

淺談如何面對玉米乾酒粕的黴菌毒素污染問題

陳淵國

前言

隨著生質能源產業的蓬勃發展，玉米、黃豆粉的供應量短缺和價位持續上漲的壓力越來越大，來自生產燃料用酒精的副產品-玉米乾酒粕(corn distillers' dried grain with soluble)就成為畜產飼料業的熱門原料。和所有的飼料原料（包括玉米和黃豆粉）一樣，玉米乾酒粕的黴菌毒素污染問題也受到高度的關注，因為玉米乾酒粕來自玉米，如果原料玉米受到黴菌毒素的污染，黴菌毒素的濃度會濃縮三倍而累積在玉米乾酒粕中。對大部份人而言這個原料是陌生的，對於由生產端到末端使用者中間每一個環節都需要嚴格的監控和檢視，才能讓玉米乾酒粕成為主要的大宗飼料原料。黴菌毒素污染的疑慮讓許多業者裹足不前，無法把握玉米乾酒粕相對低價的機會來降低生產成本。業界不斷有傳言玉米乾酒粕含有足以影響禽畜生產黴菌毒素，但是卻沒有直接的證據證明這些受影響禽畜生產案例確實是由玉米乾酒粕的黴菌毒素所造成的。從開始推廣玉米乾酒粕至今，美國穀物協會和相關的產業團體、商業公司都投入相當多的資源來進行玉米乾酒粕黴菌毒素含量的追蹤和監控，整合這些長時間累積的數據可以幫助產業界對整體狀況有進一步的瞭解，並且採取必要且有效的預防與介入措施。

本文不是要探討個別黴菌毒素毒性等學術性的問題，因為有許多國內外專門研究黴菌和黴菌毒素的專家學者可以為這樣的主題提供更深入的見解和更精闢的學術論述。本文的主要目的是要站在畜牧業者和現場技術人員的觀點來探討面對玉米乾酒粕黴菌毒素污染問題的基本態度和適當的決策流程，並且尋求可能預防和改善黴菌毒素問題的管理措施。這些處理黴菌毒素相關問題的邏輯和作業程序不僅可以應用於玉米乾酒粕，對於面對其它飼料原料的黴菌毒素污染問題也是適用的。

黴菌毒素的特性

對很多飼料和畜牧業者來說，黴菌毒素是獨特且十分棘手的問題。面對黴菌毒素的挑戰，許多業者都有杯弓蛇影、風聲鶴唳的感覺，但是想起黴菌毒素所可能帶來的威脅和慘痛教訓，相信大部份的同業和技術人員都有過寢食難安、如芒在背的經驗。黴菌毒素的一些主觀和客觀特性是為我們的產業環境帶來挫折感的主要原因。黴菌毒素有許多特性迥異於我們對疾病或問題來源的傳統觀念；相較於其它動物所面對的疾病病源，黴菌毒素的研究顯然起步較晚，第一個黴菌毒素臨床案例一直到 1960 年才在英國被確認；從此大量的資源投入學術研究，業界也傾全力為飼養體系構築針對黴菌毒素的防火牆。即使在科學昌明的現在，我們對黴菌毒素仍然有很多不瞭解之處；而這些不解之處也常常讓黴菌毒素成為許多畜牧管理缺失的代罪羔羊，把許多找不出原因或不容易追查原因的問題歸咎於黴菌毒素是暫時解決爭議最好的方法；久而久之，黴菌毒素也成為許多技術人員的

避風港，當用盡所有處理黴菌毒素的方法而問題仍然存在時，就會讓所有相關的人員陷入「不問蒼生，問鬼神」的迷惑當中。

黴菌毒素是由大自然界種類繁多的黴菌所產生的，許多黴菌都可能產生一種以上的黴菌毒素，但是黴菌的存在並不代表一定會有黴菌毒素產生；反之，有些檢體雖然分離不到活的黴菌卻有黴菌毒素存在。黴菌雖然是結構和生存、繁殖需求都很單純的生物，但是黴菌毒素的存在卻是散發性的，發生的頻率偏高卻又無規律性可循；某種黴菌毒素的濃度也不一定是一般生物界的對稱性常態分佈，而是呈現正偏態分佈（positively skewed distribution）。有充分的科學證據證實當多種黴菌毒素同時存在的情況下，某些毒素對動物的負面影響有「協同作用

（synergistic effect）」，也就是說多種黴菌毒素共存所造成的傷害比個別毒素作用的總和還嚴重；至於不同的黴菌毒素之間存在「拮抗作用(antagonistic effect)」的可能性是否存在是科學界完全未知的領域。另外一個顧慮是有些黴菌毒素會和植物、微生物、或產生黴菌毒素的黴菌形成化學結構的結合，造成一般檢驗方法無法有效的檢出這些黴菌毒素的存在，但是這些毒素在動物體內消化的過程確很輕易的釋出，對動物造成嚴重的傷害。每一種黴菌毒素對不同的動物的毒性並不完全相同，例如伏馬鐮孢毒素 (fumonisins)對家禽的影響顯然比對豬隻的影響小。反芻動物因為有瘤胃微生物作為抵抗黴菌毒素入侵的第一道防線，所以整體而言，反芻動物能夠比其它禽畜承受比較高量的黴菌毒素；但是也有研究證實瘤胃微生物代謝玉米赤黴醇(zearalenone)所產生的 α 或 β -zearalenol具有更強的毒性。所有的動物都會用自己的防禦系統(如：免疫系統)來對抗黴菌毒素的侵害，對抗的過程中動物的防禦系統受到一定程度的傷害可能在所難免，如果黴菌毒素的量不多，動物只是犧牲部份的防禦能力，但對於生產和繁殖性狀或免疫能力未必有所影響；如果黴菌毒素的量超過動物所能夠處理的範圍，整個防禦體系崩潰就會出現嚴重的臨床症狀。除非臨床症狀非常明顯，要明確診斷黴菌毒素對動物所造成的影響並不是很容易的事。因此長期低濃度的黴菌毒素侵擾到底會為動物造成什麼影響就是一個非常值得深思的問題！

評斷黴菌毒素問題存在的標準？

從畜牧生產的角度來看，嚴格控管黴菌毒素進入生產體系有兩個層次的意義，飼養者當然希望儘量降低黴菌毒素對動物健康和生產績效所造成的負面影響，但是更重要的是要排除黴菌毒素在所有畜產品殘留的可能性；因為畜產品的最終消費者(人類)的健康才是我們最在意的。就食物鏈的結構而言，人類似乎利用畜產動物作為過濾黴菌毒素進入人類食物擋箭牌；反之，畜產動物也可能是濃縮和累積大量黴菌毒素而傷害人類的途徑。因此評斷黴菌毒素問題存在的首要標準就是我們所生產的畜產品是否有黴菌毒素的殘留問題？黴菌毒素的攝入量、動物對各種黴菌毒素的吸收率和代謝路徑都是影響畜產品是否會有黴菌毒素殘留的因素。黴菌毒素對動物所造成的傷害主要是透過下列幾種機制：

1. 減少動物的採食量，甚至於完全拒食。
2. 改變飼料、草料的營養成份，進而影響營養分的吸收和代謝。
3. 干擾動物內分泌(endocrine)和外分泌(exocrine)系統的正常運作。
4. 抑制免疫系統的功能。

因此，動物的生產性狀、繁殖性狀、和疾病抵抗力的表現應該是評斷黴菌毒素問題是否存在的另一個重要的標準。大部份研究人員都同意，單純以黴菌毒素感染的臨床症狀作為判斷黴菌毒素問題存在的標準是不合理，因為動物長期接觸低量黴菌毒素所產生的慢性效應可能導致其它疾病的感染，而非典型的黴菌毒素感染症狀。所以畜牧管理人員的最佳策略是為所經營的動物生產事業建立生產性狀、繁殖性狀、和疾病抵抗力的合理標準，並且長期紀錄、分析和監控這些性狀的表現是否在合理的範圍內，如果經營的績效偏離正常值，則黴菌毒素是絕對必需去詳細追究的可能原因之一，但也不必然是唯一的可能性。

以聯合國糧農組織(FAO)和世界衛生組織(WHO)的專家小組為師

聯合國糧農組織(FAO)和世界衛生組織(WHO)為了防堵黴菌毒素經由食物鏈進入食品中，透過許多持續不斷的科學研究計劃，整合全世界不同專長的科學家為飼料和糧食的黴菌毒素問題提供專業的建言。聯合國糧農組織的專家小組每十年會將該段期間的研究新發現整合到原有的資訊中，同時舉辦例行的國際技術研討會並出版專家建言的刊物；目前可以參考的出版文獻是在 1999 年的研討會(Third Joint FAO/WHO/UNEP International Conference on Mycotoxins)後所出版的，如果按照以往的慣例，2009 年將會有更新的資訊可供參考。此外聯合國糧農組織也在 2001 出版以危害分析重要管制點系統來預防控制黴菌毒素的操作手冊(Manual of the application of the HACCP system in mycotoxins prevention and control)。不論面對任何一種飼料原料或食品，這些權威專家所提供的邏輯和處理程序都是最值得參考和遵循的。當然在面對玉米乾酒粕的黴菌毒素污染問題時，也遵循這些專家建言的指導原則。這兩份出版品的電子檔都可以在網路搜尋下載。

面對玉米乾酒粕的黴菌毒素污染問題

一、 危害分析

玉米乾酒粕的黴菌毒素可能來自受污染的原料玉米或是在運輸貯存過程孳生黴菌所造成的；從美國以貨櫃裝運，經歷海上長途的運輸，抵達台灣後又必須在高溫多溼的環境中貯存，就像許多在熱帶環境使用的飼料原料一樣，玉米乾酒粕被黴菌毒素污染的可能性是存在的。從危害分析的角度來看我們需要瞭解幾個問題：

1. 到底有多少比例的玉米乾酒粕會含有黴菌毒素？
2. 被污染的玉米乾酒粕所含的黴菌毒素種類和含量？
3. 如果被污染的玉米乾酒粕以最高的比例混合在不同動物的日糧中，最終

日糧的黴菌毒素是否會超過各種動物日糧的安全範圍？會造成何種程度的負面影響或損失？

為了確實了解由美國進口到台灣的玉米乾酒粕是否含有黴菌毒素？在推廣的初期(2003 年)即先行進行進口玉米乾酒粕的採樣篩檢 (【表一】)，初步的篩檢結果並未發現最令人擔憂的黃麴毒素，但是有微量的嘔吐毒素和伏馬鐮孢毒素存在，但是都不足以影響動物的健康和表現。

【表一】美國玉米乾酒粕黴菌毒素篩檢結果。

黴菌毒素種類	可檢出下限	檢驗方法	檢出量 ¹
黃麴毒素 B1	1.0 ppb	HPLC	1.0 ppb
黃麴毒素 B2	1.0 ppb	HPLC	ND
黃麴毒素 G1	1.0 ppb	HPLC	ND
黃麴毒素 G2	1.0 ppb	HPLC	ND
嘔吐毒素	0.1 ppm	TLC	0.2 ppm
15 Acetyl-嘔吐毒素	0.1 ppm	TLC	ND
3 Acetyl-嘔吐毒素	0.1 ppm	TLC	ND
玉米赤黴醇	100 ppb	HPLC	ND
伏馬鐮孢毒素 B1	0.2 ppm	HPLC	0.5 ppm
伏馬鐮孢毒素 B2	0.2 ppm	HPLC	ND
伏馬鐮孢毒素 B3	0.2 ppm	HPLC	ND

¹ND 代表未檢出。

業界朋友最關心的問題是到底禽畜能夠耐受多少黴菌毒素？這是所有學術界和現場技術人員最不願意碰觸的問題，因為每個人的看法見仁見智，而且我們對許多種黴菌毒素和它們之間的交互作用並未完全瞭解。但是相關權責單位(例如:聯合國糧農組織和美國食品藥物管理局)仍然根據目前已知的健全科學證據做出最好的飼料和飼料原料黴菌毒素的容許上限建議。以美國食品藥物管理局(U.S. Food and Drug Administration)所作的建議為例，該機構訂定的標準並非各種黴菌毒素的耐受標準(tolerance levels，某種毒素的含量如果超過此一建議量即違反相關法令，該批原料將被禁止使用)，而是為黃麴毒素訂定了行動標準(action levels)、為伏馬鐮孢毒素訂定了輔導標準(guidance levels)、和為嘔吐毒素訂定了建議標準(advisory levels)；針對玉米赤黴醇和T-2 毒素並未訂定具體標準。【表二】列出可供參考的各黴菌毒素在禽畜飼料或飼料原料的最高行動、輔導、或建議濃度上限(資料來源：<http://www.fda.gov/cvm/fdaaustintx823.htm>；Osweiler G.D. (1996) Toxicology. The National Veterinary Medical Series, William & Wilkins, Media, PA:409ff)。各種黴菌毒素在不同禽畜日糧的可能危害濃度可參考下列網站

(<http://www.oardc.ohio-state.edu/ohiofieldcropdisease/Mycotoxins/mycopagedetrimental.htm>)。

【表二】黴菌毒素在玉米、玉米副產品、和禽畜飼料的最高行動、輔導、或建議濃度(ppb)上限。

	黃麴毒素 ¹ B1B2G1G2	伏馬鐮孢毒素 ² B1B2B3	嘔吐毒素 ³	玉米赤黴醇 ⁴
幼畜、幼禽	20	10,000	5,000(2,000)	
種豬	100	20,000	5,000(1,000)	
-女豬				<1,000
-母豬				<3,000
-年輕公豬				<20,000
-成年公豬				<25,000
成豬(45kg 以上)	200	20,000	5,000(1,000)	
肉用成禽	100	100,000	10,000(5,000)	
種禽、蛋雞	20	30,000	5,000(2,000)	
乳用動物	20	30,000	5,000(2,000)	
-女牛				<10,000
肉用種牛	100	30,000	10,000(5,000)	
肉用牛	300	60,000	10,000(5,000)	

¹FDA 行動標準(action levels)。

²FDA 輔導標準(guidance levels)，原料使用量不得超過總日糧的 50%。

³FDA 建議標準(advisory levels)，括弧中的數值為日糧的建議濃度。

⁴ Osweiler G.D. (1996) Toxicology. The National Veterinary Medical Series, William & Wilkins, Media, PA:409ff。日糧的建議濃度。

上述的標準雖然讓我們瞭解到動物在面對黴菌毒素時不是真的那麼脆弱，但是仍然需要考慮 1)動物長期攝入黴菌毒素的效應、2)多種黴菌毒素並存所造成的協同效應、和 3)許多未知、未列入或不易檢出的黴菌毒素；因此，在田間的實務操作需要使用更嚴謹的標準，通常以黴菌毒素毒研究結果的「未發現負面效應濃度 (No-Observed-Adverse-Effect-Level, NOAEL)」除以某個安全係數值 (5、10 或 100) 以確保動物的安全。以豬隻的日糧為例，常用的建議標準是黃麴毒素(< 20ppb)、伏馬鐮孢毒素(< 1,000ppb)、嘔吐毒素(< 1,000ppb)、玉米赤黴醇(< 500ppb)。將最終日糧的黴菌毒素濃度控制在這個標準之下，禽畜的生產應該是十分安全的，因為這個標準已經遠低於可能造成危害的濃度。

二、重要管制點的監控

為了確實了解由美國進口到台灣的玉米乾酒粕到底在那一個環節可能被黴菌毒素污染，多個產業團體與非營利機構共同贊助一項由公正化驗單位所進行的黴菌毒素監控計畫，希望能藉此監控計畫為台灣的業者提供最詳實的化驗結果，作為使用與採購玉米乾酒粕的判斷依據。監控計畫共分為兩期，第一期由 2006 年的 10 月至 12 月，第二期由 2007 年的 5 月至 7 月。在此將分析監控結果與業界賢達共同分享。監控計畫設計與執行如下：

1. 採樣：在第一期計畫執行期間分別由 A)7 家美國的酒精生產工廠、B) 美國出口港口的貨櫃(11 個樣品)、C)台灣進口港口的貨櫃(11 個樣品)，逢機採集美國玉米乾酒粕的樣品。第二期計劃則在美國出口港口和台灣進口港口追蹤採樣 12 個玉米乾酒粕的運輸貨櫃。
2. 採樣與化驗機構：所有採集的樣品全部送至美國愛荷華大學(Iowa State University)獸醫學院的獸醫診斷試驗室(Veterinary Diagnostic Lab)進行黴菌毒素的化驗分析；分析計畫執行由 Paula Imerman 博士主持。
3. 化驗分析：分析項目包括：黃麴毒素(Aflatoxins)、玉米赤黴醇(F-2 toxin or Zearalenone)、嘔吐毒素(Vomitoxin, Deoxynivalenol, DON)、T-2 毒素(T-2 toxin)、伏馬鐮孢毒素(Fumonisin)。所有樣品精粹取後，先以薄層層析法(Thin Layer Chromatography)進行篩檢，發現含有足以定量黴菌毒素的樣品再用高效能液相層析儀(High Performance Liquid Chromatography, HPLC)或氣相層析法(Gas Chromatography, GC)定量各種黴菌毒素的含量，最後再以液相層析質譜儀(Liquid Chromatography/Mass Spectrometer, LC/MS)或氣相層析質譜儀(Gas Chromatography/Mass Spectrometer, GC/MS)來確認分析所得的個別黴菌毒素。
4. 第一期分析結果詳列於【表三】。第一期監控計畫並未發現美國的玉米乾酒粕含有黃麴毒素、玉米赤黴醇、或 T-2 毒素。少數樣品測出含有低劑量的嘔吐毒素或伏馬鐮孢毒素，但並未達到影響禽畜生產的濃度。美國的玉米乾酒粕在貨櫃運輸途中並沒有造成黴菌毒素的增加。
5. 第二期監控計畫追蹤 12 個運輸貨櫃的美國玉米乾酒粕，不論是由啟運港口採樣或到達台灣港口採樣均未發現嚴重的黃麴毒素 (< 10 ppb)、玉米赤黴醇(< 1 ppm)、T-2 毒素 (< 2 ppm)、或嘔吐毒素 (< 1 ppm)；但是所有樣品均發現有伏馬鐮孢毒素(Fumonisin)存在(【表四】)，而且該毒素在貨櫃運輸的過程有顯著的增加 ($P < 0.05$)。

【表三】台灣進口美國玉米乾酒粕運輸過程黴菌毒素監控計劃分析結果(第一期)。

黴菌毒素種類	酒精工廠		美國出口港口		台灣進口港口	
	最低值	最高值	最低值	最高值	最低值	最高值
黃麴毒素 (Aflatoxins)	NDA (<10ppb)		NDA (<10ppb)		NDA (<10ppb)	

))	
玉米赤黴醇 (Zearalenone)	NDA (<1ppm)		NDA (<1ppm)		NDA (<1ppm)	
嘔吐毒素 (Vomitoxin)	NDA (<1ppm)	3.4ppm				
T-2 毒素 (T-2 toxin)	NDA		NDA		NDA	
伏馬鐮孢毒素 (Fumonisin)	1.8ppm	2.9ppm	1.0ppm	2.4ppm	NDA	2.0ppm

NDA: no detectable amount 沒有明顯可測得的含量。

【表四】台灣進口美國玉米乾酒粕運輸過程伏馬鐮孢毒素含量的變化。

貨櫃編號	美國啟運港口樣品 (ppm)	台灣到港貨櫃樣品 (ppm)
1	1.0	2.4
2	0.9	0.4
3	0.9	2.0
4	1.4	1.5
5	1.0	1.0
6	0.6	1.5
7	0.8	1.2
8	0.5	1.6
9	1.2	1.6
10	1.1	1.4
11	0.6	2.1
12	0.9	1.4
平均值*	0.91	1.51

*Paired t-test $P = 0.006$

三、美國玉米乾酒粕在台灣的保存性試驗

深入了解玉米乾酒粕在台灣高溫多溼環境下的保存性，並且嚴格篩檢黴菌毒素存在與否是必要的品管程序。為監控美國玉米乾酒粕在台灣貯存的安定性，分別進行袋裝和散裝的玉米乾酒粕保存性試驗。

試驗一

玉米乾酒粕自美國用 40 呎的貨櫃運送，抵達台灣後再以 50 公斤有塑膠襯裡的袋子重新裝袋，儲放在鐵皮屋頂飼料倉庫中。每週從儲存的玉米乾酒粕中隨機取樣，以 HPLC 或 TLC 分析黴菌毒素含量 (Romer Labs, Union, MO)。

試驗期間最高與最低環境溫度為 32.4°C 和 17.1°C，平均溫度為 25.4°C；最高與最低環境溼度分別 99.5% 和 41.2%，平均溼度為 79.9%；試驗期平均溫溼度指數高達 75.6；黴菌毒素的分析結果詳見【表五】。在所有檢測的黴菌毒素方面，只發現極微量（低於可檢出下限）的玉米赤黴醇(Zearalenone)毒素，且其含量並沒有因為 10 週的貯存而顯著增加，這樣微量的黴菌毒素對動物並不構成威脅。

【表五】經 10 週貯存後，袋裝美國玉米乾酒粕的黴菌毒素變化。

分析項目	可檢出下限	檢驗方法	第 1 週 ¹	第 10 週 ¹
黃麴毒素 B1	1.0 ppb	HPLC	ND	ND
黃麴毒素 B2	1.0 ppb	HPLC	ND	ND
黃麴毒素 G1	1.0 ppb	HPLC	ND	ND
黃麴毒素 G2	1.0 ppb	HPLC	ND	ND
T-2 毒素	0.1 ppm	TLC	ND	ND
嘔吐毒素	0.1 ppm	TLC	ND	ND
15 Acetyl-嘔吐毒素	0.1 ppm	TLC	ND	ND
3 Acetyl-嘔吐毒素	0.1 ppm	TLC	ND	ND
玉米赤黴醇	100 ppb	HPLC	56*	64*
伏馬鐮孢毒素 B1	0.2 ppm	HPLC	ND	ND
伏馬鐮孢毒素 B2	0.2 ppm	HPLC	ND	ND
伏馬鐮孢毒素 B3	0.2 ppm	HPLC	**	**

¹ND 代表未檢出。

* 可檢出下限為 100 ppb，但有足以估算毒素量的波峰出現，以出現波峰估算之。

** 使用 Immunoaffinity column，未能檢出 fumonisin B3。

試驗二

玉米乾酒粕自美國以貨櫃運抵台灣後，貯存在中部某飼料廠之散裝原料貯存桶中，自 2004 年三月中旬起，每一週由貯存桶隨機採樣，以 HPLC 或 TLC 分析黴菌毒素含量 (Romer Labs, Union, MO)，試驗期共 13 週。

貨櫃抵達飼料廠時所採的玉米乾酒粕樣品水份含量只有 9.05%，經過 13 週的貯存，水份含量逐漸增加到 12.26% (【表六】)，可見玉米乾酒粕在高溫多溼的環境下的散裝桶貯存會吸收環境中的水份；但是，粗蛋白質含量在貯存期間並沒有顯著的改變。本試驗所用的玉米乾酒粕未發現黃麴毒素 (aflatoxin)，但是含有約 100ppb 的玉米赤黴醇毒素，並沒有達到對動物構成威脅的程度；這些黴菌毒素在 13 週的貯存過程並沒有增加。這個結果意謂著含可溶物乾燥玉米酒粕在台灣飼料廠散裝桶中貯存沒有孳生黴菌和黴菌毒素污染的問題。

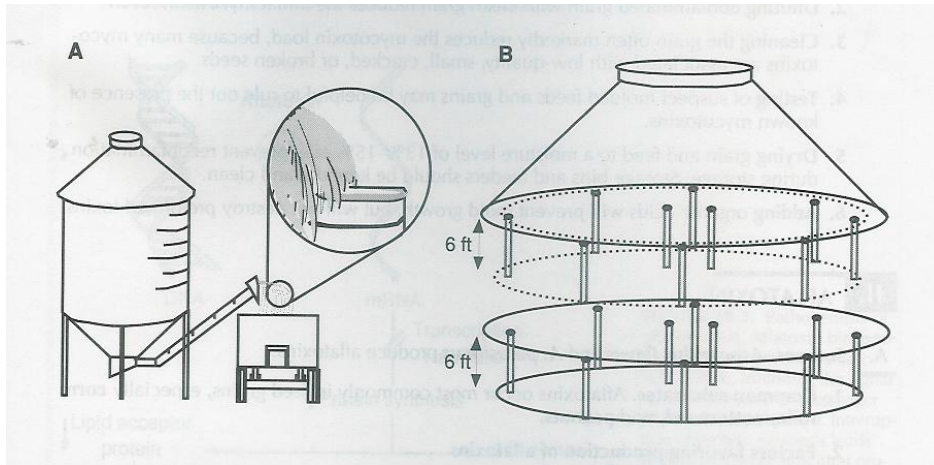
【表六】美國玉米乾酒粕在台灣飼料廠散裝貯存桶存放 13 週期間水份、粗蛋白質和黴菌毒素含量的變化。

採樣日期	水份, %	粗蛋白質, %	黃麴毒素, ppb	玉米赤黴醇, ppb
16-Mar-04	9.05	27.60	0.00	98
17-Mar-04	10.17	27.61	0.00	101
24-Mar-04	10.65	27.59	0.00	104
31-Mar-04	10.70	27.63	0.00	96
7-Apr-04	10.71	27.62	0.00	105
14-Apr-04	10.76	27.73	0.00	106
21-Apr-04	10.93	27.71	0.00	102
28-Apr-04	11.02	27.62	0.00	100
5-May-04	11.28	27.54	0.00	104
12-May-04	11.16	27.61	0.00	101
19-May-04	11.70	27.63	0.00	103
27-May-04	11.88	27.61	0.00	104
3-Jun-04	12.13	27.50	0.00	106
10-Jun-04	12.26	27.53	0.00	105

上述的試驗結果證實美國玉米乾酒粕水份含量很低，即使在高溫多溼的環境下貯存 10-13 週，不論散裝或袋裝，只要保存方式正確，都能保持品質的安定，也不會有黴菌和黴菌毒素污染的問題。只要在進貨時定期篩檢黴菌毒素，台灣的禽畜飼糧可以安心的使用美國進口玉米乾酒粕。

四、 採樣和分析

採樣和分析雖然耗費時間和金錢，卻是面對黴菌毒素問題的基礎步驟。黴菌毒素的通常不是均勻分佈的，而且其存在濃度偏低(ppm 或 ppb)，這些特性增加採樣的困難，而且採樣造成的誤差可能大於實驗室分析所造成的誤差；因此，採集一個可以反映該批原料實際狀況的樣品是非常重要的。採樣動作最好在原料裝卸時，在原料流動的某一定點依一定的時間間隔採取小量樣品（【圖一 A】），再將所採的所有小樣品均勻混合，每一卡車的原料應採約 2 公斤。如果在貨櫃或穀倉中進行採樣，應該用採樣器在貯存倉內的不同位置進行多次採樣（【圖一 B】），再將所採的所有小樣品均勻混合送驗。



【圖一】採樣方法。(摘取自 Osweiler G.D. (1996) Toxicology. The National Veterinary Medical Series, William & Wilkins, Media, PA:409ff。)

在選擇定量玉米乾酒粕黴菌毒素的分析方法方面必需十分小心，目前被認可用來測定玉米乾酒粕黴菌毒素的方法只有高效能液相層析法(high performance liquid chromatography, HPLC)和薄膜層析法 (thin layer chromatography, TLC)。用其它的分析方法，例如：酵素免疫分析法 (ELISA) 來檢驗玉米乾酒粕的黴菌毒素時經常造成偽陽性 (false positive) 的結果；這個現象在使用 ELISA 分析其它穀物或穀物副產品的黴菌毒素時並沒有發現；至於為什麼只有在檢驗玉米乾酒粕的黴菌毒素時才有這個問題，目前仍然不是很清楚，有人認為可能是玉米乾酒粕所含的鹽類干擾了 ELISA 的檢驗程序；也有生產 ELISA 的廠商宣稱已克服這個問題，深切的希望技術上的突破可以讓 ELISA 應用在玉米乾酒粕的黴菌毒素篩檢。總之，在新的方法完成測試認可程序之前，最保險的選擇還是使用 HPLC 和 TLC 來檢驗玉米乾酒粕的黴菌毒素含量。

根據美國食品藥物管理局的指導手冊，玉米乾酒粕所需化驗的黴菌毒素依照優先順序分別為 1) 黃麴毒素和伏馬鐮孢毒素、2) 玉米赤黴醇、3) 嘔吐毒素、4) 赭麴毒素。針對豬飼料所需化驗的黴菌毒素依照優先順序分別為 1) 玉米赤黴醇和嘔吐毒素、2) 赭麴毒素、3) 黃麴毒素和伏馬鐮孢毒素。針對牛和家禽飼料所需化驗的黴菌毒素依照優先順序分別為 1) 黃麴毒素、2) 玉米赤黴醇、3) 赭麴毒素、4) 嘔吐毒素和伏馬鐮孢毒素。

五、 黴菌毒素的預防(prevention)與介入(intervention)措施

面對飼料原料黴菌毒素問題最好的策略就是把黴菌毒素擋在禽畜的體外。因為玉米乾酒粕來自美國，我們所能採取的預防介入措施只能從篩檢酒精工廠的產品品質開始逐步檢討裝載、運輸、卸貨，在台灣的倉儲、飼料製造過程、運輸、及餵飼系統的管制與執行，這些程序都是執行良好畜牧管理的一環。

1. 酒精工廠的可能介入措施

在酒精工廠嚴格篩檢玉米原料的黴菌毒素含量是最有效的介入措施。前

述的監控資料認為黴菌毒素的含量在貨櫃運輸過程有增加的現象（【表四】），所以有些措施必需由酒精工廠著手進行改善。如果酒精工廠的貯存空間相當有限，有時候會把未完全冷卻的玉米乾酒粕直接裝入貨櫃或運輸車輛中；在玉米乾酒粕製程中，可溶物被濃縮到約 50% 乾物質，然後在乾燥之前再噴入酒粕中；雖然一般玉米乾酒粕的水份含量平均都低於 11%，應該很適合運輸和貯存；但是玉米乾酒粕的組成物質之間的水份含量差異是實際存在的，因為可溶物的部份保水性比較好，所以乾燥過程中當酒粕固形物部份的水份含量已經低於 10-11% 時，可溶物部份的水份含量可能仍在 15-18% 之間；離開乾燥機之後，這兩部份的水份含量必需相互平衡；如果直接放入密閉空間，可能在水份還沒完全平衡之前就已經嚴重架橋現象，也造成水份的局部累積，大大的提高了黴菌滋生的機會；因此避免將未完全冷卻的玉米乾酒粕直接裝入貨櫃是必要的管控措施。此外，在玉米乾酒粕裝櫃時添加抑制黴菌的添加劑(例如：丙酸)也是可以考慮的介入措施。

2. 玉米乾酒粕的黴菌毒素篩檢

因為一般的飼料廠和畜牧場只有 ELISA 的快速檢驗套組作篩檢，偏偏這個方法並不適用於玉米乾酒粕；因此，由相關推廣單位結合學術機構進行客觀的長期監控，再將數據整合提供業界參考是必要，前述的管制點監控計劃就是落實這個理念的具體行動。未來累積足夠樣品分析數值之後，可以計算出各種黴菌毒素可能超出安全範圍的機率，讓業界在使用玉米乾酒粕時能有客觀的風險評估。業界的商業機構也投入大量資源來協助玉米乾酒粕的黴菌毒素追蹤監控，如果比對這些採自現場末端使用者的樣品分析數據發現有高於前述監控樣品的黴菌毒素含量，就應該採取行動來面對玉米乾酒粕抵台之後所產生的黴菌毒素汙染問題。

3. 控制玉米乾酒粕的水份含量

一般原物料的水份含量在 12-12.5% 時可以維持最佳保存狀態，比較不會發黴。大部份的玉米乾酒粕水份含量都偏低，但是在台灣高溫多濕的環境貯存也會或多或少吸收空氣中的水份（【表六】），因此要小心管控玉米乾酒粕的水份含量。有些設備完善的大型貯存槽有通氣散熱設備，可以減少物料的水份累積；但是小型的貯存桶就不容易控制，曝曬在強烈陽光下的貯存桶常常會造成水份的局部累積，引起嚴重的發黴現象。因此，為貯存桶加蓋防晒遮蔽物是必要的措施。

4. 完善的倉儲、運輸管理

- i. 定期檢查維修貯存、輸送、和運輸設施，避免發生破損的情形發生。
- ii. 定期淨空貯存設備，進行清洗與消毒以減少殘留黴菌的污染。
- iii. 輸送與運輸設備也需定期的清洗和消毒。
- iv. 嚴謹的物料管理，縮短原物料在廠(場)的停留時間。

5. 牧場的餵飼系統管理
牧場使用的飼料車、自動給飼系統、完全混合日糧混合車都需要依照既定時程進行清洗維修。水槽和飲水設備也需定期清洗。
6. 徹底執行良好的畜牧管理，減少動物的緊迫。

六、如何處理已被黴菌毒素污染的玉米乾酒粕

玉米乾酒粕和其它的飼料原料一樣經常會含有微量的黴菌毒素，偶而也會有嚴重的污染案例出現；面對黴菌毒素嚴重污染的玉米乾酒粕最好的策略是丟棄該原料。對於低劑量污染的玉米乾酒粕可以利用下列公式推算其在日糧的適當使用比例（假設日糧的其它原料的黴菌毒素低於最低可檢出量），以確保最終混合的日糧所含的黴菌毒素含量在安全範圍內：

$$F = 100 \times (C - L) / (H - L)$$

F: 該受污染原料可用於總日糧的百分比。

C: 總日糧的預期該毒素安全濃度上限。

L: 日糧的其它原料該黴菌毒素最低可檢出量。

H: 受污染原料該黴菌毒素的濃度。

實例研討：

以上述台灣進口美國玉米乾酒粕運輸過程黴菌毒素監控計劃第二期分析結果（【表四】）的伏馬鐮孢毒素為例：C=1.0，L=0.2，H=1.51(平均值)或2.4(最高值)。玉米乾酒粕在日糧的最高使用比例為：

$$F = 100 \times (1.0 - 0.2) / (1.51 - 0.2) = 61.1\%$$

$$F = 100 \times (1.0 - 0.2) / (2.4 - 0.2) = 36.4\%$$

一般禽畜日糧使用玉米乾酒粕都不會超過 20%，所以只要其它的原料未受到嚴重的污染，這樣的伏馬鐮孢毒素濃度應該不會影響禽畜的生產效率。

添加黴菌毒素吸附劑或分解劑也是解決玉米乾酒粕黴菌毒素問題常用的策略。使用這些添加劑需要考慮 1)那一種添加劑對所需處理的黴菌毒素種類最有效，2)正確的添加量，3)評估添加效果的標準，4)成本效益。

結論

黴菌毒素是相當棘手的問題。在原物料高漲的時代，為了要利用玉米乾酒粕來降低生產成本，畜牧、飼料業者需要深入了解玉米乾酒粕黴菌毒素含量的實際情形，作為決策的依據；玉米乾酒粕的黴菌毒素監控計劃必需有長期的規劃和執行，以提供業界更完整的資訊；良好的畜牧和物料管理是減少黴菌毒素所造成的負面效應最基本的條件。黴菌毒素雖然可怕，只要能知己知彼，還是可以有效的管控黴菌毒素的傷害，讓畜牧生產的效率再提昇。