果比乾式滾壓高粱多出 12~15%。使用蒸氣壓片高粱餵飼肉牛的性能表現，與餵飼玉米的肉牛比較並無顯著差異。如果使用其他加工方法的高粱與玉米做比較，則有較差的性能表現。以高粱作為玉米的替代性穀物，有助於減少調配飼糧需要額外補充粗蛋白質的量。因為一般而言，高粱所含的粗蛋白質比玉米高出約 10% 左右，而在生產成本中約有 70~80% 是飼料成本。使用高粱獲得最大效益，應該是在降雨量少或者是低灌溉能力的地區。高粱能在這些地區生長與被採收利用，可以取代玉米降低飼養成本與提高飼養效益。許多研究都指出，如果高粱被加工處理得宜，餵飼高粱的動物性能表現將和玉米無異。高粱以 28 磅/蒲式耳的密度壓片，可改善飼料效率而與玉米有相同的飼養價值。餵飼加工過的高粱穀物或是生質高粱酒糟副產物的動物性能表現，被認為與餵飼玉米的飼養效果相近似。

表 1. 比較三種營養標準系統的穀物營養價值

項目	穀物種類	肉牛 NRC ¹	乳牛 NRC ²	Dairy One ³
粗蛋白質，%	高粱	12.60	11.60	10.53
	玉米	9.80	9.40	9.20
	大麥	13.20	12.40	12.22
	小麥	14.20	14.20	13.67
酸洗纖維，%	高粱	6.38	5.90	7.90
	玉米	3.30	3.40	3.63
	大麥	5.77	7.20	7.62
	小麥	4.17	4.40	4.72
NE _m ⁴ , Mcal/lb	高粱	0.91	0.88	0.96
	玉米	1.02	0.93	1.00
	大麥	0.93	0.92	0.89
	小麥	0.99	0.98	0.93
NE _g ⁵ , Mcal/lb	高粱	0.61	0.59	0.65
	玉米	0.70	0.63	0.69
	大麥	0.63	0.62	0.60
	小麥	0.68	0.67	0.63
灰分，%	高粱	1.87	2.00	1.92
	玉米	1.43	1.50	1.55
	大麥	2.40	2.90	2.93
	小麥	2.01	2.00	1.97

¹ 肉牛營養需要量，1996 年版。

² 乳牛營養需要量，2001 年版。

³ Dairy One 芻料實驗室，2010 年版。

⁴ 維持所需淨能。

⁵ 增重所需淨能。

表 2. 五種穀物用於肉牛肥育飼糧的生長性能表現¹

項目	大麥	玉米	高粱	燕麥	小麥
平均每日增重，磅	3.13	3.15	3.06	3.31	3.04
乾物質採食量，磅	19.34 ^b	19.69 ^b	20.79 ^a	20.18 ^{ab}	19.07 ^b
飼料效率（飼料/增重）	6.24 ^b	6.32 ^b	6.88 ^a	6.12 ^{ab}	6.34 ^b

^{a,b} 同一列數值間具有不同上標者，表示差異達顯著水準 ($P < 0.05$)。

¹ 修改自 Owen *et al.*, 1997。

表 3. 不同加工方式的 5 種穀物對肥育肉牛增重速率的影響（磅/日）¹

項目	大麥	玉米	高粱	燕麥	小麥
乾燥滾壓	3.20	3.20 ^a	3.15 ^a	3.38	3.04
高水分處理	-	3.02 ^b	2.84 ^b	-	-
蒸氣滾壓	2.93	3.15 ^a	3.09 ^{ab}	3.26	3.04
全穀粒	3.04	3.20 ^a	-	-	-
重構	-	-	2.89 ^{ab}	-	-

^{a,b} 同一欄數值間具有不同上標者，表示差異達顯著水準 ($P < 0.05$)。

¹ 修改自 Owen *et al.*, 1997。

表 4. 不同加工方式的 5 種穀物對肥育肉牛乾物質採食量的影響（磅/日）¹

項目	大麥	玉米	高粱	燕麥	小麥
乾燥滾壓	19.76	20.84 ^a	23.09 ^a	20.29	19.78
高水分處理	-	19.23 ^b	20.18 ^b	-	-
蒸氣滾壓	18.19	18.41 ^c	19.14 ^c	20.11	17.86
全穀粒	20.51	18.87 ^{bc}	-	-	-
重構	-	-	19.38 ^{bc}	-	-

^{a,b} 同一欄數值間具有不同上標者，表示差異達顯著水準 ($P < 0.05$)。

¹ 修改自 Owen *et al.*, 1997。

表 5. 不同加工方式的 5 種穀物對肥育肉牛飼料利用效率的影響（飼料/增重）¹

項目	大麥	玉米	高粱	燕麥	小麥
乾燥滾壓	6.25	3.57 ^a	7.43 ^a	6.01	6.59 ^a
高水分處理	-	6.43 ^a	7.12 ^{ab}	-	-
蒸氣滾壓	6.19	5.87 ^b	6.33 ^c	6.18	5.92 ^b
全穀粒	6.66	5.95 ^b	-	-	-
重構	-	-	6.75 ^{bc}	-	-

^{a,b} 同一欄數值間具有不同上標者，表示差異達顯著水準 ($P < 0.05$)。

¹ 修改自 Owen *et al.*, 1997。

表 6. 玉米與高粱穀粒的加工方法對肥育肉牛飼料轉換率與平均每日增重的影響¹

加工方法	飼料/增重 1 磅		每日增重 (磅)	
	玉米	高粱	玉米	高粱
乾式滾壓	6.9	7.3	2.65	2.65
蒸氣壓片	6.3	6.5	2.65	2.65
復水處理	6.4	6.3	2.87	2.65
微波、炸裂、爆穀花	-	6.5	-	2.65

¹ 修改自 Theurer, 1986。

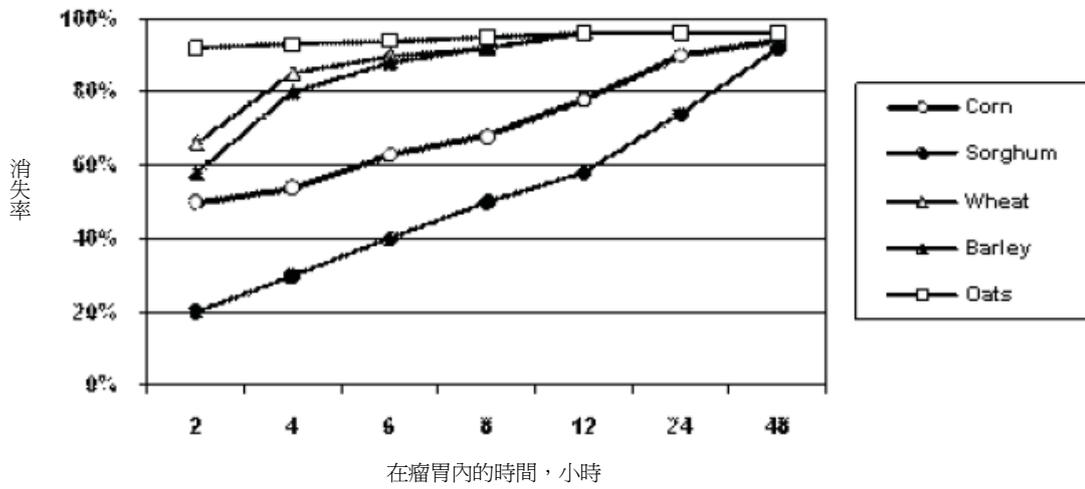


圖 1、五種穀物在瘤胃內的乾物質消失率(修改自 Herrera-Saldana *et al.*, 1990)

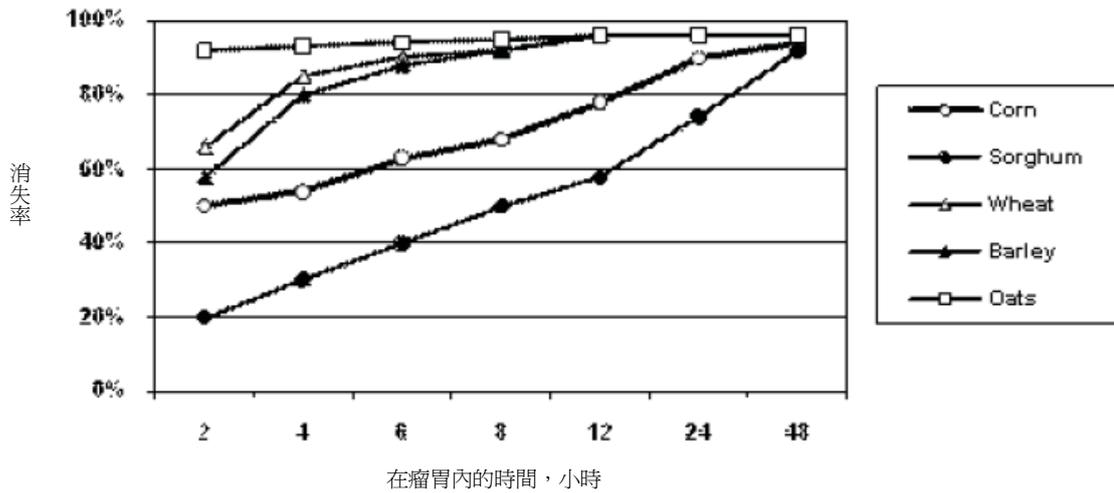


圖 2、五種穀物在瘤胃內的粗蛋白質消失率(修改自 Herrera-Saldana *et al.*, 1990)

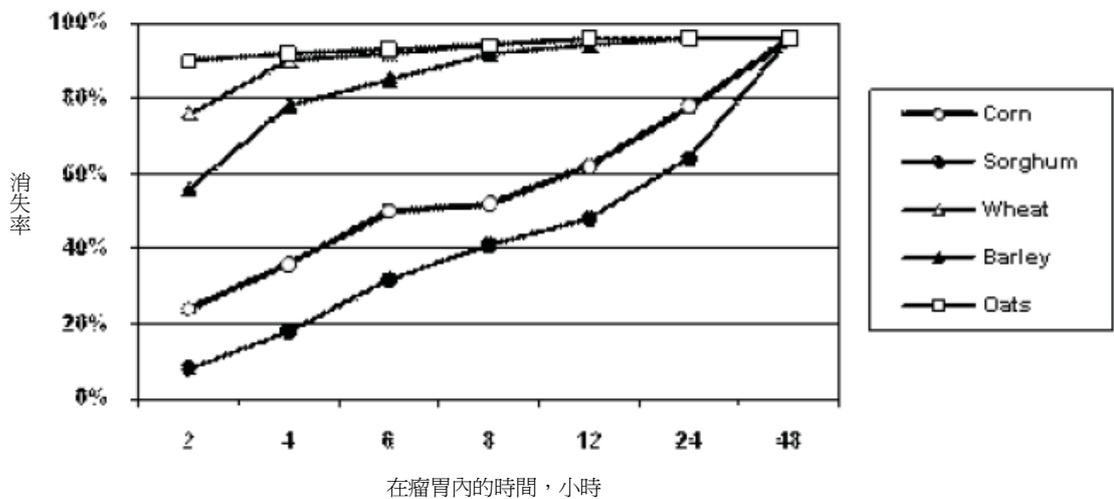


圖 3、五種穀物在瘤胃內的澱粉消失率(修改自 Herrera-Saldana *et al.*, 1990)

參考文獻

- Abdelgadir, I. E. O., and J. L. Morrill. 1995. Effect of processing sorghum grain on dairy calf performance. *J. Dairy Sci.* 78:2040-2046.
- Al-Suwaiegh, S., K. C. Fanning, R. J. Grant, C. T. Milton, and T. J. Klopfenstein. 2002. Utilization of distillers grains from the fermentation of sorghum or corn in diets for finishing beef and lactating dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 80:1105-1111.
- Dairy One Forage Laboratory Feed Sample Data Base. <http://www.dairyone.com/Forage/FeedComp/mainlibrary.asp>, Accessed May 1, 2010.
- Galyean, M. L., and J. F. Gleghorn. 2001. Summary of the 2000 Texas Tech University Consulting Nutritionist Survey.
- Texas Tech University Department of Anim. And Food Sci. Burnett Center Internet Progress Report no. 12. http://www.asft.ttu.edu/burnett_center/progress_reports/bc12.pdf, Accessed May 13, 2010.
- Huck, G. L., K. K. Kreikemeier, G. L. Kuhl, T. P. Eck and K. K. Bolsen. 1998. Effects of feeding combinations of steam-flaked grain sorghum and steam-flaked, high-moisture, or dry-rolled grain sorghum and steam-flaked, high-moisture, or dry-rolled corn on the growth performance and carcass characteristics in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 76:2984-2990.
- 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.
- Klopfenstein, T. J., G. E. Erickson, and V. R. Bremer. 2008. Board-Invited Review: Use of distillers by-products in the beef cattle feeding industry. *J. Anim. Sci.* 86:1223-1231.
- Larrain, R. E., D. M. Schaefer, S. C. Arp, J. R. Claus, and J. D. Reed. 2009. Finishing steers with diets based on corn, high-tannin sorghum, or a mix of both: Feedlot performance, carcass characteristics, and beef sensory attributes. *J. Anim. Sci.* 87:2089-2095.
- Maxson, W. E., R. L. Shirley, J. E. Bertrand, and A. Z. Palmer. 1973. Energy values of corn, bird-resistant and non-bird resistant sorghum grain in rations fed to steers. *J. Anim. Sci.* 37:1451-1457.
- McCullough, R. L., and B. E. Brent. 1972. Digestibility of eight hybrid sorghum grains and three hybrid corns. *Kansas Agric. Exp. Sta. Prog. Rep. Bull* 557:27.
- National Research Council. 1996. Nutrient requirements of beef cattle (7th Rev. Ed.).

- National Academy Press, Washington, DC.
- National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle (7th Rev. Ed.). National Academy Press, Washington, DC.
- Owens, F. N., D. S. Secrist, W. J. Hill and D. R. Gill. 1997. The effect of grain source and grain processing on performance of feedlot cattle: a review. *J. Anim. Sci.* 75:868-879.
- Rahnema, S. H., B. Theurer, J. A. Garcia, W. H. Hale and M. C. Young. 1987. Site of protein digestion in steers fed sorghum grain diets. II. Effect of grain processing methods. *J. Anim. Sci.* 64:1541-1547.
- Reinhardt, C. D., R. T. Brandt, Jr, K. C. Behnke, A. S. Freeman, and T. P. Eck. 1997. Effect of steam-flaked sorghum grain density on milk performance, milk production rate, and subacute acidosis in feedlot steers. *J. Anim. Sci.* 75:2852-2857.
- Richards, C. J., and B. Hicks. 2007. Processing of corn and sorghum for feedlot cattle. *Vet. Clin. Food Anim.* 23:207-221.
- Swingle, R. S., T. P. Eck, C. B. Theurer, M. De la Llata, M. H. Poore, and J. A. Moore. 1999. Flake density of steam-processed sorghum grain alters performance and sites of digestibility by growing-finishing steers. *J. Anim. Sci.* 77:1055-1065.
- Theurer, C. B. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *J. Anim. Sci.* 63:1649-1662.
- Theurer, C. B., O. Lozano, A. Alio, A. Delgado-Elorduy, M. Sadik, J. T. Huber and R. A. Zinn. 1999. Steam-processed corn and sorghum grain flaked to different densities alter ruminal, small intestinal and total tract digestibility of starch by steers. *J. Anim. Sci.* 77:2824-2831.
- Vasconcelos, J. T., and M. L. Galyean. 2007. Nutritional recommendations of feedlot consulting nutritionists: The 2007 Texas Tech University survey. *J. Anim. Sci.* 85:2772-2781.