U.S. GRAINS COUNCIL

DDGS 導入豬隻飼糧之教戰手冊

Precision DDGS Nutrition

第四版 • 譯本

翻譯單位：財團法人 中央畜產會 NATIONAL ANIMAL INDUSTRY FOUNDATION

目　　錄

章　節	內　容	頁數
第 1 章	美國含可容物玉米乾酒粕(DDGS)，在精準動物營養，以及全球人口永續餵養所扮演的角色--------	1
第 11 章	DDGS 的飼料安全----------	3
第 21 章	在豬隻飼糧中使用減油 DDGS----------	10

~ 第 1 章 ~

美國含可溶物玉米乾酒粕（DDGS）在精準動物營養，以及全球人口永續餵養所扮演的角色

我們生活在一個充滿挑戰的世界。這些挑戰當中，其中一項最艱鉅的挑戰或許是開發和實施新的方法和技術，為不斷成長的全球人口提供充足的營養，以及安全、負擔得起的食物，同時保護自然資源並盡可能減少對環境的負面影響。到 2050 年，全球對食品的需求預計將增加 60%，而全球不斷成長的中產階級消費者，對肉類、牛奶和雞蛋的需求會隨之增加 (Alexandratos 與 Bruinsma，2012)。幸運的是，食用動物產量預計將在未來 10 年內增加，佔全球農業產值的 50% (聯合國糧食及農業組織，2008)。然而，為滿足此需求，參與食品生產鏈的所有人，都必須開發和實施新技術，以提高食品生產的數量和效率。目前已開發許多結構變化和新的動物營養和生產創新，並在全球各地的食用動物生產系統中實施。新的「精準動物營養」創新正在加速發展，以因應落實糧食安全、食品安全和環境永續性的挑戰。「精準動物營養」的目標是提高熱量和營養效率，將飼料原料中存在的能量和營養物質，轉化為高品質的動物源性食品。

全球飼料工業在全球人口永續餵養方面扮演重要角色。全球 130 多個國家的全球年飼料產量將近有 10 億噸 (國際飼料工業聯盟，2016)。雖然動物飼料的主要原料是玉米、高粱、小麥和大麥等各種飼料穀物，但全球飼料產業使用的絕大多數飼料原料，是來自各種農業和食品產業的副產品，無法供人類食用，但可用在動物飼料中，提供寶貴的能量和基本營養素。因此，飼料產業利用這些營養來源，生產大量的高品質動物源性食品，藉此在「回收」營養、獲取經濟價值、改善糧食安全及盡可能減少對環境的負面影響方面，扮演至關重要的角色。

與全球農業是否能永續餵養全球人口相關的爭議性話題之一，便是「食物與燃料之辯論」。這場爭論是指將一部分穀物和含油種子改用於生產生物燃料，而不用於動物飼料和人類食品。然而，全球糧食總產量中，只有 6% 用於生產

乙醇 (Popp 等人，2016)，乾式磨碎乙醇產業中，用於生產乙醇的玉米中，約有 33% 作為副產品回收用於動物飼料。因此，儘管使用玉米生產乙醇的需求增加，所有非澱粉成分都遭回收並濃縮 (約三倍) 用於副產品中 (相較於這些營養素在玉米穀粒中的濃度)，並用於大量取代動物飼料中的玉米和大豆粕。

全球生物燃料產業生產約 5,200 萬噸用於動物飼料的副產品，而副產品中約有 85% 是由乙醇產業生產 (Popp 等人，2016)。美國乙醇工業是最大的玉米副產品生產商，年產量約為 3,800 萬噸。此玉米副產品產量與美國每年生產的大豆粕量相當，在美國國內及全球 30 多個國家大量用於動物飼料。此外，在過去 20 年，全球飼料產業使用的所有主要飼料原料中，DDGS 一直是研究最廣泛的飼料原料。研究不僅側重於提高熱量和營養效率，以及識別在所有動物飼料中充分使用 DDGS 的優點和侷限性，且越來越著重於歸納出 DDGS 具有什麼樣的獨特營養特性及環境影響。

DDGS 具備豐富能量、蛋白質和磷含量，因此是一種非常吸引人的部分替代品，可取代動

物飼料中較為昂貴的傳統能量（玉米）、蛋白質（大豆粕）和磷（磷酸一鈣或磷酸二鈣）原料。若將 DDGS 添加於適當調配的動物飼料，可以提供優異的動物效能、健康和食品品質。由於這些特性等，DDGS 成為全球動物飼料中最受歡迎的其中一種飼料原料。

由於目前美國 DDGS 的供應量很大，可供出口的數量不斷增加。對 DDGS 需求的增加，很大程度是因為相較於其他可用的競爭原料，終端使用者可顯著省下飼糧成本。然而，儘管美國 DDGS 已在國內用於動物飼料長達數十年，但對於全球各地許多營養學家、飼料製造商和動物生產商而言，這是一種相對陌生的飼料原料。如同全球市場中的任何新飼料原料，為獲取最大經濟價值，在動物飼料中使用 DDGS 的營養優點、侷限性和使用方面，存在許多技術問題。即使對於有經驗的終端使用者，與傳統的高油 DDGS（粗脂肪超過 10%）相比，生產減油（7% 到 9% 粗脂肪）DDGS 也對不同的動物物種，產生許多能量含量與飼養價值問題。

此美國穀物協會《DDGS 使用手冊 — 精準 DDGS 營養》（*DDGS User Handbook — Precision DDGS Nutrition*）第 4 修訂版，旨在為營養學家、飼料原料購買者、飼料製造商和動物生產商，提供具科學依據的最新資訊，協助其制定使用 DDGS 的精準營養動物飼養計畫。

美國穀物協會（USGC）提供關於 DDGS 的完整營養資訊摘要，以協助目前和潛在買家瞭解其營養特性、建議的最大飼糧添加率，以及其用於動物飼料的優點和侷限性。對於所有飼料原料，DDGS 的終端使用者在調配飼糧和制定餵飼建議時，均應諮詢並尋求合格營養師的幫助和建議。USGC 無法控制選擇用於餵飼之特定原料的營養成分。USGC 不保證這些建議適用於任何特定的畜群、禽群或動物。USGC 不為其自身或其成員在遵循這些建議時遭遇之問題承擔責任。閱讀此資料，即表示買家同意這些侷限性，並放棄因本資訊引起之責任對 USGC 提出索賠。

如需更多資訊，請洽詢美國穀物協會，可致電 202-789-0789 或傳送電子郵件至 grains@grains.org。另請參閱 www.grains.org。

參考資料

Alexandratos, N., and J. Bruinsma. 2012. World agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision. ESA Working Paper No. 12-03, June, Agriculture Development Economic Division, Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy.

Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO). 2008. The Global Livestock Sector — A Growth Engine, Rome, Italy ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai554e/ai554c00.pdf

International Feed Industry Federation. 2016. The Global Feed Industry. Wiehl, Germany http://www.iff.org/pages/t/The+global+feed+industry

Popp, J., M. Harangi-Rakos, Z. Gabnai, P. Balogh, G. Antal, and A. Bai. 2016. Review: Biofuels and their co-products as livestock feed: Global economic and environmental implications. Molecules 21:285. Doi:10.3390/ molecules21030285

~ 第 11 章 ~

DDGS 的飼料安全

前言

飼料安全對我們的全球食品安全體系具有重大影響，不僅直接影響動物健康和生產力，且影響供人類食用的動物源性食品的安全性。飼料污染會影響整個食品鏈，造成數百萬美元的收入損失和成本增加。此外，也造成消費者的恐懼和恐慌、減少可供消費的食品量，並降低消費者對食品體系的信任。疾病、死亡和潛在的未來健康風險也可能發生。因此，飼料安全與食品安全直接相關，進而產生「飼料就是食物」的概念。

我們的生活和工作屬於全球經濟的一部分，飼料原料和食品在所有國家之間進出口。然而，飼料和食品安全標準及法規因國家而異。飼料和飼料原料可能受到非期望微生物、物理和化學危害污染，加上由於全球供應鏈日益緊密，單一飼料污染事件可能對動物和食品產生深遠的影響。因此，隨著飼料和食品的全球行銷、生產和經銷範圍不斷擴展，出現非期望飼料污染情形的潛在風險也有所增加 (Liu，2011)。事實上，對部分飼料原料之來源透明度的需求日益增加，促成分析技術的發展，以便鑑定和區分國際飼料市場中，穀物和副產品的植物和地理來源 (Tres 等人，2014；Tena 等人，2015)。

飼料原料供應商、買家和飼料製造商不僅須遵守當地政府主管機關的規定，也須制定和實施具體計畫，以在飼料和食品鏈的各個層面持續改進品質和安全性。在 150 多個國家，許多先進的飼料和動物生產公司已實施 ISO (國際標準化組織) 標準，以便提高產品生產效率和安全性，最終為消費者提供更標準化的產品。實施 ISO 標準的公司必須制定標準文件，透過內部稽核確保法規遵循，同時也須透過外部稽核驗證法規遵循，並通過認證。此外，先進的飼料製造商也實施 HAACP (危害分析和關鍵控制點) 系統，該系統旨在防止飼料和食品供應鏈的每一環節，包括製造、儲藏和經銷，發生飼料和食品污染事件。

制定和實施 HAACP 計畫之七項原則如下：

1. 執行危害分析
2. 確定關鍵控制點
3. 訂定製程中的最小和最大限制，以控制潛在危害
4. 訂定關鍵限制
5. 制定監控程序及糾正措施
6. 制定記錄留存程序
7. 制定驗證程序

食品安全管理系統之制定，必須結合 ISO9001 和 HAACP 原則，在飼料公司內落實品質管理並持續改進，進而降低食源性病原體、新興病原體的風險，並藉由控制風險來保護品牌產品。

在許多國家，飼料和食品安全系統之實施與監控正在持續改進。事實上，美國最近剛通過更為嚴格的飼料安全法規 (包括 DDGS 生產)，以進一步降低消費者食品安全危害的風險。2012 年 1 月，《食品安全現代化法》(Food Safety Modernization Act) 在美國正式立法，是美國食品藥物管理局 (FDA) 近 70 年來，對食品和飼料安全監管權力的首次重大更新及擴張 (Brew 與 Toeniskoetter，2012)。儘管自 2002 年以來，美國就一直要求飼料生產設施 (包括乙醇工廠) 向 FDA 註冊，但這部新法賦予 FDA 更大的權力，可以因食品或飼料安全理由撤銷設施的註冊。此法也禁止在目前未註冊的情況下，藉由州際貿易運輸食品或飼料。因此，若發現嚴重的食品或飼料安全違規，FDA 可以強制終止銷售，甚至下令強制召回。這部新法的實施，要求乙醇工廠為其生產的副產品，制定和實施危害分析和關鍵控制點 (HACCP) 計畫。此法要求飼料製造商評估已知或潛在的飼料安全危害、識別和實施預防控制程序、監控這些程序、在無法運作時採取糾正措施，並定期驗證整個系統是否有效運作。此外，也要求提供這些飼料安全生產程序的書

面文件，且乙醇工廠須接受 FDA 的法規遵循檢查。這部新法的頒布，可提供更大的保障和信心，確保美國 DDGS 能滿足全球最嚴格的飼料安全要求。

除了新法規和遵循《食品安全現代化法》的規定外，部分美國乙醇工廠也實施 GMP (優良製造作業規範)+ 飼料認證，以期滿足許多國家和市場對副產品的嚴格飼料安全標準。GMP+ 飼料認證計畫於 1992 年首度由荷蘭飼料產業制定，其目的旨在因應涉及飼料原料污染的各種事件。如今，GMP+ 飼料認證已擴展成為國際計畫，由 GMP+ International 與眾多國際利害關係者合作管理。2013 年，GMP+ 計畫進一步擴展，現在包括 GMP+ 飼料安全保證和 GMP+ 飼料責任保證。乙醇工廠必須在飼料供應鏈的所有環節遵循飼料安全保證的相關標準，藉此實施 GMP+ 飼料安全保證，作為向許多國家和市場的先進綜合飼料和動物生產公司銷售 DDGS 的「販賣許可」。此外，全球動物飼料產業越來越需要以更負責任的方式營運、採購飼料原料，盡可能減少對人類糧食安全的影響 (例如大豆和魚粉)，並將對環境的負面影響降至最低。

幸運的是，美國 DDGS 包含有害微生物、物理和化學污染物的風險極低。玉米和玉米 DDGS 不含抗營養因子，除了植酸鹽 (一種難以消化的磷) 以外，所有穀物和穀物副產品中都存在濃度不等的植酸鹽。然而，植酸酶廣泛的商業可用性和使用，已證明具有成本效益，可降解植酸鹽和提高單胃動物對穀物飼糧的磷消化能力。

本章節的重點是簡要概述 DDGS 中潛在的飼料安全微生物、化學和物理風險因素，應在使用 DDGS 飼料餵飼各種食用動物時予以考慮。特別關注的主要潛在污染物包括病原性微生物、黴菌毒素、抗生素殘留物和硫。另外也鼓勵讀者參閱第 13 章 (DDGS 生產中的抗生素使用)、第 14 章 (DDGS 中的黴菌毒素)、第 15 章 (DDGS 中硫的優點和疑慮) 及第 19 章 (DDGS 與肉牛的 O157:H7 型大腸桿菌排出)，以進一步瞭解這些主題。

潛在的微生物風險因素

冠狀病毒在飼料和飼料原料中的傳播

冠狀病毒 (傳染性胃腸炎病毒–TGEV；豬丁型冠狀病毒–PDCoV；豬流行性下痢病毒 – PEDV) 對全球豬肉產業產生毀滅性的影響。這些病毒透過糞便排出，可藉由受污染的設備、人員和其他傳染媒傳播，進而導致嚴重腹瀉、高死亡率、生長效能下降，並降低獲利能力。2013 年，豬流行性下痢病毒 (PEDV) 對美國的豬隻死亡率產生破壞性影響，而飼料和飼料原料經識別為病毒傳播的重要風險因素。因此，展開相關研究以確定冠狀病毒在飼料和飼料原料中的存活率，以及潛在的緩解策略，以盡可能減少經由飼料向豬隻傳播。Dee 等人 (2015) 指出，PEDV 在飼料中的存活率因原料類型而異，在大豆粕中的存活時間似乎最長，但只要使用甲醛液體處理，即可將所有原料中的病毒滅活。同樣地，Trudeau 等人 (2017) 評估了 PEDV、TGEV 和 PDCoV 在各種飼料原料中的存活率，包括含油量不同的 DDGS 來源 (圖 1)。PED 病毒存活時間最長，與其他幾種原料相比，TGEV 和 PDCoV 在大豆粕中的存活率也偏高。有趣的是，與中油 DDGS 來源 (TGEV 1.7 天，PEDV 7.3 天) 相比，病毒存活率在低和高油 DDGS 來源的存活率非常低 (TGEV 1.0 和 0.8 天，PEDV 0.7 和 0.6 天)。相較之下，與中油 DDGS、血粉、完全飼料、肉粉和噴霧乾燥豬血漿相比，PDCoV 在低油和高油 DDGS 來源的存活時間更長。所有病毒在 DDGS 來源中的存活時間，都比在大豆粕中短得多，而相較於玉米，TGEV 和 PDCoV 在 DDGS 中的存活時間更短。這些結果顯示，與 DDGS 和其他常見飼料原料相比，大豆粕是經由飼料傳播冠狀病毒的更大風險因素。可惜的是，目前尚未進行任何研究來確定其他病原體 (例如禽流感病毒) 是否會經由飼料原料傳播，以及這些病原體在運輸和儲藏過程中，在飼料原料中的潛在存活率。

*沙門氏菌*在飼料和飼料原料中的傳播

目前沒有可用的資料，也沒有與控制 DDGS 之潛在沙門氏菌污染相關的政府規定。關於藉

由對動物飼料實施沙門氏菌陰性標準，降低人類沙門氏菌感染症病發率之可行性和可能的效力，存在長期的科學辯論 (Davies 等人，2004)。評估減少動物飼料沙門氏菌污染，對人類食源性沙門氏菌感染症風險有何影響，並不容易。若干因素可能減少或消除商業飼料監管干預的潛在效益，包括：

- 廣泛使用農場飼料混合
- 加工過程中飼料去污不徹底
- 飼料廠的加工後飼料污染
- 飼料運輸或農場儲藏過程中的污染
- 沙門氏菌的衆多非飼料來源
- 欄舍內農場後感染的高風險
- 收穫後的沙門氏菌污染源

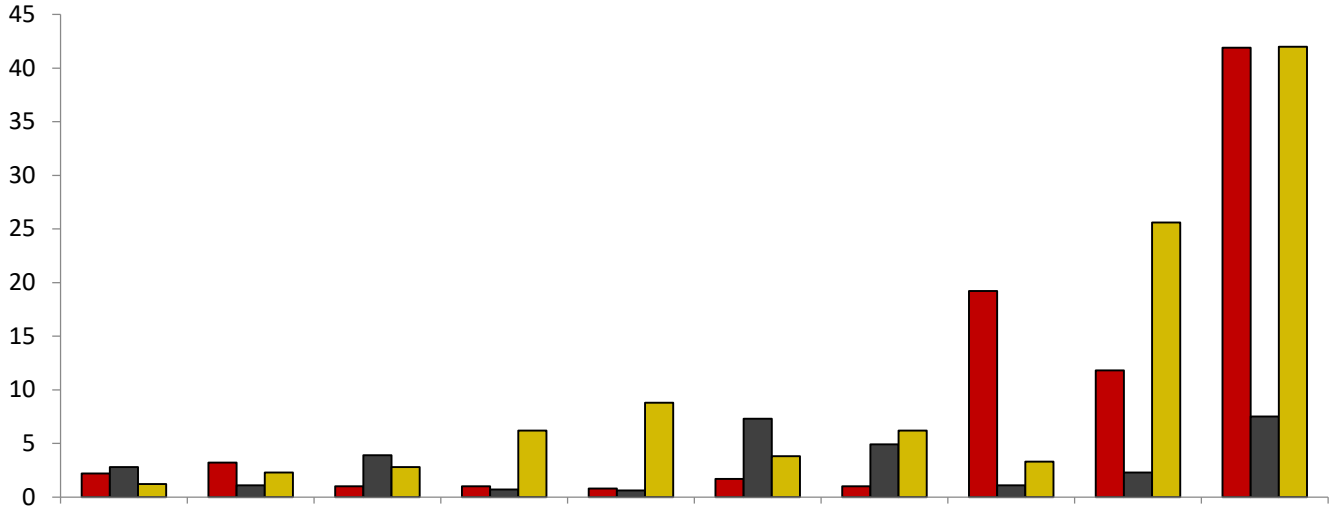
餵飼 DDGS 飼糧時，*沙門氏菌*、*O157:H7 型大腸桿菌*和*產氣莢膜梭菌*排出的潛在風險

動物的胃腸道中，本來就含有 O157:H7 型大腸桿菌和沙門氏菌，它們均爲食源性病原體，可隨糞便排出，造成食品潛在污染並導致消費者生病。某個研究小組 (Jacob 等人，2008a,b,c) 進行了一系列研究，結果顯示，餵飼肉牛 DDGS 時，O157:H7 型大腸桿菌的排出率不一致，但普遍較低。其他研究 (Peterson 等人，2007；Nagaraja 等人，2008) 也顯示肉牛會排出大腸桿菌，但餵飼大量的 DDGS 飼糧不會影響病原體排出。此外，餵飼 DDGS 或乾燥滾壓玉米飼糧，與 O157:H7 型大腸桿菌或沙門氏菌污染率沒有關聯 (Jacob 等人，2009)。這些結果顯示，餵飼牛隻 DDGS 而導致 O157:H7 型大腸桿菌或沙門氏菌排出增加的風險極低。

針對生長肥育豬的進一步研究顯示，餵飼 DDGS 飼糧對鼠傷寒沙氏桿菌的易感染性或移生沒有影響 (Rostagno 等人，2013)。在肉雞方面，Loar 等人 (2010) 指出，餵飼 DDGS 飼糧對肉雞盲腸內容物中的產氣莢膜梭菌和大腸桿菌數量沒有影響。這些結果顯示，因餵飼肉牛、豬隻和肉雞 DDGS 而導致食源性病原體傳播至肉製品之風險極低 (即使有)。

黴菌毒素

在 DDGS 的所有飼料安全風險因素中，潛在的黴菌毒素污染或許最令人擔憂。黴菌毒素是由真菌在生長期和儲藏期間，在特定環境條件下所產生。從人類食品安全的角度來看，黃麴毒素是唯一受美國 FDA 管制的黴菌毒素，因



	血粉	完全飼料	肉粉	低油 DDGS	高油 DDGS	中油 DDGS	肉骨粉	噴霧乾燥豬血漿	玉米	大豆粕
TGEV	2.2	3.2	1.0	1.0	0.8	1.7	1.0	19.2	11.8	41.9
PEDV	2.8	1.1	3.9	0.7	0.6	7.3	4.9	1.1	2.3	7.5
PDCoV	1.2	2.3	2.8	6.2	8.8	3.8	6.2	3.3	25.6	42.0

圖 1、完全飼料和常見飼料原料中的冠狀病毒 (傳染性胃腸炎病毒—TGEV、豬流行性下痢病毒—PEDV、豬丁型冠狀病毒—PDCoV) 存活率 (Trudeau 等人，2017)

為它具有致癌作用。然而，若飼料原料中含有高濃度的各種黴菌毒素，就會對營養利用率、免疫功能和其他不良生理效應產生不利影響，進而導致動物健康和生產效能下降。豬隻和家禽通常比反芻動物更容易受到黴菌毒素影響，且幼小的動物比年長的動物更容易受到影響。雖然黴菌毒素是由特定的真菌菌株產生，但測量飼料原料中的黴菌數量意義不大，原因在於這些分析並未針對黴菌毒素的潛在存在或濃度，提供任何資訊或證實。

玉米、其他穀物和 DDGS 中，黴菌毒素的污染率和濃度因國家而異 (Biomin，2014)。研究顯示，與中國生產的飼料原料相比，美國所生產的 DDGS 中，黴菌毒素污染的污染率和濃度要低得多 (Biomin，2014；Guan 等人，2011；Li 等人，2014)。針對美國所生產 DDGS 的黴菌毒素污染，目前已發表兩項廣泛研究 (Zhang 等人，2009；Khatibi 等人，2014)。研究結果顯示，相對於現有的規範，DDGS 中各種黴菌毒素的濃度較低。Zhang 等人 (2009) 分析了來自美國 20 家乙醇工廠的 235 份 DDGS 樣品，以及 2006 年至 2008 年從 23 個出口貨櫃收集的 23 份 DDGS 樣品，報告如下：

1. 所有 DDGS 樣品中的黃麴毒素或脫氧雪腐鐮刀菌烯醇濃度，均未超過美國 FDA 對動物飼料的規範。
2. 所有 DDGS 樣品的伏馬毒素濃度，都未超過 FDA 對乳製品、牛隻、豬隻、家禽和水產飼料的規範；只有 10% 的樣品中，伏馬毒素濃度超過適用於馬匹和兔子飼料的最大建議濃度，而馬和兔子是對伏馬毒素最敏感的物種。
3. 所有樣品均未含有可檢測到濃度的 T-2 毒素，而多數樣品中都檢測不到玉米赤黴烯酮。
4. 使用貨櫃出口 DDGS，不會導致黴菌毒素量增加。

近年，Khatibi 等人 (2014) 展開一項 DDGS 黴菌毒素研究，收集並分析來自美國 12 個州 78 家乙醇工廠的 141 份玉米 DDGS 樣品，以瞭解各種鐮刀黴菌毒素的存在和濃度。2011 年，美國生產的玉米中，鐮孢菌屬黴菌的污染率異常高，這是玉米生長期惡劣氣候條件的結果。在這種極端情況下，69% 的樣品不含可檢測到濃度的脫氧雪腐鐮刀菌烯醇，只有 5% 的樣品超出 FDA 對豬隻的建議等級，只有 19% 的樣品含有可檢測到濃度的玉米赤黴烯酮。

這些研究結果顯示，玉米 DDGS 中可能存在黴菌毒素，但美國 DDGS 的污染率和濃度遠低於中國生產的 DDGS。因此，取決於地理來源和玉米在特定年份的黴菌毒素污染率，若黴菌毒素的污染率和濃度較低，則可以提高 DDGS 飼糧添加率，以盡可能降低飼糧中黴菌毒素總濃度超過建議等級的風險。

潛在的化學風險因素

抗生素殘留物

發酵槽中，通常會添加某幾種類型的抗生素，以控制生產乙醇和副產品的澱粉發酵過程中，所產生的細菌感染。美國 FDA 並未限制在乙醇生產中使用抗生素，主要使用的抗生素「virginiamycin」(純黴素) 已經過專家科學小組審核，並獲得公認安全認證 (Generally Recognized as Safe，GRAS)。在全球，美國和歐盟已停止利用抗生素促進生長，其他國家也減少在食用動物生產中使用抗生素。抗生素使用的主要問題在於殘留於肉類、牛奶和雞蛋中的潛在風險，以及動物和人類對抗生素的抗藥性發展。美國 FDA 展開相關研究，使用多重殘留檢測方法來確定 DDGS 當中，幾種抗生素殘留物的污染率和濃度 (de Alwis 與 Heller，2010；Kaklamanos 等人，2013)，但尚未公佈結果。分析程序的選擇非常重要，因為某些抗生素殘留物 (例如純黴素) 的存在，只能使用生物測定法進行準確定量。

僅有一項研究，針對每季度從美國 9 個州 43 家乙醇工廠收集的 159 份釀酒副產品樣品，分析抗生素殘留的污染率、濃度和生物活性 (Paulus-Compart 等人，2013)。這項研究的結果顯示，13% 的樣品含有低濃度 (低於 1.12 毫克/公斤) 的抗生素殘留物。研究使用特定的前哨細菌 (sentinel bacteria) 測試樣品萃取

物的生物活性，結果只有一個樣品（不含可檢測到的抗生素殘留濃度）抑制了大腸桿菌的生長，而所有樣品均未抑制李斯特菌的生長。因此，在 DDGS 中檢測到抗生素殘留物的可能性非常低；若檢測到，殘留物具有任何殘留生物活性的風險也極低。自展開這項研究以來，乙醇生產中的抗生素使用已顯著減少；衛生條件改善，加上可利用其他非抗生素添加物控制發酵過程中的細菌感染，對此也有所影響。事實上，部分乙醇工廠現在生產的是不含抗生素的 DDGS。

戴奧辛

關於 DDGS 中潛在的戴奧辛污染，未有任何相關研究與規定。戴奧辛是一組化學物質，代表 210 多種不同的化合物，在環境中無所不在。這些化合物中，只有 17 種屬於毒理學所關注的問題，且並非刻意生產。因此，無法單純禁止它們。戴奧辛是化學過程的副產品，不溶於水，可溶於脂類。戴奧辛無法生物分解，會在食品鏈中累積。柑橘果肉和高嶺土的戴奧辛濃度上限已經確定，而魚油和魚粉是最常受戴奧辛污染的飼料原料。動物脂肪也可能含有戴奧辛，但濃度很低，穀物和種子、牛奶副產品及肉骨粉則較少受到戴奧辛污染。

基因改造玉米（GM）

不同於美國的是，有些國家擔心基因改造（GM）作物的安全性，因此在法律上禁止或限制生產或進口部分（若非全部）基因改造穀物和穀物副產品。儘管許多國家用於動物生產的飼料供應有限，無法適當保障糧食安全，但此限制仍然存在爭議。2015 年，美國種植的所有玉米田中，約有 92% 使用基因工程品種（美國農業部國家農業統計署，2015）。由此可見，美國生產的大部分玉米 DDGS 使用基因改造玉米品種。

美國已針對 19 個植物物種（包括玉米和大豆），核准超過 165 件基因工程案例（James, 2013），全都利用美國 FDA 的綜合安全風險評估完成評估。過去 20 年中，所有經美國 FDA 及日本主管機關評估的基因改造案例，均已證明與傳統作物品種具有相同的安全性（Herman 與 Price，2013）。此外，也利用國際食品法典委員會（www.codexalimentarius.org）制定的國際公認規範，評估基因改造生物的風險。

已有大量科學證據顯示基因改造作物安全無虞。生物技術資訊委員會發表了一份聲明，指出「美國食品藥物管理局（FDA）已確定生物技術食品和作物，與非生物技術的對應物一樣安全。美國醫學會、美國飲食協會和美國國家科學院也宣布，生物技術食品可安全供人類和動物食用。此外，自 1996 年引入美國市場以來，沒有任何人或動物因食用生物技術食品而生病。其他認為生物技術食品和作物安全無虞的國際組織還包括聯合國糧食及農業組織、世界衛生組織、國際科學理事會、法國食品安全局和英國醫學會。歐洲食品安全局（EFSA）也認為多種生物技術品種可安全供人類和動物食用。」 如需基因改造作物食品鏈安全性的詳細分析，請參閱以下連結：

美國飲食協會的立場：農業和食品生物技術
http://download.journals.elsevierhealth.com/pdfs/journals/0002-8223/PIIS0002822305021097.pdf

世界衛生組織：Modern food biotechnology, human health and development: an evidence-based study
http://www.who.int/foodsafety/publications/biotech/ biotech_en.pdf

聯合國：Effects on human health and the environment
http://www.fao.org/newsroom/en/news/2004/ 41714/index.html

美國國家科學院：Safety of Genetically Engineered Foods
http://books.nap.edu/catalog/10977.html?onpi_ newsdoc07272004

15 年來，食用動物消耗了 70% 至 90% 的基因改造作物和副產品（Flachowsky 等人，2012）。近年的一項全面性審查（van

Eenennaam 與 Young，2014) 針對超過 1,000 億隻食用基因改造作物和副產品的動物，分析相關資料，並未發現對動物健康和生產力產生不利影響的證據。然而，儘管沒有不利影響，部分國家還是設置了貿易壁壘和進口限制，以防止進口和使用美國生產的玉米和 DDGS 作為動物飼料。

潛在的物理風險因素

物理污染的風險極低。穀物和飼料原料中最常見的物理污染源為石頭和金屬、玻璃、木材或塑膠碎片。在食品中，物理危害歸類為「堅硬或尖銳」或「導致窒息」危害。農業生產和裝載設施經常有壓實的礫石或石頭，在裝載過程中可能會不小心污染飼料原料。輸送機和裝載設備的金屬與金屬接觸，會在正常磨損下產生金屬碎片，這些碎片偶爾會混雜在運輸貨櫃或貨船中的穀物或飼料原料中。在使用玻璃和塑膠容器當作儲藏工具的設施中，工具的碎片也會污染飼料原料。這些潛在的物理危害都不常見，但取決於生產、裝載和運輸飼料原料的設施和過程，也有可能會存在。

參考資料

Biomin. 2014. Mycotoxins: Science and solutions. Biomin magazine, April, 2014.

Brew, S. and S. Toeniskoetter. 2012. FDA Has No Jurisdiction Here – Or Does It? Ethanol Producer Magazine, April, 2012, p. 20.

Davies, P.R., H.S. Hurd, J.A. Funk, P.J. Fedorka-Cray, and F.T. Jones. 2004. Review: The role of contaminated feed in the epidemiology and control of Salmonella enteric in pork production. Foodborne Pathogens and Disease 1:202–215.

de Alwis, H., and D.N. Heller. 2010. Multiclass, multiresidue method for the detection of antibiotic residues in distillers grains by liquid chromatography and ion trap tandem mass spectrometry. J. Chromatogr. A 1217:3076–3084.

Dee, S. C. Neill, T. Clement, A. Singrey, J. Christopher- Hennings, and E. Nelson. 2015. An evaluation of porcine epidemic diarrhea virus survival in individual feed ingredients in the presence or absence of a liquid antimicrobial. Porcine Health Mgmt. 1:9.

Flachowsky, G., H. Schafft, and U. Meyer. 2012. Animal feeding studies for nutritional and safety assessments of feeds from genetically modifed plants: A review. J. Verbraucherschutz Lebensmittelsicherh. 7:179–194.

Guan, S., M. Gong, Y.L. Yin, R.L. Huang, Z. Ruan, T. Zhao, and M-Y. Xie. 2011. Occurance of mycotoxins in feeds and feed ingredients in China. J. Food Ag. Env. 9:163–167.

Herman, R.A., and W.D. Price. 2013. Unintended compositional changes in genetically modifed (GM) crops: 20 years of research. J. Agric. Food Chem. 61:11695–11701.

Jacob, M.E., J.T. Fox, J.S, Drouillard, D.G. Renter, and T.G. Nagaraja. 2009. Evaluation of feeding dried distillers grains with solubles and dry-rolled corn and the fecal prevalence of Escherichia coli O157:H7 and Salmonella spp. in cattle. Foodborne Pathogens and Disease 6:145–153.

Jacob, M.E., J.T. Fox, J.S. Drouillard, D.G. Renter, and T.G. Nagaraja TG. 2008a. Effects of dried distillers' grain on fecal prevalence and growth of Escherichia coli O157 in batch culture fermentations from cattle. Appl. Environ. Microbiol. 74:38–43.

Jacob, M.E., G.L. Parsons, M.K. Shelor, J.T. Fox, J.S. Drouillard, D.U. Thomson, D.G. Renter, and T.G. Nagaraja. 2008b. Feeding supplemental dried distillers grain increases fecal shedding of Escherichia coli O157 in experimentally inoculated calves. Zoonoses Public Health 55:125–132.

Jacob, M.E., J.T. Fox, S.K. Narayanan, J.S. Drouillard, D.G. Renter, and T.G. Nagaraja. 2008c. Effects of feeding wet corn distillers grains with solubles with or without monensin and tylosin on the prevalence and antimicrobial susceptibilities of fecal food-borne

pathogenic and commensal bacteria in feedlot cattle. J. Anim. Sci. 86:1182–1190.

James, C. 2013. Global status of commercialized biotech/ GM crops. The International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA) brief no. 46. ISAAA, Ithaca, NY.

Kaklamanos, G., U. Vincent, and C. von Holst. 2013. Multi- residue method for the detection of veterinary drugs in distillers grains by liquid chromatography–Orbitrap high resolution mass spectrometry. Chromatography A http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2013.10.079.

Khatibi, P.A., N.J. McMaster, R. Musser, and D.G. Schmale III. 2014. Survey of mycotoxins in corn distillers' dried grains with solubles from seventy-eight ethanol plants in twelve states in the U.S. in 2011. Toxins 6:1155–1168.

Li, X., L. Zhao, L.Y. Fan, Y. Jia, L. Sun, S. Ma, C. Ji, Q. Ma, and J. Zhang. 2014. Occurance of mycotoxins in feed ingredients and complete feeds obtained from the Beijing region of China. J. Anim. Sci. Biotech. 5:37–45.

Liu, K. 2011. Chemical composition of distillers grains, a review. J. Agric. Food Chem. 59:1508–1526.

Loar, R.E., J.S. Moritz, J.R. Donaldson, and A. Corzo. 2010. Effects of feeding distillers dried grains with solubles to broilers from 0 to 28 days posthatch on broiler performance, feed manufacturing effciency, and selected intestinal characteristics. Poult. Sci. 89:2242–2250.

Nagaraja, T.G., J. Drouillard, D. Renter, and S. Narayanan. 2008. Distillers grains and food-borne pathogens in cattle: Interaction and intervention. KLA News & Market Report Vol. 33, No. 35.

Paulus Compart, D.M., A.M. Carlson, G.I. Crawford, R.C. Fink, F. Diez-Gonzalez, A. Dicostanzo, and G.C. Shurson. 2013. Presence and biological activity of antibiotics used in fuel ethanol and corn co-product production. J. Anim. Sci. 91:2395–2404.

Peterson, R.E., T.J. Klopfenstein, R.A. Moxley, G.E. Erickson, S. Hinckley, G. Bretschneider, E.M. Berberov, D. Rogan, and D.R. Smith. 2007. Effect of a vaccine product containing type III secreted proteins on the probability of E. coli O157:H7 fecal shedding and mucosal colonization in feedlot cattle. J. Food Protection 70:2568–2577.

Rostagno M.H., B.T. Richert, L.V.C. Girao, G.M. Preis, L.J. Lara, A.F. Amaral, A.D.B. Melo, and A. Jones. 2013. Do dried distillers grains with solubles affect the occurrence of Salmonella enterica colonization in pigs? J. Anim. Sci. 91(E-Suppl. 2):699.

Tena, N., A. Boix, and C. von Holst. 2015. Identifcation of botanical and geographical origin of distillers dried grains with solubles by near infrared microscopy. Food Control 54:103–110.

Tres, A., S.P. Heenan, and S. van Ruth. 2014. Authentication of dried distilled grains with solubles (DDGS) by fatty acid and volatile profling. LWT – Food Sci. Tech. 59:215–221.

Trudeau, M.P., H. Verma, F. Sampedro, P.E. Urriola, G. C. Shurson, and S.M. Goyal. 2017. Environmental persistence of porcine coronaviruses in feed and feed ingredients. PLoS ONE 12:e0178094. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178094.

USDA National Agricultural Statistics Service. 2015. Acreage. USDA. http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/current/Acre/ Acre-06-30-2015.pdf (Accessed November 3, 2017)

van Eenennaam, A.L., and A.E. Young. 2014. Prevalence and impacts of genetically engineered feedstuffs on livestock populations. J. Anim. Sci. 92:4255–4278.

Zhang, Y., J. Caupert, P.M. Imerman, J.L. Richard, and G.C. Shurson. 2009. The occurance and concentration of mycotoxins in U.S. distillers dried grains with solubles. J. Agric. Food Chem. 57:9828–9837.

~ 第 21 章 ~

在豬隻飼糧中使用減油 DDGS

前言

含可溶物的玉米乾酒粕 (DDGS) 已成為美國豬隻飼糧中，最受歡迎、最經濟且廣泛可用的替代飼料原料，適用於所有生產階段。玉米 DDGS 含有與玉米大致相同的代謝能 (ME)，所以主要用作豬隻飼糧的能量來源。因此，在豬隻飼糧添加 DDGS，主要是為取代一部分玉米，但也部分取代了一些大豆粕和無機磷。大量研究顯示，可以在幼畜飼糧、生長肥育飼糧和泌乳飼糧中添加多達 30%的 DDGS，在母豬妊娠期飼糧中甚至可添加多達 50%，而不會對生產效能產生不利影響。事實上，由於 DDGS 具有很高的飼糧成本節約潛力，美國一些豬隻養育整合商開始評估是否適合在生長肥育豬隻飼糧中，添加多達 60%的低油 DDGS。然而，為了在高飼糧添加率下，成功獲得可接受的生長效能和屠體特性，必須針對所餵飼的 DDGS 來源具體確定準確的能量、可消化胺基酸和可消化磷的值。所幸，目前已為開發方程式進行大量研究，用於預測低油 DDGS 來源的 ME 及標準化迴腸可消化 (SID) 胺基酸含量，藉此協助營養學家管理精準營養豬隻飼養計畫的變異性。

確定準確的能量和可消化營養值

代謝能

美國乙醇產業廣泛採用釀酒玉米油萃取，導致 DDGS 產量按比例下降，並增加不同來源之 ME 和養分含量的變異性。DDGS 中的粗脂肪含量為 4%至 13%，中洗纖維 (NDF) 含量為 21% 至 34%，粗蛋白質含量為 24% 至 35% (Kerr 等人，2013)。然而，由於萃取油脂前，DDGS 來源中營養成分具有高度變異性 (Stein 和 Shurson，2009)，在萃取油脂後，來源中其他營養成分的濃度並沒有持續增加。

飼料原料的營養成分對其能量含量有重大影響，因為豬以不同的效率消化和利用蛋白質、澱粉、纖維和脂質 (Patience，2009)。因此，根據報告指出，豬隻食用的減油 DDGS 中的 ME 含量估計值從 2,858 千卡/公斤起跳，數值不等 (**表 1**)。儘管這些 ME 估計值差異很大，但一般顯示玉米 DDGS 中的 ME 含量約為玉米 ME 含量的 93%。然而，對於豬隻食用的 DDGS 中的 ME 含量，油 (粗脂肪) 含量是較弱的單一預測因子 (**表 2**)。根據美國國家科學研究委員會 (NRC) (2012) 報告，含油量超過 10% (高油) 的 DDGS 來源的平均 ME 含量為 3,845 千卡/公斤，含油量介於 6% 至 9% (中油) 的來源為 3,801 千卡/公斤，含油量低於 4% (低油) 的來源則為 3,476 千卡/公斤。然而，需要注意的是，中低油 DDGS 所公佈的 ME 值，僅基於極少數已公佈的值，因此這些值的準確性有待質疑。

有幾項因素似乎會影響不同來源減油 DDGS 的 ME 含量變化。Kim 等人 (2013) 在報告中指出，DDGS 中只有大約 50% 的油可由豬隻消化，而 Kerr 等人 (2013) 則指出，乙醚萃取物 (ether extract， EE) 的表面總腸道消化率 (ATTD) 範圍介於 53% 到 81% 之間。其次，豬隻食用的 DDGS 中的纖維 ATTD 範圍介於 23% 到 55% 之間 (Urriola 等人，2010)，這也導致了 ME 含量的變異。DDGS 來源的 EE 和纖維消化率差異，似乎是由於各種 DDGS 來源中纖維、澱粉、蛋白質基質的孔隙率不同，這會影響纖維的發酵力和醣酵素的有效性 (Jha 等人，2015)。DDGS 來源的粒度不同，Liu 等人 (2012) 指出，DDGS 的 ME 含量可以藉由研磨至更小的粒度來提高。

Kerr 等人評估的 DDGS 來源乾物質消化率 (2013) 相對較高，範圍介於 66.8% 到 77.3% 之間，但乾物質消化率和 ME 含量之間並沒有強大關聯 (**表 3**)。然而，不同來源的消化率範圍相當大 (52.7% 至 81.2%)，但與 ME 含量的相關性並不強。8 個 DDGS 來源的乙醚萃取物消化率值落在第 50 個百分位，這可部分解釋為什麼粗脂肪含量是 ME 含量較弱的單一預測指標。DDGS 中，大量的 NDF 利用來產生能量，表面總腸道消化率值介於 45.8% 到 61.5% 之間。這些結果相似於 Urriola 等人的

表1、相對於玉米 ME 含量的 DDGS ME（千卡/公斤，乾物質）含量已公佈之估計值摘要 (NRC，2012)

項目	n	DDGS 的 ME 平均數	最小值	最大值	標準差	DDGS相對於玉米[1](%)
Hastad 等人，2004[2]	2	4,047	3,986	4,108	-	105.3
Hastad 等人，2004[3]	2	3,679	3,476	3,882	-	95.7
Stein 等人，2006	4	3,378	-	-	-	87.9
Pedersen 等人，2007	10	3,897	3,674	4,336	221	101.4
Stein 等人，2009	4	3,750	3,575	3,976	168	97.6
Dahlen 等人，2011	2	2,962	2,959	2,964	-	77.0
Jacela 等人，2011[4,5]	1	2,858	-	-	-	74.3
Liu 等人，2012	3	3,730	3,583	3,862	140	97.0
Anderson 等人，2012	6	3,790	3,414	4,141	252	98.6
Anderson 等人，2012[5]	1	3,650	-	-	-	94.9
Kerr 等人，2013[5]	15	3,435	3,266	3,696	140	89.3
NRC，2012，>10 % 油	-	3,845	-	-	-	100.0
NRC，2012，>6 和 <9 % 油	-	3,801	-	-	-	98.9
NRC，2012，<4 % 油	-	3,476	-	-	-	90.4
Graham 等人，2014a[4,5]	1	3,365	-	-	-	87.5
Graham 等人，2014b[5]	4	3,744	3,481	3,905	183	97.4
Adeola 等人，2014	1	3,559	-	-	-	92.6

[1]根據美國國家科學研究委員會 (NRC)，DDGS來源平均ME佔玉米ME值的百分比(2012)

[2]DDGS的ME使用代謝研究測定。未報告水分含量，其中值以乾物質為基礎，假設乾物質為89.3%(NRC，2012)

[3]DDGS的ME使用生長測定法測定。未報告水分含量，其中值以乾物質為基礎，假設乾物質為89.3%(NRC，2012)

[4]ME使用Noblet和Perez(1993)的方程式計算得出，以測定之DE和分析之化學組成為依據

[5]研究包括低油(低於10%)DDGS來源

表2、不同粗脂肪含量和其他營養成分的豬用 DDGS 來源之 ME 含量排序（乾物質基礎；改編自 Kerr 等人，2013)

DDGS來源	ME，千卡/公斤	ME/GE%	粗脂肪%	NDF%	粗蛋白質%	澱粉%	灰分%
15	3,696	72.8	10.9	31.6	29.0	3.3	5.4
13	3,604	74.6	5.6	31.6	30.6	3.3	6.1
8	3,603	69.7	13.2	34.0	30.6	1.3	5.3
11	3,553	69.3	11.8	38.9	32.1	1.1	4.9
9	3,550	71.6	9.7	28.8	29.8	2.8	5.0
6	3,513	70.8	9.6	33.0	30.1	3.4	4.9
7	3,423	69.3	10.1	38.2	30.3	2.2	5.0
2	3,400	67.0	11.1	36.5	29.7	3.9	4.3
4	3,362	68.7	8.6	35.7	32.9	0.8	5.1
3	3,360	66.4	10.8	38.6	29.7	1.6	4.6
10	3,327	67.2	10.0	35.9	32.7	1	5.3
1	3,302	65.0	11.2	44.0	27.7	1.8	4.4
12	3,286	68.8	4.9	30.5	31.2	3.3	5.8
5	3,277	65.0	11.1	39.7	31.6	0.9	5.0
14	3,266	66.2	7.5	33.9	30.8	2.5	5.7

表3、不同粗脂肪含量和其他營養成分的豬用 DDGS 來源之 ME 含量排序 (乾物質基礎；改編自 Kerr 等人，2013)

DDGS來源	ME，千卡/公斤	ATTD DM %	ATTD 乙醚萃取物 %	ATTD NDF %	ATTD 氮 %	ATTD 碳 %
15	3,696	72.5	81.2	45.8	80.5	74.1
13	3,604	77.3	69.8	57.4	83.4	78.1
8	3,603	71.6	68.5	57.1	81.0	73.0
11	3,553	70.4	65.8	53.3	82.5	72.4
9	3,550	73.8	58.2	55.2	84.8	74.7
6	3,513	74.2	53.3	60.6	82.8	74.3
7	3,423	71.9	52.7	61.5	80.6	73.2
2	3,400	70.5	57.2	57.4	79.7	71.0
4	3,362	73.3	67.1	51.8	77.0	72.3
3	3,360	69.6	54.7	58.2	81.8	70.2
10	3,327	70.4	57.6	57.2	81.8	70.5
1	3,302	66.8	54.8	56.3	76.9	67.9
12	3,286	72.4	65.7	49.8	82.6	73.6
5	3,277	67.4	59.4	54.2	82.1	68.3
14	3,266	67.7	72.7	44.5	78.0	69.0

報告 (2010)。不同來源的 DDGS 中，氮 (粗蛋白質) 的消化率變化較小，範圍介於 76.9% 至 84.8% 之間，但與 ME 含量的相關性較弱。過量的氮可以利用來產生能量，但這是一個高耗能的過程。同樣地，碳消化率相對較高，範圍介於 67.9% 至 78.1% 之間，與 ME 含量沒有明顯關聯。因此，具有不同含油量的 DDGS 的 ME 含量，由可消化的能量貢獻部分 (NDF、乙醚萃取物和粗蛋白) 的組合決定，而不僅是乙醚萃取物含量或消化率的函數。

準確估算 DDGS 來源的 ME 值非常重要，有助於獲得準確飼糧配方，並最佳化 DDGS 在豬隻飼糧中的營養和經濟價值。目前已進行若干研究，根據豬用玉米 DDGS 來源的物理和化學組成，開發可消化能 (DE) 和 ME 的預測方程式 (Stein 等人，2006；Pedersen 等人，2007；Stein 等人，2009；Anderson 等人，2012；Kerr 等人，2013)，並管理來源之間的 ME 含量變異性。這些方程式已針對豬隻交叉驗證 (Urriola 等人，2014)。最精確 (預測誤差 = 144 千卡/公斤) 和準確 (偏差 = 19 千卡/公斤) 的 DE 方程式為：

DE= -2,161 + (1.39 × 總能量) – (20.7 × NDF) – (49.3 × EE)

最精確 (預測誤差=149 千卡/公斤) 和準確 (偏差= -82 千卡/公斤) 的 ME 方程式使用上述方程式所求得的 DE 值，如下所示：

ME= -261 + (1.05 ×DE) – (7.89 × 粗蛋白質) + (2.47 × NDF) – (4.99 × EE)

為進一步評估 Urriola 等人測定之最精確和準確的 DE 和 ME 預測方程式 (2014)，Wu 等人 (2016a) 執行一項生長肥育實驗，試圖比較與玉米-大豆粕 (CON) 飼糧相比，添加 40% 三種不同來源之 DDGS(含有 6% (低)、10% (中) 和 14% (高) EE，但預測 ME 相似，分別為 3,258、3,315 和 3,232 千卡/公斤，依飼料原樣)，對生長效能、屠體組成和豬肉脂肪品質產生的效果 (**表 4**)。飼糧在每個階段中，含有相似濃度的標準化迴腸可消化胺基酸，以及標準化總消化道可消化磷。此研究結果顯示，對於餵飼含有 40% DDGS 的飼糧的豬，攝食量可能略有下降，這可能是由於與玉米-大豆粕飼糧相比，DDGS 中的纖維含量更高。然而，

表4、不同乙醚萃取物 (EE) 含量的飼糧 DDGS，對生長肥育豬整體生長效能、屠體特性和腹部脂肪品質的影響 (改編自 Wu 等人，2016a)

		40% DDGS			
項目	**CON[1]**	**低[1]**	**中[1]**	**高[1]**	**測量標準誤[2]**
豬欄數	12	12	12	12	
體重，公斤					
最初	39.24	39.52	38.95	39.58	0.90
最終	122.7[a]	118.7[b]	118.6[b]	119.4[b]	0.90
整體 ADFI，公斤	2.72[a]	2.65[ab]	2.61[b]	2.60[b]	0.03
整體 ADG，公斤	0.97[a]	0.92[b]	0.92[b]	0.93[b]	0.01
整體增重飼料比	0.368[a]	0.356[b]	0.365[a]	0.367[a]	0.003
熱屠體重量，公斤	90.97[a]	86.69[b]	86.80[b]	87.24[b]	0.88
屠體產量 %	74.2[a]	73.0[b]	72.9[b]	73.0[b]	0.20
背脂深度[3]，毫米	20.6	19.9	19.2	19.8	0.5
腰肌面積[3]，平方公分	42.06[a]	39.38[b]	39.09[b]	39.37[b]	0.53
無脂肪瘦肉[3] %	51.9	51.60	51.9	51.6	0.3
腹部脂肪 IV[4]	60.17[a]	70.74[b]	72.03[b]	76.41[c]	0.79

[1]CON=玉米-大豆粕控制飼糧；低=低油DDGS(5.9% EE)飼糧；中=中油DDGS(9.9% EE)飼糧；高=高油DDGS(14.2% EE)飼糧

[2]合併測量標準誤

[3]最終BW用作統計分析中的共變量。

[4]IV=碘值

[a,b]一橫列內，上標不同的均數有差異(P小於0.05)

餵飼含油量不同但預測 ME 含量相似的 DDGS，對整體平均每日增重 (ADG) 和屠體特性沒有影響。低中油 DDGS 來源的較低含油量減少豬隻對多元不飽和脂肪酸的攝入量，並因為腹部脂肪的碘值 (IV) 降低而改善豬肉脂肪品質。此外，這些結果顯示，使用 Urriola 等人 (2014) 的最佳方程式，可以準確地預測含油量大於 6% 的 DDGS 的 ME 含量。然而，有鑑於餵飼低油 (6% EE) DDGS 飼糧的豬隻身上，增重飼料比略有下降，可能需要進一步改進 ME 預測方程式，以便準確預測低油 (EE 低於 6%) DDGS 來源的 ME 含量。如同 Urriola 等人 (2014) 所述，值得注意的是，不應使用 NRC (2012) 的能量預測方程式，因為這些方程式低估了減油 DDGS 來源的真實 ME 含量。

淨能

淨能 (NE) 系統提供一種比 ME 系統更準確的方法，可滿足餵飼高纖維飼糧的豬隻的能量需求 (Noblet 等人，1994)。因此，美國的豬營養學家正在使用 NE 系統來調配 DDGS 飼糧，以便在高飼糧添加率 (超過 30%) 下，獲得令人滿意的生長效能和屠體組成。可惜的是，為確定 DDGS 來源的 NE(乾物質基礎) 含量而進行的研究，目前數量相當有限 (**表 5**)。

Gutierrez 等人 (2014) 利用比較屠宰法，確定傳統 DDGS 來源 (13.0% EE) 和未煮過的 (發酵前經過酵素處理) DDGS 來源 (2.6% EE) 的 NE 濃度。與肥育階段相比，傳統 DDGS 來源在生長期餵飼豬的 NE 含量較低 (分別為 2,173 和 2,697 千卡/公斤)。然而，在生長期和肥育期之間，未煮過的 DDGS 來源的 NE 含量沒有差異 (2,120 和 2,058 千卡/公斤)。目前尚不清楚為什麼在肥育階段，相較於傳統 DDGS 來源，未煮過的 DDGS 來源的 NE 含量較低，但在生長階段則不然。與餵飼含較低粗脂肪的未煮過的 DDGS 來源相比，傳統 DDGS

的較高含油量可能導致屠體脂肪增加，在肥育階段可能更為明顯，因為肥育豬隻蓄積的屠體脂肪比生長豬隻來得多 (Gutierrez 等人，2014)。此外，這些 DDGS 來源的 NE 估計值低於玉米的 NE 值 (NRC，2012)，也低於 NRC (2012) 測定的 NE 值 (含油量超過 10% 的 DDGS 為 2,669 千卡/公斤，含油量低於 4% 的 DDGS 則為 2,251 千卡/公斤)。然而，重要的是要認識到 NRC (2012) 測定的 NE 值有待商榷，因為它們不是直接透過活體內實驗測定，而是使用以完全飼料為基礎的預測方程式計算得出。

Kerr 等人 (2015a) 使用雙能 X 光吸收測定法測定了六種玉米 DDGS 來源的 NE 含量 (**表 6**)。儘管這些 DDGS 來源的油濃度從 7.0% 到 13.3% 不等，但不同來源的 NE 含量並沒有差異 (2,012 至 2,253 千卡/公斤)。這六種來源的平均 NE 含量為 2,135 千卡/公斤，低 NE 值分別比玉米 (NRC，2012) 和 Gutierrez 等人 (2014) 測定的傳統 DDGS (生長期和肥育期之間的平均值) 的 NE 含量低 29.4% 和 12.3%。本研究的結果再次證實，DDGS 的粗脂肪含量不是 DDGS 來源中能量含量的良好指標。可惜的是，Kerr 等人 (2015) 無法利用數量有限的 DDGS 來源開發 NE 預測方程式，原因在於評估的來源之間，化學組成缺乏高度變異性。

在其他實驗中，Graham 等人 (2014b) 藉由計算和比較餵飼 DDGS 飼糧，以及玉米–大豆粕對照飼糧的豬隻的 NE 效率，並使用 NRC (2012) 公佈的玉米和大豆粕 NE 含量值，估算了四種 DDGS 來源的 NE 濃度。估計的 NE 值範圍介於 2,122 至 2,893 千卡/公斤之間，似乎與 DDGS 的 EE 濃度呈正相關 (NE，千卡/公斤=1,501.01 + 115.011 × EE%；調整後的

表5、玉米 DDGS NE (千卡/公斤，乾物質) 含量已公佈之估計值摘要

		DDGS 的 NE				DDGS 相對於玉米[1](%)
項目	**n**	**平均數**	**最小值**	**最大值**	**標準差**	
Gutierrez 等人，2014[2]	1	2,435	-	-	-	80.5
Gutierrez 等人，2014[3]	1	2,089	-	-	-	69.1
Graham 等人，2014[b]	4	2,551	2122.0	2,893	318.8	84.3
Kerr 等人，2015[a]	6	2,135	2012.0	2,253	89.2	70.6
Wu 等人，2016[c]	4	2,660	2182.0	2,915	-	87.9
NRC，2012，> 10 % 油	-	2,384	-	-	-	78.8
NRC，2012，> 6 和 < 9 % 油	-	2,343	-	-	-	77.4
NRC，2012，< 4 % 油	-	2,009	-	-	-	66.4

[1]根據美國國家科學研究委員會 (NRC)，DDGS 來源平均 NE 佔玉米 NE 值的百分比 (2012)

[2]傳統 DDGS 來源

[3]未煮過的 (發酵前經過酵素處理) DDGS 來源

表6、不同粗脂肪含量和其他營養成分的豬用 DDGS 來源之 NE 含量排序 (乾物質基礎；改編自 Kerr 等人，2015)

DDGS 來源	NE，千卡/公斤	ME，千卡/公斤	NE/GE %	NE/ME %	粗脂肪 %	NDF%	粗蛋白質 %	澱粉%	灰分%
6	2,381	3,734	45	59	11.4	31.1	32.2	5	6
5	2,326	3,893	45.9	60.4	7	27.8	29.8	4.4	5.5
1	2,262	3,830	43	58	13.3	38.3	29.7	3	5
2	2,249	3,723	43	59	10.4	38.5	32.0	2.3	4.7
3	2,219	3,874	43	56	9.1	39.6	31.6	4	5
4	2,129	3,716	42.3	56.7	8	31	30.6	4.9	5.6

R2 = 0.86)。近年，Wu 等人 (2016) 針對生長肥育豬餵飼 4 種具有可變粗脂肪和估計 NE 含量的 DDGS 來源，並使用生長效能回應和 NRC (2012) 需求模型來估計這些來源的實際 NE 含量。NE 估計值範圍介於 2,182 至 2,915 千卡/公斤之間，平均為 2,660 千卡/公斤 (乾物質)。這些估計值遠高於 NRC (2012) 公佈的估計值，但與 Graham 等人 (2014b) 報告的估計值相似。Wu 等人 (2016c) 利用 Kerr 等人 (2015a) 和 Wu 等人 (2016c) 的結果，開發出 DDGS 的 NE 預測方程式，其中乙醚萃取物含油量介於 5.8% 至 12.2% 之間：

NE(千卡/公斤，乾物質) = –1130.5 + (0.727 × 總能量) + (23.86 × 乙醚萃取物) – (10.83 × NDF)；(R2 = 0.99；磷少於 0.01)。

然而，使用該方程式預測 RO-DDGS 的 NE 值之準確性，尚未在生長肥育豬的飼養試驗中獲得驗證。總結所有已發表的結果，減油 DDGS 中 NE 含量的最保守估計值為 2,012 千卡/公斤，但 2,374 千卡/公斤 (乾物質) 的平均 NE 值可能適用於大多數 DDGS 來源。

可消化胺基酸

影響 DDGS 飼糧添加率的最重要限制因素之一，在於不同來源的可消化胺基酸含量的固有變異性。目前已進行並發表幾項研究，確定了各種 DDGS 來源中胺基酸的標準化迴腸消化率 (SID)。然而，為了使用更高的 DDGS 飼糧添加率，營養學家需要藉由一些方法，以動態方式估計在商業飼料配方中使用特定 DDGS 來源的可消化胺基酸含量。目前，飼糧 DDGS 的添加率受到限制，原因在於與大豆粕相比，DDGS 較不易消化、胺基酸分佈較不均衡，且來源之間具有變異性，因此人們擔心餵飼高 DDGS 含量飼糧會降低生長效能。

Olukosi 和 Adebiyi (2013) 總結了 1997 年至 2010 年所發表的研究中，與玉米 DDGS 來源之胺基酸組成相關的資料 (**表 7**)。雖然這些 DDGS 來源中，大多數含有超過 10% 的粗脂肪，但這些資料有助於瞭解 DDGS 來源之間，總胺基酸含量的固有變異性。此外，這些研究人員指出，粗蛋白質含量與精胺酸 (r=0.44)、異白胺酸 (r=0.26)、離胺酸 (r=0.22) 和色胺酸 (r=0.33) 之間的相關性較低且不顯著。這表示對於判斷玉米 DDGS 中這些胺基酸的濃度，粗蛋白質是較弱的指標，且尚未開發出預測方程式。儘管其他必需胺基酸的濃度與粗蛋白質含量顯著相關 (組胺酸、白胺酸、甲硫胺酸、苯丙胺酸、息寧胺酸和纈胺酸的 r 分別= 0.68、0.49、0.73、0.81、0.59 和 0.61)，但它們通常較低，並導致預測方程式具有較低的 R2 值 (0.23 至 0.66)。這些結果證實，粗蛋白質含量無法有效預測玉米 DDGS 中的胺基酸含量，必須直接測量胺基酸才能獲得準確的測定結果。

表7、1997-2010 年玉米 DDGS 來源必需胺基酸組成的變化 (改編自 Olukosi 與 Adebiyi，2013)

	平均數	最低值	最大值	標準差	變異係數 %
精胺酸 %	1.22	1.06	1.46	0.10	8.00
半胱胺酸 %	1.73	1.49	1.97	0.06	11.10
組胺酸 %	0.74	0.65	0.91	0.07	9.40
異白胺酸 %	1.07	0.96	1.25	0.07	6.70
白胺酸 %	3.21	2.89	3.62	0.21	6.60
離胺酸 %	0.90	0.62	1.11	0.12	13.10
甲硫胺酸 %	0.52	0.44	0.72	0.06	12.00
苯丙胺酸 %	1.29	1.09	1.51	0.12	9.60
息寧胺酸 %	1.03	0.93	1.16	0.07	6.50
色胺酸 %	0.22	0.16	0.26	0.02	10.30
纈胺酸 %	1.42	1.30	1.61	0.10	6.70

表8、不同粗脂肪含量的豬用 DDGS 來源之總胺基酸含量、標準化迴腸消化率（SID）和標準化迴腸可消化胺基酸含量（SIDC）（依飼料原樣；改編自 Curry 等人，2014）。

	11.5% 油 DDGS			7.5% 油 DDGS			6.9% 油 DDGS		
	總計%	SID%	SIDC%	總計%	SID%	SIDC%	總計%	SID%	SIDC%
乾物質 %	90.60	-	-	89.00	-	-	87.50	-	-
AH EE[1] %	11.50	-	-	7.50			6.90		
粗蛋白質 %	25.70	79.8^{a}	20.50	28.00	72.8^{b}	20.40	27.90	73.6^{b}	20.50
精胺酸（Arg）	1.22	87.7^{a}	1.07	1.22	81.0^{c}	0.99	1.24	82.5^{bc}	1.02
半胱胺酸（Cys）	0.62	76.0^{a}	0.47	0.62	67.8^{c}	0.42	0.63	68.8^{bc}	0.43
組胺酸（His）	0.69	80.9^{a}	0.56	0.75	73.5^{b}	0.55	0.71	74.6^{b}	0.53
異白胺酸（Ile）	1.03	79.8^{a}	0.82	1.12	72.9^{b}	0.82	1.06	73.1^{bc}	0.77
白胺酸（Leu）	2.79	87.7^{a}	2.45	3.17	83.4^{bc}	2.64	3.07	82.2^{c}	2.52
離胺酸（Lys）	0.91	67.9^{a}	0.62	0.91	56.4^{c}	0.51	0.88	61.7^{b}	0.54
甲硫胺酸（Met）	0.52	88.1^{a}	0.46	0.59	84.8^{bc}	0.50	0.55	83.6^{c}	0.46
苯丙胺酸（Phe）	1.25	84.9^{a}	1.06	1.36	80.3^{bc}	1.09	1.35	79.8^{c}	1.08
息寧胺酸（Thr）	0.97	73.4^{a}	0.71	1.02	66.9^{c}	0.68	1.02	68.2^{bc}	0.70
色胺酸（Trp）	0.21	83.1^{a}	0.17	0.20	77.8^{c}	0.16	0.20	81.1^{ab}	0.16
纈胺酸（Val）	1.30	80.5^{a}	1.05	1.43	74.2^{bc}	1.06	1.33	74.6^{bc}	0.99

^{a,b,c}相似欄位的橫列內，上標不同的均數有差異(P小於0.05)

[1]AH EE = 酸水解乙醚萃取物

目前已進行了四項研究，以確定從 DDGS 萃取部分油脂，對於胺基酸標準化迴腸消化率 (SID) 和 SID 胺基酸含量 (SIDC) 的影響。Ren 等人 (2011) 指出，低油 (2.9% 至 4.1% 的乙醚萃取物)DDGS 來源中，胺基酸的 SID 與傳統的高油 (超過 10% 的乙醚萃取物) 來源沒有區別。Li 等人 (2015) 評估了 DDGS 中不同的濃縮釀酒可溶物比例及含油量，結果顯示減油 DDGS 中的胺基酸 SID 低於高油 DDGS，其中較高的 CDS 比例通常會降低高油 DDGS 中的胺基酸 SID，但對於低油 DDGS 則不然。Curry 等人 (2014) 指出，與傳統 DDGS (12.7% 酸水解 EE) 相比，兩種減油 DDGS 來源 (8.4% 和 7.9% 酸水解 EE；乾物質基礎) 中，大多數胺基酸的 SID 值有所降低，且減油 DDGS 中的較低胺基酸消化率，無法藉由在飼糧中添加脂肪克服 (**表 8**)。Gutierrez 等人進行的一項研究 (2016) 更發現，若再玉米–大豆粕豬隻飼糧中添加更多減油 DDGS 來源，飼糧離胺酸的表面迴腸消化率會降低。然而，在這些飼糧中添加 6% 的大豆油，即可增加離胺酸的表面迴腸消化率。這兩項研究觀察到，在油脂萃取過程中，纖維、澱粉、蛋白質基質可能發生顯著

表9、2006 年至 2015 年豬用玉米 DDGS 來源的化學組成變化（88% 乾物質基礎；改編自 Zeng 等人，2017）

營養素	平均數	變異係數 %
粗蛋白質 %	27.1	8.7
粗纖維 %	8.2	26.2
NDF %	34.1	13.4
ADF %	11.5	21.2
乙醚萃取物 %	8.8	36.3
灰分 %	4.1	24.9

表10、2006 年至 2015 年豬用玉米 DDGS 來源之總胺基酸含量和標準化迴腸消化率 (SID) 變化及變異性 (變異係數：CV %) (88% 乾物質基礎；改編自 Zeng 等人，2017)

必需胺基酸	平均總計%	變異係數%	SID 係數%	變異係數%
精胺酸 %	1.15	11.8	0.83	6.8
組胺酸 %	0.74	14.2	0.78	5.5
異白胺酸 %	0.99	11.8	0.76	9.2
白胺酸 %	3.16	13.7	0.85	4.0
離胺酸 %	0.80	17.9	0.62	13.5
甲硫胺酸 %	0.54	15.1	0.82	7.0
苯丙胺酸 %	1.32	12.3	0.82	4.5
息寧胺酸 %	1.01	15.5	0.71	7.1
色胺酸 %	0.20	16.3	0.72	12.7
纈胺酸 %	1.35	11.1	0.77	5.9

表11、豬用 DDGS 的標準化迴腸可消化 (SID) 胺基酸含量預測方程式 (88% 乾物質基礎；Zeng 等人，2017)

胺基酸，克/公斤	方程式	R2
SID 精胺酸	=-0.26+(精胺酸，克/公斤×0.97) - (NDF，克/公斤×0.004)	0.99
SID 組胺酸	=-0.08+(組胺酸，克/公斤×0.94) - (NDF，克/公斤×0.003)	0.99
SID 異白胺酸	=0.07+(異白胺酸，克/公斤×0.90) - (NDF，克/公斤×0.005)	0.99
SID 白胺酸	=0.30+(白胺酸，克/公斤×0.90) - (ADF，克/公斤×0.018)	0.97
SID 離胺酸	=-1.03+(離胺酸，克/公斤×0.88) - (NDF，克/公斤×0.003)	0.98
SID 甲硫胺酸	=-0.22+(甲硫胺酸，克/公斤×1.00) - (NDF，克/公斤×0.002)	0.99
SID 甲硫胺酸+半胱胺酸	=0.05+(甲硫胺酸+半胱胺酸，克/公斤×0.92) - (NDF，克/公斤×0.005)	0.99
SID 苯丙胺酸	=0.15+(苯丙胺酸，克/公斤×0.92) - (NDF，克/公斤×0.004)	0.99
SID 息寧胺酸	=1.30+(息寧胺酸，克/公斤×0.64) - (ADF，克/公斤×0.028)	0.99
SID 色胺酸	=-0.17+(色胺酸，克/公斤×0.89)	0.99
SID 纈胺酸	=-0.49+(纈胺酸，克/公斤×0.87) - (ADF，克/公斤×0.070)	0.99

變化，導致更容易在乾燥過程中受到熱損壞，進而可能導致胺基酸消化率略為降低。目前已開發出用於估計熱損壞DDGS中胺基酸消化率的預測方程式 (Almeida 等人，2013)，但其準確性或精確度尚未得到驗證。近年，Zeng 等人 (2017) 總結了 2006 年至 2015 年之間，22 篇同儕審核出版物及一篇碩士論文的資料集 (**表 9 和 10**)。與 Olukosi 和 Adebiyi (2013) 報告的資料相比，這些資料更能反映減油玉米 DDGS 來源的化學組成和變異性。這些研究人員進行了一項後設分析，以開發用於豬用減油DDGS的標準化迴腸可消化胺基酸預測方程式 (**表 11**)。DDGS 的胺基酸和 NDF 或 ADF 含量，是生長期豬用 DDGS 的 SID 胺基酸含量的良好預測指標，與過去發表的研究相

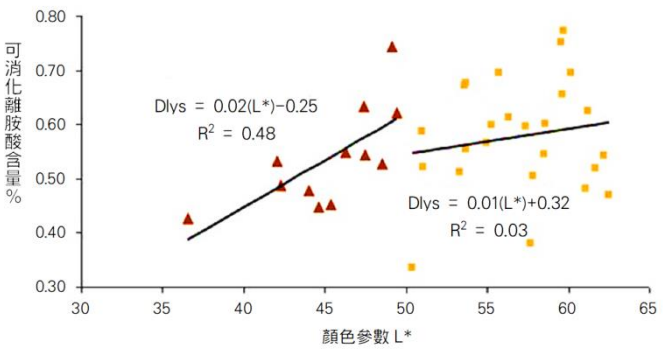


圖 1、37 種 DDGS 來源的顏色亮度 (L*) 與可消化離胺酸含量之間的相關性 (Urriola 等人，2013)

比，這些預測方程式的準確性和精確度獲得大幅提升。因此，這些方程式可用於準確估計各種豬用減油 DDGS 來源的 SID 胺基酸含量。

儘管初步研究結果顯示，DDGS 顏色 (L* 和 b*) 可能有助於估計餵飼豬隻和家禽之 DDGS 來源的可消化胺基酸含量，但 Urriola 等人近年的一項研究 (2013) 顯示，顏色並非 DDGS 中胺基酸消化率的準確預測指標。Urriola 等人 (2013) 確定了 34 種玉米 DDGS、一種高粱 DDGS 和兩種小麥 DDGS 中，胺基酸的標準化迴腸消化率 (圖 1)。這些結果顯示，不同來源 DDGS 的胺基酸消化率可能存在顯著差異，雖然比起大於 50 的 L* 值，小於 50 的 L* 值與可消化離胺酸含量的相關性更高，但兩種比較中的 R2 都很低 (分別為 0.48 和 0.03)。因此，不應使用顏色作為玉米 DDGS 中可消化胺基酸含量的預測指標。

明尼蘇達大學的研究人員開發出使用光學密度和前表面螢光 (Urriola 等人，2013)，估計 34 種 DDGS 來源中胺基酸消化率 (離胺酸、甲硫胺酸、息寧胺酸、色胺酸) 的方法。某些 DDGS 來源的胺基酸消化率降低，部分原因在於生產和乾燥過程中的熱處理。在還原糖存在的情況下對蛋白質進行溫和加熱，會形成希夫鹼或早期梅納產物，而更劇烈的加熱會產生進階梅納產物或梅納汀。部分早期梅納產物具有環狀結構，可使用螢光檢測。前表面螢光是一種快速的方法，可以量化 DDGS 中的熱損壞，並進行校準以預測 34 種 DDGS 來源中胺基酸 (離胺酸、甲硫胺酸、息寧胺酸、色胺酸) 的 SID(Urriola 等人，2013)。然而，使用這種方法估計 DDGS 來源中胺基酸 SID 的準確性尚未得到驗證。

研究還顯示，DDGS 中的胺基酸不僅不易消化，且生物利用率也較低 (FontaiNE 等人，2007；Pahm 等人，2008)。DDGS 乾燥過程中的熱處理，會對飼料原料中的蛋白質產生多種影響 (MeaDE 等人，2005)。熱不僅會直接降解離胺酸，且會增加不易消化和吸收的離胺酸比例，或者在吸收後未經利用而從尿液排出 (Rutherfurd, 2015)，離胺酸就會發生梅納反應，產生沒有營養的產物。目前已運用 Guanidination 反應 (即 O-甲異脲與離胺酸的側鏈胺基產生反應，製造出高精胺酸) 來測定未改質的離胺酸 (反應性離胺酸)。整體而言，暴露於高溫會降低可消化和用於蛋白質沉澱的生物可利用離胺酸比例，導致豬隻的生長效能和屠體瘦肉百分比降低 (Almeida 等人，2014)。

DDGS 中胺基酸的熱損壞，目前指出與梅納反應有關，這種反應是在熱處理過程中，蛋白質 (DDGS 中約 27%) 和糖或澱粉 (DDGS 中約 2-8%) 混合物緊密結合所導致 (FontaiNE 等人，2007)。然而，脂質 (DDGS 中 5-12% 的乙醚萃取物) 和脂質過氧化產物也會與基質中的胺基酸產生反應，製造出生物無法利用的降解產物 (MeaDE 等人，2005)。熱應力會導致不飽和脂肪酸 (如玉米油中的亞麻油酸) 過氧化，進而形成氫過氧化物、醛、酮等其他過氧化產物。氫過氧化物會造成甲硫胺酸、胱胺酸和色胺酸氧化，而醛和酮會與離胺酸和組胺酸產生反應。先前的研究顯示，在 DDGS 乾燥過程中對玉米油進行熱處理時，氫過氧化物和醛類含量會增加，可能是玉米粒中玉米油的 20 至 25 倍 (Song 和 Shurson，2013)，這對生長效能和肉類品質有所影響。本研究目的在於確定玉米 DDGS 中的脂質過氧化程度。因此，由於玉米 DDGS 來源的含油量不同，在熱的影響下，可能不僅形成梅納產物，也會產生脂質過氧化產物，進而降低離胺酸和其他胺基酸的消化率。

目前已開發出多種方法，用於確定飼料原料中生物可利用離胺酸的比例，包括 Furosine 法 (Finot，2005)、反應性或 Guanidination 法 (Rutherfurd，2015)。目前已運用 Guanidination 反應 (即 O-甲異脲與離胺酸的側鏈胺基產生反應，製造出高精胺酸) 來測定未改質的離胺酸 (反應性離胺酸)，另也包括其他化學統計方法，例如利用前表面螢光 (Urriola 等人，2013) 測量 34 種 DDGS 來源的離胺酸、甲硫胺酸、息寧胺酸、色胺酸，以及液相層析質譜儀法 (LC-MS；Wang 等人，2016)。Guanidination 和 Furosine 方法耗時且昂貴。因此，這些方法尚未進一步開發用於

商業用途，以評估 DDGS 來源的胺基酸生物利用率。前表面螢光 (FFF) 是一種快速的分析方法，有望用於測量 DDGS 中生物可利用的離胺酸部分。然而，這種方法尚未得到驗證，僅依賴會發出螢光的環狀結構之形成。LC-MS 化學統計可能是更全面的分析方法，可以量化熱處理過程中產生的多種化合物。事實上，LC/MS 和 FFF 用於確定牛奶加工的品質和後果 (Ntakatsane 等人，2011)。還需要更多的研究，才能找出實用、快速、準確且較不昂貴的方法，以估計豬隻和家禽 DDGS 中的胺基酸生物利用率。

可消化磷

磷是豬隻飼糧中第三昂貴的成分，而 DDGS 不同於所有其他穀物和穀物副產品，含有高濃度的總磷和可消化磷。因此，若在以可消化磷作為調配基礎的豬隻飼糧中添加 DDGS，可以顯著減少無機添加和飼糧成本。此外，許多乙醇工廠在乙醇和 DDGS 生產過程中添加植酸酵素，進一步提高了 DDGS 的磷消化率，但也導致 DDGS 來源之間可消化磷含量的差異。

有時，各種不同用於表達豬隻飼糧磷利用率的方式，會讓營養學家感到困惑。總磷代表飼料原料中存在的所有磷，包括穀物和穀物副產品中稱為植酸 (植酸鹽) 的磷的不可消化部分。因此，若以總磷作為調配飼糧的基礎，可能會未考慮到可供豬隻利用的磷量，而高估可消化磷的含量。生物可利用磷是指總磷中，經消化、吸收和用於生物功能或儲存在體內的比例。磷的生物利用率通常在消化率實驗中使用斜率比測定法確定，並在理論上估計磷在身體組織中的可消化和吸收後利用率。磷的生物利用率也經常描述為有效磷。使用斜率比測定法來確定有效磷的方法，需要擬合由無機磷來源提供的飼糧磷之線性滴定斜率，以及由此產生的反應 (生長率或骨灰分)，並將其與試驗原料的相同反應標準之線性滴定斜率進行比較。然而，這種方法的缺點在於假設無機來源的生物利用率為 100%，但事實並非如此，此外，還包括基於所選反應標準的估計值差異及相對較高的成本。因此，使用磷的生物利用率估計值時，務必記住，這些估計值與比較中使用的參考無機來源的生物利用率有關，且不代表真正的生物利用率。若未考慮這一點，以有效磷為基礎調配的飼糧會高估實際利用的磷量。為克服這些挑戰，近年的研究使用一套研究方法來估計磷的表面總腸道消化率 (ATTD) 或磷的標準化總腸道消化率 (STTD)。ATTD 和 STTD 磷之間的差異在於，STTD 修正了磷的基礎內源性損失，進而提高估計真實消化率的準確性。因此，使用 ATTD 磷值可能會低估磷的真實消化率，因為這個方法並未考慮到基礎內源性損失。Shen 等人 (2002) 估計，玉米中磷的基礎內源性損失約佔豬隻每日磷需求量的 26%。因此，修正內源性損失後，磷的 STTD 值是所有飼料原料的累加值，可最準確地估計飼糧中磷的真實消化率 (Gonçalves 等人，2017)。

NRC (2012) 針對含油量為 6% 至 9% 之 DDGS 中的磷，分別將 ATTD 和 STTD 列為 60% 和 65%。近年的研究顯示，這些估計值偏低且相當保守。Almeida 和 Stein (2010) 測定 DDGS 的 STTD 磷含量為 72.9%，而添加 500 個植酸酵素單位/公斤的微生物植酸酵素飼糧，並未改善 STTD 的磷含量 (75.5%)，不同於在玉米或大豆粕飼糧中添加的結果。此外，他們指出，以 STTD 磷作為飼糧調配基礎不會降低豬的生長效能，而在玉米-大豆粕飼糧中使用植酸酵素、DDGS 或兩者的組合，可減少豬隻生長期的磷排泄量。在隨後的一項研究中，Almeida 和 Stein (2012) 指出，添加 130、430、770 或 1,100 FTU/公斤的微生物植酸酵素，通常會分別將磷的 STTD 提高 76.9%、82.9%、82.5% 和 83.0%。這些研究人員開發出迴歸方程式，用於預測 DDGS 中磷的 STTD，但由於 R2 值僅為 0.20，因此不足以預測 DDGS 中磷的 STTD。

Hanson 等人 (2011) 說明了在含有 0、10 或 20% DDGS 的飼糧中，以有效磷或總磷作為 DDGS 飼糧調配基礎的優勢。本研究結果顯示，增加 DDGS 的飼糧添加率會降低飼糧總磷含量和糞便磷濃度，但不影響磷的排泄、保留或消化率。Baker 等人 (2013) 藉由兩項實驗，針對豬隻生長期使用的 DDGS，比較磷的 STTD 值及相對生物利用率 (相對於磷酸二

鈣)。磷酸二鈣和 DDGS 中，磷的 STTD 值分別為 86.1% 和 58.8%，而相對於磷酸二鈣，DDGS 中磷的生物利用率為 87%。然而，這些研究人員認為，DDGS 中的相對磷生物利用率高估了 DDGS 中磷的真實利用率，且針對 DDGS 中的相對生物利用率磷值，無法準確計算磷的 STTD 估計值。因此，有必要確定和使用豬用飼料原料中磷的 STTD 值，以實現最佳的磷營養。

Rojas 等人 (2013) 測定了添加 (82.8%) 和不添加 (76.5%) 微生物植酸酵素 (870 FTU/公斤飼糧) 之 DDGS 中磷的 STTD，這些值沒有顯著差異。據推測，在這些研究中，添加植酸酵素之所以對磷的 STTD 值沒有改善 (即使有也不明顯)，是由於所評估的 DDGS 來源中，植酸鹽含量相對較低。

She 等人 (2015) 確定了在飼糧中添加 600 FTU/公斤的植酸酵素時，含有 10.3% (高油)、9.1% (中油) 和 3.5% (低油) 之 DDGS 來源中的磷 STTD 值。在他們的實驗中，高、中和低油 DDGS 來源中磷的 STTD 值分別為 71.2%、70.8% 和 71.8%。這些資料顯示 DDGS 的含油量對 DDGS 中磷的 STTD 值沒有影響。

總而言之，飼餵豬隻 DDGS 飼糧時，若以磷的 STTD 值作為調配飼糧的基礎，便能以最高的準確性獲得最佳的磷營養。近年的研究結果顯示，磷的 STTD 值可能介於 59% 至 77% 之間，但通常大於 NRC (2012) 所報告的 65%。可惜的是，目前尚未針對豬隻，開發出估算 DDGS 中磷 STTD 值的適當預測方程式。因此，針對實際飼糧配方中任何來源的 DDGS，都應使用 NRC (2012) 對磷的 STTD 保守估計值。在 DDGS 飼糧中添加植酸酵素，對提高磷消化率的影響很小，可能是由於幾種 DDGS 來源中的植酸鹽含量相對較低。儘管 DDGS 中磷的相對生物利用率估計為磷酸二鈣的 87%，但該值高估了 DDGS 中磷的真實利用率。

生長效能

目前已進行大量研究，評估在飼糧中添加高油和減油 DDGS 來源 (添加率高達 60%) 的結果，使用的是 ME 或 NE 配方方法，對象為哺

表12、在飼糧中添加玉米 DDGS 對豬隻生長效能的影響 (2010 年以來 27 項研究的總結)

	DDGS—對照 (以百分比表示)[1]					
	ADG	ADFI	增重飼料比	最初體重[2]，公斤	最終體重，公斤	餵食天數
觀察數量	106	106	106	106	106	106
研究數量	27	27	27	27	27	27
均數	-2.4**	-0.7*	-1.2**	41.5	101.6	66.4
最低值	-12.3	-12.8	-17.7	6.7	17.5	20
最大值	4.1	18.0	6.5	105.7	134.9	120

**均數不等於 0 (P小於0.05)

*均數不等於 0 (P小於0.10)

[1]在分析中，觀察數量合併標準誤差的倒數用作權重因子

[2]BW = 體重

表13、在飼糧中添加玉米 DDGS 對豬隻生長效能反應的影響 (2010 年以來 27 項研究的總結)

		對飼糧玉米 DDGS 的反應[1]		
ADG	N	增加	減少	沒有改變
ADG	106	0	30	76
ADFI	106	10	29	67
增重飼料比	106	7	28	71

[1]在分析中，觀察數量合併標準誤差的倒數用作權重因子

乳豬和生長肥育豬。此外，執行了一項後設分析，回顧 2010 年至 2017 年期間發表的 26 篇同儕審核參考文獻和一篇論文，並總結這些因素的整體影響，作者包括：Asmus 等人，2014a;Benz 等人,2011;Coble 等人,2017；Cromwell 等人，2011；Davis 等人，2015；Duttlinger 等人，2012；Graham 等人，2014a,b,c；Hardry matteran，2013；Jacela 等人，2011；Jha 等人，2013；Jones 等人，2010；Kerr 等人，2015a；Lammers 等人，2015；LEE 等人，2013；Li 等人，2012；McDonnell 等人，2011；Nemechek 等人，2015；Overholt 等人，2016a；Pompeu 等人，2013；Salyer 等人，2013；Seabolt 等人，2010；Tsai 等人，2017；Wang 等人，2012；Wu 等人，2016a；Ying 等人，2013。**表 12** 根據 27 項研究的資料，總結了餵飼 DDGS 飼糧對哺乳豬和生長肥育豬的整體生長效能反應（相對於餵飼對照飼糧，以百分比表示），相當於 106 個觀察結果。與餵飼不含 DDGS 的對照飼糧相比，餵飼 DDGS 飼糧的豬隻的 ADG（–2.4%）和增重飼料比（–1.2%）有微小、顯著的下降（P 小於.05），且 ADFI 呈現略為下降（–0.7%）的趨勢（P 小於 0.10）。然而，正確解讀這些結果非常重要。首先，這些結果是以 DDGS 飼糧添加率超過 20% 的研究為依據，在本總結所涵蓋的部分研究中，DDGS 添加率更高達 60%。其次，儘管這些整體反應結果為負值，ADG 的 2.4%變化相當於生長肥育豬每天增重 0.90 公斤（相對於 0.92 公斤），且增重飼料比為 0.45（相對於 0.46）。在商業豬隻生產系統中，這些微小的差異非常難以測量。此外，通常藉由在豬隻飼糧中添加 DDGS 所省下的飼料成本，遠遠超越生長速度可能稍微下降的影響，尤其在高（超過 20%）飼糧添加率的情況下。第三，這些輕微的下降，通常是由於營養學家經常在調配 DDGS 飼糧時使用不準確的 ME、NE 和可消化胺基酸值，尤其是對於呈現最弱（最小）反應的研究。事實上，在研究中對生長效能反應的 106 個觀察結果中，大多顯示餵飼 DDGS 飼糧和對照飼糧，並未導致 ADG（72% 的觀察）、ADFI（63% 的觀察）和增重飼料比（67% 的觀察）產生變化（**表 13**）。

表 14、餵飼高油（超過 10%）和減油（低於 10%）玉米 DDGS 對豬隻生長效能反應的影響（2010 年以來 27 項研究的總結）[1]

	DDGS – 對照（以百分比表示）			最初體重，公斤	最終體重，公斤	餵食天數
	ADG	ADFI	增重飼料比			
高油 DDGS						
觀察數量	34	34	34	34	34	34
研究數量	9	9	9	9	9	9
均數	-1.7**	-0.3	-1.3**	48.6	119.5	75
最低值	-9.0	-7.9	-7.6	30.3	81.7	43.0
最大值	3.2	8.2	3.7	49.7	134.9	96
減油 DDGS						
觀察數量	72	72	72	72	72	72
研究數量	19	19	19	19	19	19
均數	-2.6**	-0.8*	-1.1**	9.4	20.2	25
最低值	-12.3	-12.8	-17.7	6.7	17.5	20
最大值	4.1	18	6.5	105.7	132.9	120

**均數不等於 0 (P小於0.05)

*均數不等於 0 (P小於0.10)

[1]在分析中，觀察數量合併標準誤差的倒數用作權重因子

[2]BW = 體重

如表 14 所示，在這些研究的 106 個觀察中，有 72 個評估了餵飼減油 DDGS 的豬隻的生長效能反應。相較於餵飼高油（粗脂肪超過 10%）DDGS 來源的 ADG（–1.7%）和增重飼料比（–1.3%）的小幅減少，餵飼減油 DDGS 之豬隻的 ADG（–2.6%）和增重飼料比（–1.1%）整體減少幅度稍大一些，但仍然偏小。這些微小的差異可能是由於在調配實驗飼糧時，對低油 DDGS 來源使用不準確的能量和可消化胺基酸值。整體而言，這 27 項研究中的多數觀察結果顯示，餵飼高油或減油 DDGS，對 ADG（高油 88%，減油 64%）、ADFI（高油 56%，低油 67%）和增重飼料比（高油 62%，低油 69%）沒有變化（表 15）。

儘管大多數研究（27 項中的 22 項）使用 ME 系統對照 NE 系統（表 16）來調配飼糧，但相較於 ME 系統，使用 NE 系統似乎導致減少幅度稍大一些，但仍然偏小的 ADG（–2.6%）和 ADFI（–1.8%），而增重飼料比（–0.4%）的減少幅度則較小；ME 系統的數值分別為–2.3%、–0.5% 和–1.5%。這些微小的差異並不會產生很大的實際後果，這可能是因為這些研究所使用的 DDGS 來源的 NE 值定義不夠明確。同樣地，多數觀察結果顯示 ADG（ME 為 71%，NE 為 76%）、ADFI（ME 為 64%，NE 為 62%）和增重飼料比（ME 為 59%，NE 為 100%）沒有

表15、餵飼高油（粗脂肪超過 10%）和減油（粗脂肪低於 10%）玉米 DDGS 飼糧對豬隻生長效能反應的比較（2010 年以來 27 項研究的總結）

		對高油玉米 DDGS 的反應[1]		
	N	增加	減少	沒有改變
ADG	34	0	4	30
ADFI	34	9	6	19
增重飼料比	34	1	12	21
		對減油玉米 DDGS 的反應[1]		
	N	增加	減少	沒有改變
ADG	72	0	26	46
ADFI	72	1	23	48
增重飼料比	72	6	16	50

[1]顯著和不顯著結果的數量

表16、在調配玉米 DDGS 飼糧時使用代謝能（ME）與淨能（NE）系統對豬隻生長效能反應的影響（2010 年以來 27 項研究的總結）[1]

	DDGS—對照（以百分比表示）					
	ADG	ADFI	增重飼料比	最初體重，公斤	最終體重，公斤	餵食天數
ME						
觀察數量	85	85	85	85	85	85
研究數量	22	22	22	22	22	22
均數	-2.3**	-0.5	-1.5**	48.6	119.5	75
最低值	-12.3	-12.8	-17.7	6.7	17.5	134.9
最大值	4.1	18.0	6.5	100.6	134.9	96
NE						
觀察數量	21	21	21	21	21	21
研究數量	5	5	5	5	5	5
均數	-2.6**	-1.8**	-0.4	9.4	20.2	25
最低值	-9.0	-7.9	-4.9	29.1	106.2	20
最大值	3.2	7	3.5	105.7	130.0	93.0

**均數不等於 0 (P小於0.05)

[1]在分析中，觀察數量合併標準誤差的倒數用作權重因子

表17、在調配玉米 DDGS 飼糧時使用代謝能（ME）與淨能（NE）系統對豬隻生長效能反應的影響（2010 年以來 27 項研究的總結）[1]

		對使用玉米 DDGS 中 ME 含量的反應[1]		
	N	增加	減少	沒有改變
ADG	85	0	25	60
ADFI	85	10	31	54
增重飼料比	85	7	28	50
		對玉米 DDGS 中 NE 含量的反應[1]		
	N	增加	減少	沒有改變
ADG	21	0	5	16
ADFI	21	0	8	13
增重飼料比	21	0	0	21

[1]顯著和不顯著結果的數量

變化（表 17）。

儘管相較於生長肥育豬（n=87），哺乳豬（n=19）的生長效能反應觀察結果較少，但在餵飼 DDGS 飼糧時，哺乳豬中 ADG 和增重飼料比的相對減少幅度似乎更大（表 18）。然而，在這些觀察結果中，68% 的反應顯示 ADG 沒有變化，89% 顯示 ADFI 沒有變化，74% 的觀察顯示對增重飼料比沒有影響（表 19）。因此，在一項研究中，餵飼 DDGS 飼糧的哺乳豬生產效能下降幅度較大，似乎是負面反應的結果。因此，若利用準確的 DDGS 可消化營養成分資料來調配哺乳豬飼糧，在大多數情況下，相較於餵飼對照飼糧，生長效能不會發生變化。

在美國，生長肥育豬隻飼糧中的玉米 DDGS 添加率通常介於 20% 至 30% 之間，但由於 DDGS 通常可以節省大量的飼料成本，幾家大型豬肉生產公司開始將飼糧中的 DDGS 添加率提升到 60%，以省下更多的飼料成本，即使這可能導致生長效能略為下降。在美國，可藉由使用近期通過核准的飼料添加劑（Liponate™；Nutriquest，Mason City，愛荷華州）防止屠體脂肪蓄積部位變軟，或是餵飼減油 DDGS 並在屠宰前幾週從飼糧中移除，讓餵飼 DDGS 含量超過 30% 的豬隻脂肪品質達到可接受的水準。相較之下，由於擔心生長效能下降，DDGS 出口市場的許多營養學家注注不願意在生長肥育飼糧中使用超過 20% 的 DDGS。因此，使用較低的飼糧 DDGS 添加率並沒有實現顯著的

表18、餵飼哺乳豬與生長肥育豬玉米 DDGS 對生長效能反應的影響（2010 年以來 28 項研究的總結）[1]

	豬齡		
	DDGS—對照（以百分比表示）		
	< 35 公斤（體重）	> 35 公斤（體重）	標準誤差
觀察數量	19	87	-
研究數量	4	24	-
ADG	-6.3**	-2.2**	1.05
ADFI	-1.8	-3.7**	1.52
增重飼料比	-3.7**	1.4	1.28

**均數不等於 0（P小於0.05）

[1]在分析中，觀察數量合併標準誤差的倒數用作權重因子

表19、餵飼哺乳豬與生長肥育豬玉米 DDGS 對生長效能反應的影響 (2010 年以來 27 項研究的總結)[1]

		餵飼 DDGS 的哺乳豬的反應[1]		
	N	增加	減少	沒有改變
ADG	19	0	6	13
ADFI	19	0	2	17
增重飼料比	19	0	5	14
		餵飼 DDGS 的生長肥育豬的反應[1]		
	N	增加	減少	沒有改變
ADG	87	0	24	63
ADFI	87	10	27	50
增重飼料比	87	7	23	57

[1]顯著和不顯著結果的數量

飼料成本節約。然而，餵飼生長肥育豬 DDGS 含量高達 30% 的飼糧時，可藉由使用 ME 和 SID 胺基酸預測方程式來準確估計所餵飼 DDGS 來源的能量和可消化胺基酸含量，避免降低生長效能。此外，還需要使用補充合成胺基酸和脂肪或油，以滿足豬的需求。**表 20** 總結不同飼糧 DDGS 添加率下的生長效能反應。根據觀察結果，餵飼哺乳豬和生長肥育豬減油 DDGS 時，含量高達 20% 的飼糧對 ADG、ADFI 和增重飼料比的影響可以忽略不計。事實上，餵飼 DDGS 含量達 25% 至 30% 的飼糧時，對 ADG (70%)、ADFI (68%) 和增重飼料比 (62%) 大多數反應並未顯示出任何變化。然而，在有限的觀察結果中 (n=9)，大約一半顯示 ADG 和 ADFI 沒有變化，而另一半顯示分別減少了約 2.4%至 2.8%。儘管如此，這些負面反應的幅度很小 (例如，DDGS 和對照飼糧的 ADG 為 0.90 和 0.92 公斤/天)。

餵飼豬隻高 DDGS 含量 (超過 30%) 的飼糧，為什麼可能導致豬隻生長效能激幅下降，可以用幾種不同的原因解釋。首先，相較於玉米和大豆粕，DDGS 的纖維含量要高得多 (NDF 為 35% 至 45%)。纖維會降低豬隻飼糧的 ME 和 NE 含量，還會因腸道填滿而限制攝食量。因此，處於哺乳期和早期生長階段的豬隻，可能無法消耗足夠的高纖維飼糧來滿足其能量需求。藉由在飼糧中添加飼料酵素，來提高 DDGS 飼糧纖維利用率和 ME 和 NE 含量，已成為近年最廣泛研究的主題之一 (請參閱第 25 章)。可惜的是，在 DDGS 飼糧中使用市售的糖酵素和蛋白酵素，並未能為豬隻的纖維消化率和能量含量提供一致的實質性改善。其次，在飼糧配方中使用準確的 DDGS 的 ME 或 NE 值至關重要。許多營養學家不知道能夠使用準確的預測方程式，來估計 DDGS 可消化能中的可變能量 (ME) (Urriola 等人，2014)，以及玉米 DDGS 中的 ME。使用從這些方程式求出的 ME 值，將能確保最佳的飼糧配方，盡可能減少次佳的攝食量和生長。此外，胺基酸的標準化迴腸消化率受 DDGS 纖維濃度的影響 (Urriola 和 Stein，2010)，促使研究人員對已發表的資料展開後設分析，試圖提供準確的預測方程式，根據 DDGS 來源的總胺基酸和 NDF 含量 (單位：克/公斤)，動態估算玉米 DDGS 的 SID 胺基酸值 (Zeng 等人，2017)。事實上，有的商業公司 (例如 Nutriquest、Cargill 和 Evonik) 為營養學家提供估算 DDGS 中 SID 胺基酸值的服務。因此，營養學家應使用本章節中描述的預測方程式以及市售服務，來估計玉米 DDGS 來源中的 ME、NE 和 SID 胺基酸含量。

表20、玉米 DDGS 飼糧添加率對豬隻生長效能反應的影響（2010 年以來 25 項研究[1]的總結）

	DDGS--對照		對飼糧玉米 DDGS 的反應		
DDGS 添加率	均數 %	N	增加	減少	沒有改變
< 12.5%					
ADG	-0.95	13	0	2	11
ADFI	0.15	13	0	2	11
增重飼料比	-0.60	13	1	1	11
15 至 20%					
ADG	-0.91*	27	0	3	24
ADFI	-0.65	27	6	6	15
增重飼料比	-0.66	27	3	7	17
25 至 30%					
ADG	-3.20**	47	0	14	33
ADFI	-0.24	47	4	11	32
增重飼料比	-2.14**	47	1	17	29
> 30%					
ADG	-2.44**	9	0	5	4
ADFI	-2.28**	9	0	4	5
增重飼料比	-0.18	9	0	3	6

**均數不等於 0 (P小於0.05)

*均數不等於 0 (P小於0.10)

[1]來自 Jha 等人的資料 (2015) 已從分析中省略，因為 DDGS 飼糧包含大麥 (16%)、擠壓全脂亞麻籽和豌豆 (20%)。來自 Benz 等人的資料 (2011) 已從分析中省略，因為 DDGS 飼糧中添加了過氧化油，與對照飼糧相比，DDGS 飼糧的碘值大約高出 20 倍

餵飼高 (超過 30%) 飼糧添加率時，豬隻的生長效能可能受 DDGS 組成的其他層面影響，但這方面的研究較少。玉米 DDGS 含有高濃度的纖維，高飼糧纖維會增加豬隻對息寧胺酸的需求 (Zhu 等人，2005)。Mathai 等人 (2016) 指出，與食用低纖維飼糧的豬隻相比，食用大豆殼和豌豆纖維飼糧的豬隻，對息寧胺酸需求量有所增加 (以相對於離胺酸的比例表示)。取決於纖維組成，餵飼含有高濃度 DDGS 的飼糧時，息寧胺酸的內源性損失及因此產生的息寧胺酸需求可能會增加 (Blank 等人，2012)。根據 Huang 等人 (2017) 和 Saqui-Salces 等人 (2017a) 的資料，以及 NRC (2012) 的模型，相較於餵飼玉米-大豆粕飼糧 (3.2%)，餵飼高 DDGS 含量飼糧的息寧胺酸內源性損失 (佔需求的百分比) 估計為 7.7%。因此，DDGS 飼糧中最佳 SID 息寧胺酸與 SID 的比例可能為 61%，而玉米-大豆粕飼糧中為 59%。

除了 DDGS 纖維對內源性息寧胺酸損失的作用外，DDGS 還含有比大豆粕高 3.3 倍的白胺酸濃度，此外，白胺酸相對於異白胺酸 (1.12 X) 和纈胺酸 (1.47 X) 的高比例，可能導致餵飼豬隻高 (超過 30%)DDGS 飼糧 (減少大豆粕含量) 時，缺乏異白胺酸和纈胺酸。這三個支鏈胺基酸透過 α-酮酸去氫酵素複合體 (BCKDC) 共享相同的降解途徑。這種酵素會被一種激酵素滅活，其活性受到白胺酸分解代謝的產物改變 (Harris 等人，2004)。因此，過量攝入白胺酸會增加異白胺酸和纈胺酸的分解代謝 (Wiltafsky 等人，2010；Gloaguen 等人，2012)。不過，Htoo 等人 (2017) 確定了餵飼過量白胺酸 (超過 SID 白胺酸與離胺酸比例的 160) 的豬隻對異白胺酸和纈胺酸的需

求，含有 DDGS 的飼糧具有不同的白胺酸（相對於異白胺酸和纈胺酸）比例，而在 DDGS 飼糧配方使用這些支鏈胺基酸比例的有效性，尚未在大型商業豬隻生產系統中評估。飼糧白胺酸過量的影響，主要在於攝食量的減少。

DDGS 中過多的白胺酸含量，以及由此產生的異白胺酸和纈胺酸分解代謝，可以透過不同方法加以減輕，例如利用大豆粕中的粗蛋白質來滿足胺基酸需求，以及避免使用大量合成離胺酸和其他胺基酸（小於 0.15% 離胺酸 HCl；Stein 與 Shurson，2009）。然而，由於目前合成胺基酸和 DDGS 的價格相對較低，因此比較傾向於減少使用大豆粕，並在 DDGS 含量超過 30% 的豬隻飼糧中增加合成胺基酸的使用。此外，飼糧中過量白胺酸對異白胺酸和纈胺酸分解代謝的影響，也可以透過在飼糧中添加合成異白胺酸，達到足夠的胺基酸平衡來降低。目前正在進行研究，試圖評估哺乳豬和生長肥育豬飼糧中，DDGS 含量超過 30% 時的支鏈胺基酸平衡情況。

餵飼器設計與餵飼管理

在商業養豬設施中，使用的商業餵飼器設計非常多元，優缺點不盡相同。Bergstrom 等人（2012）比較了使用傳統乾燥餵飼器、乾溼混合餵飼器和各種餵飼器調整開口，對生長肥育豬隻生長效能和屠體特性的影響。這些研究人員觀察到，使用乾濕混合餵飼器餵飼的豬隻具有更高的 ADG、ADFI、熱屠體重量和屠體背脂厚度。他們也觀察到，與傳統的乾燥餵飼器相比，乾濕混合餵飼器對餵飼器調整的差異更為敏感。這項研究的結果衍生出後續研究，其中 Bergstrom 等人（2014）評估了生長肥育豬的生長效能和屠體特性，這些豬隻食用含有 20% 或 60% DDGS 的飼糧，以乾溼混合或傳統乾燥餵飼器餵飼（**表 21**）。本研究共使用了 1,080 頭豬，在商業農場進行。研究將豬隻放置在 40 個圍欄（927 頭豬/圍欄）中，其中包含乾濕混合餵飼器或傳統乾燥餵飼器。對於含油量超過 10% 的 DDGS，使用的是以 ME 作為調配基礎的飼糧（3,420 千卡/公斤 ME）。來自 Stein 等人的標準化迴腸消化率值（2006）在調配飼糧時應用於 DDGS。其他原料的所有其他 ME 和 SID 胺基酸值均來自 NRC（1998）。與使用傳統乾燥餵飼器相比，使用乾濕混合餵飼器餵養的豬隻有更高的生長速度、ADFI 和最終體重，但使用傳統乾燥餵飼器餵養的豬隻

表21、DDGS 飼糧添加程度和餵飼器設計對生長肥育豬生長效能和屠體特性的影響（改編自 Bergstrom 等人，2014）

	餵飼器設計			
	乾濕混合		傳統乾燥	
	20% DDGS	60% DDGS	20% DDGS	60% DDGS
生長效能，第 0 天至第 99 天				
ADG[1,2]，公斤	1	1	1	1
ADFI[1]，公斤	3	3	2	2
增重飼料比[1,2]	0	0	0	0
BW[1]，公斤	129	127	123	121
屠體特性				
熱屠體重量[1,2]，公斤	97	94	91	90
屠體產量 %	75	75	75	75
背脂深度[1,2]，毫米	19	18	17	16
腰肌深度，公分	6	6	6	6
無脂肪瘦肉指數[1,2] %	50	50	51	51
頰肉脂肪碘值[1,2]	72	80	74	82

[1]餵飼器設計影響（P 小於 0.05）

[2]DDGS 飼糧添加率影響（P 小於 0.05）

有更高的增重飼料比。因此，與使用傳統乾燥餵飼器相比，使用乾溼混合餵飼器餵養的豬隻具有更重的熱屠體重量、更大的屠體背脂深度、更少的屠體無脂肪瘦肉和更低的頰肉脂肪碘值。與餵飼 20% DDGS 飼糧相比，餵飼 60% DDGS 略微降低 ADG、增重飼料比，且通常會降低最終體重。餵飼 60% DDGS 飼糧導致較低的熱屠體重量和背脂深度，但更高的屠體無脂肪瘦肉和頰肉脂肪碘值，對於屠體產量則沒有影響。這些結果顯示，餵飼器設計對於餵飼 DDGS 飼糧的豬隻的生長效能和屠體組成有顯著影響，相較於餵養生長肥育豬隻含 20% DDGS 的飼糧，極高的 DDGS 飼糧添加率 (60%) 可能會降低 ADG 和熱屠體重量，但會提高屠體瘦肉的增重飼料比和百分比。

Weber 等人 (2015) 進行了一項研究，使用不同的餵飼器空間餘裕來評估餵飼 30% 或 60% DDGS 飼糧的豬隻生長效能 (**表 22**)。透過添加不同量的精選白脂，將飼糧調配成等熱量飼糧，並使用 Noblet 和 Perez (1993) 的公式估算所使用 DDGS 來源的代謝能含量。在 5 階段後期哺乳和生長肥育計畫下，第 3、4、5、6 和 7 階段的飼糧 DDGS 添加率分別為 27.5%、30.0、32.5、32.5 和 26.3%。在第 3、4、5、6 和 7 階段，60% DDGS 處理的 DDGS 飼糧添加率分別為 30.0、59.9、59.9、59.9 和 30.0%。餵飼器空間和 DDGS 添加率之間沒有交互作用，表示餵飼器空間不影響在生長肥育期間餵飼豬隻 30% 或 60% DDGS 飼糧的生長效能和屠體特性。此外，餵飼豬隻 30% 或 60% DDGS 飼糧對最終體重、ADG、ADFI 和增重飼料比沒有差異。然而，與餵飼豬隻 60% DDGS 飼糧相比，餵飼 30% DDGS 飼糧的熱

表22、在第 4、5 和 6 階段，使用不同餵飼器空間和 DDGS 飼糧添加率的生長肥育豬的整體生長效能和屠體特性 (改編自 Weber 等，2015)

	餵飼器空間，公分/豬隻			飼糧[1]	
	4.1	4.9	5.7	30% DDGS	60% DDGS
豬隻/豬欄數	31	31	31	31	31
體重，公斤					
第 0 天	29.9	29.8	29.8	30.3[a]	29.3[b]
上市時	121.5	122.2	122.9	122.4	121.9
變異係數 %					
第 61 天	18.3	17.9	17.2	18.0	17.6
第 152 天	11.1	11.0	9.8	10.9	10.5
ADG，公斤	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ADG 屠體，公斤	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
ADFI，公斤	2.1	2.0	2.0	2.1	2.0
增重飼料比[2]	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5
增重飼料比[3]	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3
上市天數	155.0	156.2	155.8	156.1	155.3
屠體特性					
豬欄數	10	10	10	15	15
HCW，公斤	92.7	93.4	93.8	93.9[a]	92.7[b]
產量 %	75.2	75.7	76.1	76.1[a]	75.2[b]
背脂深度，毫米	12.8	12.7	12.8	12.6	12.9
腰部深度，毫米	63.6	64.4	63.7	64.9[a]	62.9[b]

[a,b]一橫列和主要影響內，上標不同的均數有差異 (P 小於 0.05)

[1]DDGS 在第 4、5 和 6 階段的飼糧添加率

[2]使用活體 ADG 計算的增重飼料比

[3]使用屠體 ADG 計算的增重飼料比

屠體重量略重，屠宰時的屠體產量和腰部深度更高。本研究的結果顯示，在生長肥育階段規定的餵飼器空間餘裕下，餵飼豬隻 30% 或 60% DDGS 飼糧對生長效能或屠體特性沒有影響，但相較於餵飼 30% DDGS 飼糧，60% DDGS 飼糧的豬隻屠體重量、產量和腰部深度略為下降。

Myers 等人 (2013) 採用傳統的五階段餵飼計畫，使用乾燥或乾溼混合餵飼器，餵養豬隻含 25% 至 45% DDGS 和 15% 至 30% 麵包渣的粉狀或粒狀飼糧，以評估飼糧形式對生長肥育豬 (n = 1,290) 生長效能和屠體特性的影響 (表 23)。ADG 沒有飼糧形式 X 餵飼器設計的交互作用，但比起餵飼粉狀飼糧，餵飼粒狀飼糧的豬隻具有更高的 ADG。與使用傳統乾燥餵飼器相比，使用乾濕混合餵飼器餵養的豬隻具有更高的 ADG。使用乾燥餵飼器時，與粒狀飼糧相比，餵養豬隻粉狀飼糧的 ADFI 下降，但使用乾溼混合餵飼器時，餵養豬隻兩種飼糧的 ADFI 沒有差異。使用乾濕混合餵食器時，餵養豬隻粉狀或粒狀飼糧的增重飼料比相似，但使用乾燥餵飼器時，與粉狀飼糧相比，餵養豬隻粒狀飼糧的增重飼料比下降。對於屠體特性，飼糧形式 X 餵飼器設計沒有交互作用，飼糧形式之間沒有差異，但與使用乾燥餵飼器相比，使用乾濕混合餵飼器餵養的豬隻背脂較多，且屠體無脂肪瘦肉比例更低。

有些時候，DDGS 價格和供應量的波動，可能導致在生長肥育階段間歇性地用於豬隻飼糧，藉此實現最大的經濟優勢。此外，商業飼料廠可能會使用多種具有不同營養成分和消化率的 DDGS 來源，若調配飼糧時未動態調整能量、胺基酸含量及消化率，可能會影響生長效能和屠體組成。Hilbrands 等人 (2013) 進行了兩個實驗，以確定在生長肥育階段交替於飼糧中添加或不添加 DDGS，對生長效能和屠體組成

表23、飼糧形式和餵飼器設計對餵飼 DDGS 飼糧的生長肥育豬生長效能和屠體組成的影響 (改編自 Myers 等人，2013)

	傳統乾燥		乾濕混合	
	粉狀飼料	粒狀飼料	粉狀飼料	粒狀飼料
生長效能，第 0 天至第 91 天				
ADG[1,2]，公斤	0.84	0.85	0.89	0.91
ADFI[1]，公斤	2.29[a]	2.45[b]	2.50[b]	2.51[b]
增重飼料比[1,2]	0.369[a]	0.349[c]	0.357[bc]	0.361[ab]
BW[1]，公斤	123.1	124.0	127.2	128.5
粒狀飼料品質				
PDI	-	74.0	-	74.0
細顆粒 %	-	36.6	-	36.6
屠體特性				
熱屠體重量，公斤	91.7	92.7	94.1	93.8
產量%	75.6	75.3	75.6	76.0
背脂深度[2]，毫米	17.3	17.2	18.8	18.3
腰部深度，公分	6.2	6.1	6.0	5.9
屠體無脂肪瘦肉指數[2]%	50.4	50.4	49.7	49.9

[a,b]一橫列內，上標不同的均數有差異 (P 小於 0.05)

[1]飼糧形式影響 (P 小於 0.07)

[2]餵飼器設計影響 (P 小於 0.01)

表24、在飼糧中添加和移除 DDGS 對生長肥育豬生長效能和屠體組成的影響（改編自 Hilbrands 等人，2013）。

	持續餵飼對照飼糧	持續餵飼20% DDGS 飼糧	在20% DDGS和對照飼糧之間交替	在40% DDGS和對照飼糧之間交替
最初體重，公斤	51.3	51.3	51.3	51.4
最終體重，公斤	112.3^{xy}	112.2^{xy}	113.0^{x}	110.6^{y}
ADG，公斤	0.87	0.87	0.88	0.85
ADFI，公斤	2.70^{xy}	2.75^{x}	2.71^{xy}	2.63^{y}
增重飼料比	0.323^{ab}	0.317^{a}	0.325^{b}	0.322^{ab}
熱屠體重量，公斤	83.8^{a}	83.6^{a}	84.3^{a}	81.1^{b}
屠體產量%	74.8	74.6	74.6	73.8
第 10 肋骨背脂深度，毫米	19.3	20.1	20.4	19.8
腰肌面積，平方公分	48.8	48.3	48.2	47.6
屠體瘦肉率%	54.4	54.0	53.8	54.2

^{a,b}一橫列內，上標不同的均數有差異 (P 小於 0.05)
^{x,y}一橫列內，上標不同的均數有差異 (P 小於 0.10)

的影響。在第一個實驗中，採用的是三階段餵飼計畫，連續餵養豬隻玉米–大豆粕對照飼糧，或 20% 或 40% DDGS 飼糧，或是每兩週交替餵養豬隻對照飼糧和 20% DDGS 飼糧或對照飼糧和 40% DDGS 飼糧。如**表 24** 所示，連續餵養 20% DDGS 飼糧，或每兩週交替餵養 20% DDGS 和對照飼糧，對豬隻的生長效能或屠體特性沒有差異。然而，與所有其他飼糧處理相比，每兩週交替餵養 40% DDGS 和對照飼糧的豬隻熱屠體重量有所下降。

Hilbrands 等人進行的第二個實驗 (2013) 中，取得兩種具有低或高 SID 胺基酸消化率的 DDGS 來源。這些來源的代謝能含量來自 Pedersen 等人 (2007) 的 ME 預測方程式。這些來源的 SID 胺基酸值來自 IDEA 分析 (Novus International，St. Louis，MO)，SID 胺基酸值則來自 NRC (1994)。玉米和大豆粕的 ME 和 SID 胺基酸值來自 NRC (1998)。所有飼糧 (玉米–大豆粕對照 (CON)、40% 低可消化胺基酸 (LD) DDGS 和 40% 高可消化胺基酸 (HD) DDGS) 均以 SID 胺基酸作為調配基礎，分四個階段餵飼。六種飼糧處理包括 1) 連續餵飼 CON 飼糧、2)連續餵飼 LD 飼糧、3)連續餵飼 HD 飼糧、4)LD 和 CON 飼糧分階段交替、5)HD 和 LD 飼糧分階段交替，以及 6)HD 和 LD 飼糧分階段交替 (**表 25**)。與 CON 相比，餵飼豬隻 LD 和 HD–LD 的 ADG 和最終體重降低，餵飼 LD 的 ADFI 比 LD–CON 和 HD–CON 更低，但增重飼料比不受飼糧處理影響。這些結果顯示，調配飼糧時，IDEA 分析可能高估了 SID 胺基酸含量。相較於其他飼糧處理，餵飼豬隻 LD 和 HD–LD 具有更低的熱屠體重量、產量和腰肌面積。然而，無論 DDGS 來源的胺基酸消化率如何，定期從飼糧中添加和去除 40% 的 DDGS，並不會對整體生長效能產生不利影響。此外，不同飼糧處理之間的屠體瘦肉百分比沒有差異。因此，這兩個實驗的結果顯示，每兩週交替使用玉米–大豆粕和 DDGS 飼糧，對生長效能或屠體組成沒有明顯的不利影響。

屠體組成

自 2010 年以來已發佈的研究中，若干研究 (n=20) 評估了餵飼玉米 DDGS 飼糧對生長肥育豬屠體組成的影響，**表 26** 和**表 27** 總結了對屠體產量和屠體瘦肉百分比的整體反應 (Asmus 等人，2014；Coble 等人，2017；Cromwell 等人，2011；Davis 等人，2015；Duttlinger 等人，2012；Graham 等人，2014a,b,c；Hardry matteran，2013；Jacela 等人，2011；Jha 等人，2013；LEE 等人，

表25、連續餵飼含 40% DDGS 和低 (LD) 或高 (HD) 標準化迴腸可消化胺基酸的飼糧，或每兩週交替餵飼對照 (CON) 飼糧對生長肥育豬生長效能和屠體組成的影響 (改編自 Hilbrands 等人，2013)

	CON	LD-CON	HD-CON	LD	HD	HD-LD
最初體重，公斤	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2	33.2
最終體重，公斤	121.5^{ab}	121.6^{ab}	123.0^{a}	115.9^{c}	118.3^{bc}	117.8^{c}
ADG，公斤	0.92^{ab}	0.92^{ab}	0.93^{a}	0.86^{c}	0.89^{bc}	0.88^{c}
ADFI，公斤	2.70^{ab}	2.72^{a}	2.78^{a}	2.57^{b}	2.73^{ab}	2.68^{ab}
增重飼料比	0.34	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33
瘦肉增重/天，公斤	0.395^{ab}	0.396^{ab}	0.405^{a}	0.362^{d}	0.383^{bc}	0.367^{cd}
瘦肉增重效率	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14
熱屠體重量，公斤	93.3^{a}	92.3^{ab}	94.4^{a}	87.2^{c}	89.4^{bc}	88.5^{c}
屠體產量 %	76.2^{a}	75.8^{ab}	76.0^{ab}	74.7^{c}	75.1^{bc}	74.6^{c}
第 10 肋骨背脂深度，毫米	21.3^{a}	19.9^{ab}	20.4^{ab}	18.9^{ab}	18.1^{b}	19.8^{ab}
腰肌面積，平方公分	44.7a	44.7a	45.3a	40.4b	42.7ab	40.6b
屠體瘦肉率 %	51.8	52.1	52.1	51.3	52.3	50.8

^{a,b,c,d}一橫列內，上標不同的均數有差異 (P 小於 0.05)

表26、餵飼玉米 DDGS 飼糧對生長肥育豬屠體產量和無脂肪瘦肉百分比的影響 (2010 年以來 20 項研究[1]的總結)

項目	DDGS—對照 (絕對差%)		最初體重，公斤	最終體重，公斤	餵食天數
	產量	無脂肪瘦肉			
觀察數量	75	55	75	75	75
研究數量	20	16	20	20	20
均數	-0.87**	0.05	46.7	120.3	76.5
最低值	-2.1	-1.6	23.4	86.9	20
最大值	1	2	105.7	134.9	120

**均數不等於 0 (P 小於 0.05)

[1]在分析中，觀察數量合併標準誤差的倒數用作權重因子

2013；McDonnell 等人，2011；Nemechek 等人，2015；Overholt 等人，2016；Pompeu 等人，2013；Salyer 等人，2013；Wang 等人，2012；Wu 等人，2016c；Ying 等人，2013)。餵飼 DDGS 飼糧最一致的影響在於屠體產量略有下降。DDGS 中相對較高的纖維含量會增加胃腸道的重量，進而導致較低的屠體與活體重量比。從這個後設分析可以看出，生長肥育豬隻飼糧中每增加一個 DDGS 百分比單位，屠體產量就會降低 0.022% (相對百分比)。這種影響似乎與 DDGS 含油量有關，餵飼高油 (超過 10%)DDGS 會降低屠體產量，但餵飼減油 DDGS 飼糧不會導致產量發生顯著變化 (表 27)。使用 NE 或 ME 系統調配 DDGS 飼糧時，也會導致類似的屠體產量降低。然而，屠體無脂肪瘦肉的百分比不受餵飼高油或減油 DDGS 飼糧，或使用 ME 與 NE 系統的影響。

表27、玉米 DDGS 含油量及飼糧配方（ME 與 NE 系統）對豬隻屠體產量和無脂肪瘦肉百分比的影響（2010 年以來 20 項研究[1]的總結）

	DDGS 含油量		標準誤差	能量系統		標準誤差	P 值	
	> 10%	< 10%		ME	NE		含油量	能量系統
觀察數量	30	45		60	15			
研究數量	8	13		16	4			
產量	-0.79**	-0.42	0.17	-0.49**	-0.72**	0.16	0.034	0.139
無脂肪瘦肉	0.20	-0.16	0.23	0.24	-0.18	0.14	0.22	<0.01

**均數不等於 0 (P 小於 0.05)

*均數不等於 0 (P 小於 0.10)

[1]報告的是最小平方均數。在分析中，觀察數量合併標準誤差的倒數用作權重因子。

[2]生長肥育豬隻飼糧中每增加一個 DDGS 百分比單位，屠體產量就會降低 0.022% (相對百分比)

豬肉脂肪品質

有充分證據顯示，餵飼生長肥育豬 DDGS 含量不斷增加的玉米–大豆粕飼糧，會導致豬肉脂肪硬度降低 (Stein 與 Shurson，2009 年；Xu 等人，2010a,b；Benz 等人，2010；Graham 等人，2014a,b；Davis 等人，2015)。豬肉脂肪的硬度一般使用碘值 (IV) 來衡量，碘值是指頰肉、背脂和腹部脂肪中，不飽和脂肪酸與飽和脂肪酸含量的比例。目前已開發出幾種餵飼管理策略，可以有效管理豬肉屠體的脂肪品質。這些策略包括在收穫前逐漸減少飼糧 DDGS 含量 (Harris 等人，2018)、收穫前在飼糧中停用 DDGS 超過三週 (Jacela 等人，2009；Xu 等人，2010b；Hilbrands 等人，2013)、餵飼減油 DDGS(Dahlen 等人，2011；Wu 等人，2016a)，以及使用屠體脂肪 IV 預測方程式調配飼糧 (Wu 等人，2016b)。

目前已開發出許多迴歸方程式，根據飼糧的 IV 乘積 (IVP) (Madsen 等人，1992；Boyd 等人，1997；Bergstrom 等人，2010；Estrada Restrepo，2013)、亞麻油酸 (C18:2) 攝入量 (Averette Gatlin 等人，2002 年；Benz 等人，2011 年；Kellner，2014) 以及飼糧中的 DDGS 百分比 (Cromwell 等人，2011 年；Estrada Restrepo，2011)，來預測頰肉、背脂或腹部脂肪的 IV。近年，Paulk 等人 (2015) 以飼糧必需脂肪酸含量、最初和最終飼糧的餵飼天數、最終飼糧的淨能含量及屠體背脂深度爲基礎，開發出 IV 預測方程式。

Wu 等人 (2016) 比較了使用這些方程式預測背脂 IV 的精確度和準確度，結果顯示 Paulk 等人 (2015) 的方程式可求出具有最小誤差和偏差的最佳預測 (**表 28**)。整體而言，這些結果顯示，減少 DDGS 的含油量通常可降低屠體脂肪蓄積部位的 IV，進而降低餵飼 DDGS 飼糧對豬肉脂肪品質的負面影響。然而，改善的幅度與飼糧脂質攝入量不成正比，且可能受 DDGS 中油脂消化率差異的影響。務必記住的是，不同屠體脂肪蓄積部位的脂肪酸組成不盡相同。相較於背脂和腹部脂肪，頰肉脂肪具有更大的 IV，但比起頰肉脂肪和腹部脂肪，背脂似乎對飼糧脂質含量的變化最爲敏感。使用已公佈的屠體脂肪 IV 預測方程式，導致估計屠體脂肪蓄積部位 IV 的精確度和準確度不一。添加額外的因子，例如飼糧能量含量、生長效能和屠體組成測量 (根據 Paulk 等人 (2015) 的方程式)，比起只採用飼糧脂質特性和數量的方程式，似乎能更有效改善屠體脂肪 IV 的預測。使用飼糧中 DDGS 的百分比作爲屠體脂肪蓄積部位 IV 的預測因子，會產生最差的預測結果。然而，餵飼生長肥育豬 DDGS 飼糧時，需要降低這些方程式的預測誤差和偏差大小，以提升屠體脂肪 IV 反應的可預測性。

表28、用於估算屠體背脂、頰肉脂肪、腹部脂肪碘值（IV）和三個屠體脂肪蓄積部位平均碘值的預測方程式之比較（改編自 Wu 等人，2016）

脂肪蓄積部位	方程式	R^2	預測誤差[1]	偏差[2]	參考資料
背脂					
	47.1+0.14×IVP[3]攝食量/天	0.86	6.43	-4.95	Madsen 等人，1992
	52.4+0.315×飼糧IVP	-	4.60	-2.15	Boyd 等人，1997
	51.946+0.2715×飼糧IVP	0.16	6.45	-5.05	Benz 等人，2011
	35.458+14.324×飼糧C18:2%	0.73	8.36	-1.08	Benz 等人，2011
	64.5+0.432×飼糧中的DDGS%	0.92	8.26	7.10	Cromwell 等人，2011
	60.13+0.27×飼糧IVP	0.81	5.04	3.05	Estrada Restrepo，2013
	70.06+0.29×飼糧中的DDGS%	0.81	9.19	8.00	Estrada Restrepo，2013
	84.83+(6.87×IEFA) − (3.90×FEFA) − (0.12×Id) − (1.30×Fd) − (0.11×IEFA×Fd)+(0.048×FEFA×Id)+(0.12×FEFA×Fd) − (0.006×FNE)+(0.0005×FNE×Fd) − (0.26×BF)	0.95	4.01	-0.84	Paulk 等人，2015 4
頰肉脂肪					
	56.479+0.247×飼糧IVP	0.32	4.92	-3.69	Benz 等人，2011
	47.469+10.111×飼糧C18:2%	0.90	5.57	-1.37	Benz 等人，2011
	64.54+0.27×飼糧IVP	0.81	6.55	5.66	Estrada Restrepo，2013
	72.99+0.24×飼糧中的DDGS%	0.81	8.33	7.38	Estrada Restrepo，2013
	85.50+(1.08×IEFA)+(0.87×FEFA) − (0.014×Id) − (0.05×Fd)+(0.038×IEFA×Id)+(0.054×FEFA×Fd) − (0.0.0066×INE)+(0.071×IBW) − (2.19×ADFI) − (0.29×BF)	0.93	4.73	-3.37	Paulk 等人，2015 4
腹部脂肪					
	58.32+0.25×飼糧IVP	0.74	3.43	1.41	Estrada Restrepo，2013
	67.35+0.26×飼糧中的DDGS%	0.75	6.66	5.53	Estrada Restrepo，2013
	106.16+(6.21×IEFA) − (1.50×Fd) − (0.11×IEFA×Fd) − (0.012×INE)+(0.00069×INE×Fd) − (0.18×HCW) − (0.25×BF)	0.94	3.27	1.73	Paulk 等人，2015 4
三個脂肪蓄積部位的平均值					
	58.103+0.2149×飼糧IVP	0.93	3.93	-2.23	Kellner，2014
	58.566+0.1393×C18:2攝食量/天，克	0.94	6.17	-4.90	Kellner，2014

[1]預測誤差 (值越小表示方程式精確度越高)

[2]預測偏差 (絕對值越小表示方程式的準確度越高；負值表示低估，正值表示高估)

[3]IVP = 碘值乘積 = 飼糧 IV × 飼糧脂質百分比 × 0.10 (Madsen 等人，1992)

[4]方程式中的縮寫意義如下：I = 初始飼糧，F = 最終飼糧，d = 餵飼天數，EFA = 必需脂肪酸 (C18:2 和 C18:3 %)，NE = 淨能 (千卡/公斤)，BW = 體重 (公斤)，ADFI = 平均每日攝食量 (公斤)，HCW = 熱屠體重量 (公斤)，BF = 背脂深度 (毫米)

豬肉瘦肉品質

目前已有若干研究，針對餵飼豬隻 DDGS 飼糧的瘦肉品質進行評估。Leick 等人 (2010) 在含有 0%、15%、30%、45% 和 60% DDGS 的生長肥育豬飼糧中，添加或不添加 5 毫克/公斤的萊克多巴胺，藉此評估對肉質的影響。提高 DDGS 飼糧添加率對腰部 pH 值、主觀和客觀色澤、油花或脂肪含量沒有影響，但會降低主觀油花評分、硬度和增加滴液流失。此外，提高飼糧 DDGS 含量會降低腹部重量、長度、厚度、硬度和 L*，以及增加腹部烹煮流失。由於單不飽和：多元不飽和脂肪酸含量減少，腹部和頰肉脂肪 IV 增加。儲存 0、7 或 14 天時，腰部 TBARS 沒有受到影響，但在第 21 天，與餵飼 0% 和 15% DDGS 飼糧的豬隻相比，餵飼 30%、45% 和 60% DDGS 的腰部 TBARS 有所增加。這些結果顯示，餵飼含有高達 60% DDGS 的飼糧，對生長肥育豬的腰部品質影響極小，但會降低腹部品質、培根加工特性和脂肪穩定性。

McClelland 等人 (2012) 餵飼含有 0、15、30 或 45% DDGS 的生長肥育豬飼糧。結果顯示，提高 DDGS 飼糧添加率會增加屠體脂肪中多元不飽和脂肪酸的濃度，進而增加屠體脂肪 IV 並降低腹部硬度，但對醃製腹部的切片產量、新鮮培根切片的品質，或培根、香腸或腰肉排的食用品質沒有影響。

Wang 等人 (2012) 餵飼生長肥育豬含有 0%、15% 或 30% DDGS 的飼糧，並補充 10 或 210 IU/公斤，結果顯示餵飼 DDGS 會降低脂肪和肌肉中的飽和脂肪酸比例，並增加不飽和及多元不飽和脂肪酸比例。提高飼糧維生素 E 含量會增加脂肪和肌肉組織中 α-生育醇的濃度，並降低真空包裝新鮮腰肉中總揮發性鹽基態氮的濃度，這是由於增加飼糧 DDGS 含量所致。在飼糧中添加 DDGS 會導致豬腰肉在儲存第 13 天的 TBARS 增加，但在 DDGS 飼料之外，多餵飼 210 IU/公斤維生素 E 時，豬腰肉在儲存第 4、7、10 和 13 天的 TBARS 顯著下降。這些資料顯示，雖然餵飼含有 DDGS 的飼糧對新鮮豬腰肉的保存期限有一些不利影響，但在飼糧中多補充 210 IU/公斤的維生素可以部分防止這些影響。

Ying 等人 (2013) 在第 1、2 和 3 階段餵飼 0% 或 30% DDGS 飼糧，在第 4 階段餵飼 0% 或 20% DDGS 飼糧，並餵飼生長肥育豬 0、50 或 100 毫克/公斤的左旋肉鹼，以確定對生長效能、屠體特性以及腰部和脂肪品質的影響。所有屠體特性都沒有 DDGS × 左旋肉鹼交互作用，但餵飼更高左旋肉鹼濃度的豬隻具有更高的熱屠體重量、屠體產量和背脂深度。餵飼左旋肉鹼會增加腰部貯存流失，而餵飼 DDGS 通常會降低腰部油花分數。與餵飼含有 0 或 100 毫克/公斤左旋肉鹼的飼糧相比，餵飼 50 毫克/公斤左旋肉鹼和 DDGS 的豬腰肉具有更低的剪切力值。增加 DDGS 飼糧中的左旋肉鹼含量，會提高新鮮腰部顏色分數。在 DDGS 飼糧中提高左旋肉鹼的含量，可降低頰肉脂肪中 C18:2n-6 和 C20:20 的濃度，但在不含 DDGS 的飼糧中則不然。這些結果顯示，餵飼含有 50 毫克/公斤左旋肉鹼的 DDGS 飼糧，可提高熱屠體重量並降低頰肉脂肪的亞麻油酸含量。

Overholt 等人 (2016b) 餵飼含有 0% 或 30% DDGS 飼糧的粒狀或粉狀飼糧，以觀察肥育豬的新鮮腹部特性、脂肪品質和培根切片產量。與餵飼 0% DDGS 飼糧相比，餵飼 30% DDGS 飼糧會減少腹部厚度、下垂距離和最初腹部重量，同時增加 7.1 單位的腹部脂肪 IV。然而，餵飼 DDGS 飼糧對培根切片的產量或每公斤切片沒有影響。這些結果顯示，雖然相較於不餵飼豬隻任何 DDGS，餵飼 30% DDGS 飼糧會產生更薄、更柔軟的腹部，但餵飼含 30% DDGS 的粉狀或粒狀飼糧對商業培根切片產量沒有影響。

餵飼免疫去勢豬隻 DDGS 飼糧

數十年來，對公豬進行物理去勢一直是全球許多國家的普遍做法，這樣做是為了減少公豬的攻擊性和性行為的發生，並防止在豬肉中產生令人不快的氣味，即所謂的公豬異味。然而，雖然物理去勢能有效去除豬肉中的公豬異味，但會導致飼料效率降低、屠體瘦肉減少，以及離乳前死亡率增加。此外，出於動物福祉的考量，英國、愛爾蘭和澳洲等國家不再允許對公

豬進行物理去勢。因此，Zoetis (紐澤西州 Florham Park) 開發出一種注射免疫去勢產品並在市面上銷售，稱為 Improvest (美國和加拿大)、Improvac (澳洲和紐西蘭)、Innosure 或 Vivax，並在 63 個國家註冊，10 多年來已在全世界超過 5,000 萬頭豬隻身上使用 (Bradford 與 Mellencamp，2013)。美國食品藥物管理局 (FDA) 已核准該產品，證實可安全使用，使用 Improvest 去勢的豬隻所產的豬肉不含影響人類健康的殘留物，因此可以安全食用。此外，使用該產品的免疫去勢豬隻所產的豬肉沒有出口限制 (Bradford 與 Mellencamp，2013)。該產品需要兩次注射，第一劑是公豬免疫系統的準備劑量，第二劑則用於抑制睪丸功能，於上市前 3 至 10 週施打。相較於物理去勢，公豬免疫去勢具有許多優勢，包括提高生長速度和飼料換肉率、更高的屠體瘦肉和更少的背脂，且可以顯著提高美國肉豬的獲利 (每頭可提高超過 10 美元)。因此，近年有若干研究探討餵飼免疫去勢豬 DDGS 飼糧對生長效能、屠體特性，以及肉和豬肉脂肪品質的影響。

Asmus 等人 (2014b) 針對經過物理或免疫去勢的豬隻，在前 75 天餵飼三種飼糧中的一種，包括 0% DDGS、30% DDGS 或 30% DDGS 飼糧，之後一直到第 125 天 (上市) 則餵飼不含 DDGS 的飼糧。相較於物理去勢，無論是何種飼糧處理，免疫去勢豬的屠體產量和攝食量都會降低，但 ADG 和增重飼料比則有所提高。對於源自免疫去勢豬的屠體，屠體脂肪蓄積部位的 IV 較高，但經過第二劑 Improvest 注射後，由於增加上市前的飼養時間，屠體脂肪 IV 最後結果與物理去勢豬相似。無論採用何種去勢方法，在屠宰前從飼糧中去除 DDGS，都可以減少對屠體產量的負面影響，並提高屠體脂肪的硬度。

Little 等人 (2014) 評估了餵飼肥育豬 0% 或 30% DDGS 飼糧的腹部品質，並在屠宰前 5 週從飼糧中去除 DDGS，結果顯示免疫去勢 (IC) 和物理去勢 (PC) 豬隻的腹部硬度均有所提高。無論採用何種 DDGS 餵飼計畫，對於注射第二劑 Improvest 後 5 或 7 週屠宰的 IC 和 PC 豬隻，培根香氣、異味、風味或鹹味沒有任何差異。這些結果顯示，若餵飼豬隻 30% DDGS 飼糧，或在屠宰前 (注射第二劑 Improvest 後 5 到 7 週後) 從飼糧中去除 DDGS，免疫去勢和物理去勢方法同樣能有效去除培根公豬異味。

同樣地，Tavárez 等人 (2014) 評估了在兩個時間點屠宰的 PC 和 IC 閹豬的屠體可切割性和商業培根切片產量，這些豬隻食用的是 0% 或 30% DDGS 飼糧，而在注射第二劑 Improvest 後直到屠宰前，飼糧中都停止添加 DDGS。DDGS 餵飼策略對屠體特性、切割產量和新鮮腹部特性的影響最小。DDGS 餵飼策略對 IC 閹豬的去骨屠體切割產量沒有影響，但在餵飼對照飼糧的 PC 閹豬中，切割產量降低。相較於對照飼糧，餵飼 30% DDGS 飼糧的豬隻腹部脂肪 IV 增加；儘管相較於 PC 閹豬，餵飼 0% 或 30% DDGS 飼糧的 IC 閹豬的培根切片產量降低，但在屠宰前從飼糧中去除 DDGS 可提高 IC 閹豬的培根切片產量。

近年，Harris 等人 (2017a,b) 和 Harris 等人 (2018) 評估了不同玉米 DDGS 餵飼策略，以及 IC 豬隻施打第二劑 Improvest 和屠宰之間的時間間隔，對生長效能、屠體組成、原始切肉、豬肉瘦肉品質以及腹部和豬肉脂肪品質的影響。飼糧處理包括：第 1 至第 4 階段餵飼玉米–大豆粕飼糧 (CON)，逐漸降低 (GD) 飼糧 DDGS 的添加率 (40%、30%、20% 和 10%)；在第 1、2、3 階段餵飼 40% 的 DDGS 飼糧，在第 4 階段從飼糧中去除 DDGS(WD)；或在 4 個階段的生長肥育期都餵飼 40% 的 DDGS (NCON)。屠宰前 9、7 或 5 週，會為豬隻注射第二劑 Improvest。餵飼 40% DDGS 飼糧的 IC 豬隻的攝食量可能受到高纖維含量，以及施打第二劑 Improvest 時的豬齡所限制，而在屠宰前從飼糧中去除 DDGS (WD) 會導致攝食量迅速增加。整體而言，在維持 ADFI、ADG 和增重效率方面，GD 餵飼策略比 WD 餵飼策略更有效，與餵飼 CON 的結果相似。相較於 CON 和 NCON 餵飼策略，使用 GD 和 WD 餵飼策略可提高屠體屠宰率，並導致中等的屠體原始切割產量和豬腰肉品質。在屠宰前增加

Improvest 第二劑的時間間隔，會降低所有屠體脂肪蓄積部位的 IV 並增加腹部厚度，而使用 GD 和 WD 餵飼策略也會降低所有屠體脂肪蓄積部位的 IV。

餵飼免疫去勢豬隻 DDGS 飼糧

數十年來，對公豬進行物理去勢一直是全球許多國家的普遍做法，這樣做是為了減少公豬的攻擊性和性行為的發生，並防止在豬肉中產生令人不快的氣味，即所謂的公豬異味。然而，雖然物理去勢能有效去除豬肉中的公豬異味，但會導致飼料效率降低、屠體瘦肉減少，以及離乳前死亡率增加。此外，出於動物福祉的考量，英國、愛爾蘭和澳洲等國家不再允許對公豬進行物理去勢。因此，Zoetis (紐澤西州 Florham Park) 開發出一種注射免疫去勢產品並在市面上銷售，稱為 Improvest (美國和加拿大)、Improvac (澳洲和紐西蘭)、Innosure 或 Vivax，並在 63 個國家註冊，10 多年來已在全世界超過 5,000 萬頭豬隻身上使用 (Bradford 與 Mellencamp，2013)。美國食品藥物管理局 (FDA) 已核准該產品，證實可安全使用，使用 Improvest 去勢的豬隻所產的豬肉不含影響人類健康的殘留物，因此可以安全食用。此外，使用該產品的免疫去勢豬隻所產的豬肉沒有出口限制 (Bradford 與 Mellencamp，2013)。該產品需要兩次注射，第一劑是公豬免疫系統的準備劑量，第二劑則用於抑制睪丸功能，於上市前 3 至 10 週施打。相較於物理去勢，公豬免疫去勢具有許多優勢，包括提高生長速度和飼料換肉率、更高的屠體瘦肉和更少的背脂，且可以顯著提高美國肉豬的獲利 (每頭可提高超過 10 美元)。因此，近年有若干研究探討餵飼免疫去勢豬 DDGS 飼糧對生長效能、屠體特性，以及肉和豬肉脂肪品質的影響。

Asmus 等人 (2014b) 針對經過物理或免疫去勢的豬隻，在前 75 天餵飼三種飼糧中的一種，包括 0% DDGS、30% DDGS 或 30% DDGS 飼糧，之後一直到第 125 天 (上市) 則餵飼不含 DDGS 的飼糧。相較於物理去勢，無論是何種飼糧處理，免疫去勢豬的屠體產量和攝食量都會降低，但 ADG 和增重飼料比則有所提高。對於源自免疫去勢豬的屠體，屠體脂肪蓄積部位的 IV 較高，但經過第二劑 Improvest 注射後，由於增加上市前的飼養時間，屠體脂肪 IV 最後結果與物理去勢豬相似。無論採用何種去勢方法，在屠宰前從飼糧中去除 DDGS，都可以減少對屠體產量的負面影響，並提高屠體脂肪的硬度。

Little 等人 (2014) 評估了餵飼肥育豬 0% 或 30% DDGS 飼糧的腹部品質，並在屠宰前 5 週從飼糧中去除 DDGS，結果顯示免疫去勢 (IC) 和物理去勢 (PC) 豬隻的腹部硬度均有所提高。無論採用何種 DDGS 餵飼計畫，對於注射第二劑 Improvest 後 5 或 7 週屠宰的 IC 和 PC 豬隻，培根香氣、異味、風味或鹹味沒有任何差異。這些結果顯示，若餵飼豬隻 30% DDGS 飼糧，或在屠宰前 (注射第二劑 Improvest 後 5 到 7 週後) 從飼糧中去除 DDGS，免疫去勢和物理去勢方法同樣能有效去除培根公豬異味。

同樣地，Tavárez 等人 (2014) 評估了在兩個時間點屠宰的 PC 和 IC 閹豬的屠體可切割性和商業培根切片產量，這些豬隻食用的是 0% 或 30% DDGS 飼糧，而在注射第二劑 Improvest 後直到屠宰前，飼糧中都停止添加 DDGS。DDGS 餵飼策略對屠體特性、切割產量和新鮮腹部特性的影響最小。DDGS 餵飼策略對 IC 閹豬的去骨屠體切割產量沒有影響，但在餵飼對照飼糧的 PC 閹豬中，切割產量降低。相較於對照飼糧，餵飼 30% DDGS 飼糧的豬隻腹部脂肪 IV 增加；儘管相較於 PC 閹豬，餵飼 0% 或 30% DDGS 飼糧的 IC 閹豬的培根切片產量降低，但在屠宰前從飼糧中去除 DDGS 可提高 IC 閹豬的培根切片產量。

近年，Harris 等人 (2017a,b) 和 Harris 等人 (2018) 評估了不同玉米 DDGS 餵飼策略，以及 IC 豬隻施打第二劑 Improvest 和屠宰之間的時間間隔，對生長效能、屠體組成、原始切肉、豬肉瘦肉品質以及腹部和豬肉脂肪品質的影響。飼糧處理包括：第 1 至第 4 階段餵飼玉米-大豆粕飼糧 (CON)，逐漸降低 (GD) 飼糧 DDGS 的添加率 (40%、30%、20% 和 10%)；在第 1、2、3 階段餵飼 40% 的 DDGS 飼糧，

在第 4 階段從飼糧中去除 DDGS(WD)；或在 4 個階段的生長肥育期都餵飼 40% 的 DDGS (NCON)。屠宰前 9、7 或 5 週，會為豬隻注射第二劑 Improvest。餵飼 40% DDGS 飼糧的 IC 豬隻的攝食量可能受到高纖維含量，以及施打第二劑 Improvest 時的豬齡所限制，而在屠宰前從飼糧中去除 DDGS(WD) 會導致攝食量迅速增加。整體而言，在維持 ADFI、ADG 和增重效率方面，GD 餵飼策略比 WD 餵飼策略更有效，與餵飼 CON 的結果相似。相較於 CON 和 NCON 餵飼策略，使用 GD 和 WD 餵飼策略可提高屠體屠宰率，並導致中等的屠體原始切割產量和豬腰肉品質。在屠宰前增加 Improvest 第二劑的時間間隔，會降低所有屠體脂肪蓄積部位的 IV 並增加腹部厚度，而使用 GD 和 WD 餵飼策略也會降低所有屠體脂肪蓄積部位的 IV。

餵飼 DDGS 對豬隻健康的影響

有證據顯示，餵飼 DDGS 對感染細胞內寄生彎曲形桿菌的豬隻的腸道健康有益 (Whitney 等人，2006a,b)，但這些影響的機制尚不清楚，因為關於餵飼 DDGS 如何影響豬隻腸道微生物，以及其對感染或病原體移生的易感染性，資訊仍相當有限。Tran 等人 (2012) 餵飼離乳豬含有高達 30% DDGS 的飼糧，結果顯示微生物相似性增加，胃腸道微生物多樣性和豐富度降低，並顯示這些影響可能與微生物生態系統不穩定有關。此外，餵飼 DDGS 飼糧對血清免疫球蛋白濃度沒有影響。Rostagno 等人 (2013) 進行了兩項實驗，以確定含有 20%、30% 或 40% DDGS 的飼糧是否會影響易感染性、腸道等級和沙門氏菌的排出。在其中一項實驗中，針對感染沙門氏菌的豬隻餵飼不含 DDGS 的對照飼糧，比餵飼 30% DDGS 飼糧的豬隻具有更高的沙門氏菌排出頻率，但整體反應顯示，含有 DDGS 的飼糧並未改變生長肥育豬對沙門氏菌移生的易感染性。

Saqui-Salces 等人 (2017b) 指出，餵飼含有 DDGS 的飼糧可促進生長肥育豬的杯狀細胞，並改變營養素受體和轉運體的表現，進而調節腸道細胞分化。

2013 年，豬流行性下痢病毒 (PEDV) 對美國的豬隻死亡率產生破壞性影響，並衍生出多方面的調查，以確定其與其他冠狀病毒 (傳染性胃腸炎病毒-TGEV；豬丁型冠狀病毒-PDCoV) 在飼料、飼料原料中的存活率，以及各種飼料添加劑對其存活率的影響。Dee 等人 (2015) 指出，PEDV 在飼料中的存活率因原料類型而異，在大豆粕中的存活時間似乎最長，但只要使用甲醛液體處理，即可將所有原料中的病毒滅活。同樣地，Trudeau 等人 (2017) 評估了 PEDV、TGEV 和 PDCoV 在各種飼料原料中的存活率，並顯示 PEDV 病毒存活時間最長，而相較於 DDGS 等多種其他原料，TGEV 和 PDCoV 在大豆粕中的存活率也較高。這些結果顯示，與 DDGS 和其他常見飼料原料相比，大豆粕是經由飼料傳播冠狀病毒的更大風險因素。

DDGS 在妊娠期和泌乳期飼糧中的應用

近年有若干研究試圖評估餵飼妊娠和泌乳期母豬 DDGS，對繁殖效能和窩產效能的影響。Song 等人 (2010) 針對混合胎次的泌乳期母豬餵飼含 0%、10%、20% 或 30% DDGS 的飼糧，以確定母豬和窩產效能、能量和氮消化率、血漿尿素氮、乳脂和蛋白質濃度。DDGS 飼糧添加率對飼糧的 DE、ME、氮保留或氮消化率沒有影響。相較於對照飼糧，餵飼離乳母豬 20% 和 30% DDGS 飼糧的血漿尿素氮較低。在母豬 ADFI 和背脂變化方面，飼糧 DDGS 添加率未觀察到差異，但相較於對照飼糧，餵飼 30% DDGS 飼糧的母豬體重減少更多。此外，仔豬離乳前死亡率、窩增重和仔豬 ADG 不受飼糧 DDGS 添加率影響。本研究的結果顯示，與餵飼玉米-大豆粕對照飼糧相比，餵飼含有高達 30% DDGS 的飼糧對母豬和窩產效能、飼糧的 DE 和 ME、氮消化率和乳汁組成沒有影響，這表示餵飼泌乳母豬含有高達 30% 的 DDGS 飼糧，所產生的母豬和窩產效能都相當良好。

Wang 等人 (2013) 確定了針對第二胎和第三胎母豬，在妊娠最後 20 天直到 21 天的泌乳期間餵飼 0%、20% 或 40% DDGS 飼糧，對母豬和窩產效能以及初乳和乳汁組成的影響。

無論飼糧 DDGS 添加率為何，母豬平均妊娠長度、離乳至發情間隔、母豬 ADFI、泌乳背脂和體重變化均未觀察到任何差異。此外，飼糧 DDGS 添加率對出生和活產的豬隻總數、平均出生體重、每窩離乳仔豬數，或泌乳期仔豬 ADG 沒有影響。與餵飼玉米–大豆粕對照飼糧相比，餵飼母豬 DDGS 飼糧的乳汁總固體、蛋白質、脂肪和乳糖含量沒有差異。這些結果顯示，若在飼糧 (0.87% 離胺酸) 多補充 5.2 克離胺酸/公斤，藉此取代飼糧中所有的大豆粕，即可以在母豬妊娠後期和泌乳期餵飼含有 40% DDGS 的飼糧，而不會影響母豬和窩產效能或初乳和乳汁組成。

Li 等人 (2014) 在三個繁殖週期內，評估了在妊娠期餵飼 0% 或 40% DDGS 飼糧，以及在泌乳期餵飼 0% 或 20% DDGS 飼糧，對母豬和窩產效能以及母豬壽命的影響，其中母豬在妊娠期住在個別棚舍或圈養環境。與不含 DDGS 的玉米–大豆粕飼糧相比，在三個繁殖週期內餵飼 DDGS 飼糧對母豬壽命沒有影響，但降低了窩仔數和母豬生產力。然而，與 DDGS 飼糧相比，餵飼玉米–大豆粕飼糧時，在妊娠期間圈養對母豬生產力的不利影響更為明顯。

Greiner 等人 (2015) 藉由三項實驗評估飼養方式對母豬和窩產效能的影響，包括：餵飼妊娠期母豬 0% 或 10% DDGS 飼糧，餵飼泌乳期母豬 0%、10%、20% 或 30% 飼糧 (實驗 1)，以及餵飼妊娠期母豬 0% 或 40% DDGS 飼糧，餵飼泌乳期母豬 20%、30%、40% 和 50% DDGS(實驗 2 和 3)。研究的整體結果顯示，在母豬泌乳期餵飼 40% 至 50% DDGS 飼糧可能會降低攝食量和窩產效能，但在泌乳期餵飼 30% DDGS 飼糧，則會產生可接受的母豬和窩產效能。

玉米 DDGS 的不飽和脂肪酸濃度相對較高，這可能會影響餵飼 DDGS 的仔豬和母豬的維生素 E 狀態。因此，Shelton 等人 (2014) 進行了一項研究，在妊娠母豬從配種到妊娠第 69 天餵飼 40% DDGS 飼糧，並補充 44 或 66 毫克/公斤 dl-α-生育醇酯或 11、22、33 或 44 毫克/公斤 d-α-生育醇酯，以確定對血漿、乳汁和豬隻體組織 α-生育醇濃度的影響。從妊娠第 70 天到離乳期間，會餵飼補充維生素 E。研究結果顯示，d-α-生育醇酯相對於 dl-α-生育醇酯的生物利用率，會因為所考慮的反應標準而異，但大於建議的 1.36 效價值。

Song 和 Shurson (2013) 指出，DDGS 來源中的玉米油可能會過氧化，因此若在母豬和豬隻飼糧中提高飼糧添加率，可能會產生氧化壓力。左旋肉鹼對於細胞代謝很重要，且會調節長鏈游離脂肪酸的粒線體轉運，藉由 β-氧化產生 ATP。左旋肉鹼可透過商業來源取得，已證明若添加在母豬飼糧中當作補充，可以提高繁殖效能和產乳量，並提供抗氧化、抗炎和其他胃腸道保護功能 (Ramanau 等人，2004；Ramanau 等人，2005；Musser 等人，2005)。Wei 等人 (2016) 餵飼妊娠期母豬 0%或 25% DDGS，餵飼泌乳期母豬 0%或 40% DDGS，其中妊娠期添加 0 或 100 毫克/公斤的左旋肉鹼含量，哺乳期則添加 0 或 200 毫克/公斤。本研究結果顯示，餵飼妊娠期和哺乳期母豬 DDGS 飼糧，對其後代的腸道屏障功能沒有影響，但在飼糧中添加左旋肉鹼可改善新生和離乳仔豬的腸道屏障功能。在玉米–大豆粕飼糧中添加左旋肉鹼可增加離乳仔豬胃腸道中的真細菌總數，但在 DDGS 飼糧中添加左旋肉鹼沒有影響。

Li 等人 (2013) 在母豬妊娠期間餵飼 0% 或 40% DDGS 飼糧，以確定對母豬刻板行為和攻擊行為的影響，其中有些母豬在圈養環境以電子餵飼系統餵養，有些則住在個別棚舍。與餵飼玉米–大豆粕對照飼糧的母豬相比，圈養在圍欄內並餵飼 40% DDGS 飼糧的母豬更長時間處於攻擊狀態、更常展現攻擊行為，且混養時的唾液皮質醇水準 (壓力增加的指標) 更高。然而，與餵飼不含 DDGS 的玉米–大豆粕飼糧的母豬相比，住在個別妊娠棚舍並餵飼 40% DDGS 飼糧的母豬休息時間更長、表現刻板行為的時間更少，且唾液皮質醇濃度更低 (壓力較低)。這些結果顯示，餵飼 40% DDGS 飼糧可能會降低圈養在圍欄中的母豬的福祉，但對於住在個別妊娠棚舍的母豬而言，福祉則有所提高。

總結

過去幾年的大量研究，顯著提高了營養學家在精準營養飼養計畫中，以相對較高的飼糧添加率有效使用玉米 DDGS 的能力，不僅有效降低飼料成本，且同時維持可接受的生長、繁殖、屠體和豬肉品質。目前已開發出預測方程式，以準確為豬隻估計含油量不同的 DDGS 來源所含的 ME 和 SID 胺基酸含量，以及管理飼糧配方以實現理想的豬肉脂肪品質。藉由在所有豬隻生產階段，使用準確的 ME、NE、可消化胺基酸和磷值調配 DDGS，可在所有生產階段提高飼糧添加率 (高達 30%)。事實上，美國目前的趨勢是針對用於哺乳豬和生長肥育豬的飼糧，調整和平衡含有超過 30% DDGS 的飼糧的可消化息寧胺酸和支鏈胺基酸含量，藉此實現與餵飼傳統玉米-大豆粕飼糧相同的生長效能和屠體組成。對於重視豬肉脂肪品質的市場，可以藉由各種方法減少豬肉脂肪硬度的降低，例如餵飼減油 DDGS 來源，在屠宰前 3 至 4 週從飼糧中去除 DDGS，或是使用最準確的豬肉脂肪品質預測方程式來限制 DDGS 添加率。證據還顯示，若 DDGS 來源不含黴菌毒素，則可以餵飼妊娠母豬含有高達 50% DDGS 的飼糧，而不會對母豬和窩產效能產生不利影響，且這樣做可以改善個別妊娠欄內母豬的福祉。

參考資料

Adeola, O., and C. Kong. 2014. Energy value of distillers dried grains with solubles and oilseed meals for pigs. J. Anim. Sci. 92:164–170.

Almeida, F. N., J. K. Htoo, J. Thomson, and H. H. Stein. 2014. Effects of balancing crystalliNEamino acids in diets containing heat-damaged soybean meal or distillers dried grains with solubles fed to weanling pigs. Animal 8:1594–1602.

Almeida, F.N., J.K. Htoo, J. Thomson, and H.H. Stein. 2013. Amino acid digestibility of heat damaged distillers dried grains with solubles fed to pigs. J. Anim. Sci. Biotechnol. 4:44.

Almeida, F.N., and H.H. Stein. 2012. Effects of graded levels of microbial phytase on the standardized total tract digestibility of phosphorus in corn and corn coproducts fed to pigs. J. Anim. Sci. 90:1262–1269.

Almeida, F.N., and H.H. Stein. 2010. Performance and phosphorus balance of pigs fed diets formulated on the basis of values for standardized total tract digestibility of phosphorus. J. Anim. Sci. 88:2968–2977.

Anderson, P.V., B.J. Kerr, T.E. Weber, C.J. Ziemer, and G.C. Shurson. 2012.DEtermination and prediction of digestible and metabolizable energy from chemical analysis of corn coproducts fed to finishing pigs. J. Anim. Sci. 90:1242–1254.

Asmus, M.D., J.M.DERouchey, M.D. Tokach, S.S. Dritz, T.A. Houser, J.L.NElssen, and R.D. Goodband. 2014a. Effects of lowering dietary fiber before marketing on finishing pig growth performance, carcass characteristics, carcass fat quality, and intestinal weights. J. Anim. Sci. 92:119–128.

Asmus, M.D., T.A. Tavarez, M.D. Tokach, S.S. Dritz, A.L. Schroeder, J.L.NElssen, R.D. Goodband, and J.M.DERouchey. 2014b. The effects of immunological castration and corn dried distillers grains with solubles withdrawal on growth performance, carcass characteristics, fatty acid analysis, and iodiNEvalue of pork fatDEpots. J. Anim. Sci. 92:2116–2132.

Averette Gatlin, L., M. T. See, J. A. Hansen, D. Sutton, and J. Odle. 2002. The effects of dietary fat sources, levels, and feeding intervals on pork fatty acid composition. J. Anim. Sci. 80:1606–1615.

Baker, S.R., B.G. Kim, and H.H. Stein. 2013. Comparison of values for standardized total tract digestibility and relative bioavailability of phosphorus in dicalcium phosphate and distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. J. Anim. Sci. 91:203–210.

Benz, J. M., M. D. Tokach, S. S. Dritz, J. L.NElssen, J. M.DERouchey, R. C. Sulabo, and R. D. Goodband. 2011. Effects of dietary iodiNEvalue product on growth performance and carcass fat quality of

finishing pigs. J. Anim. Sci. 89:1419–1428.

Benz, J. M., S. K. Linneen, M. D. Tokach, S. S. Dritz, J. L.NElssen, J. M.DERouchey, R. D. Goodband, R. C. Sulabo, and K. J. Prusa. 2010. Effects of dried distillers grains with solubles on carcass fat quality of finishing pigs. J. Anim. Sci. 88:3666–3682.

Bergstrom, J.R., J.L.NElssen, M.D. Tokach, S.S. Dritz, R.D. Goodband, and J.M.DERouchey. 2012. Effects of two feederDEsigns and adjustment strategies on the growth performance and carcass characteristics of growing–finishing pigs. J. Anim. Sci. 90:4555–4566.

Bergstrom, J.R., J.L.NElssen, M.D. Tokach, S.S. Dritz, R.D. Goodband, and J.M.DERouchey. 2014. The effects of feederDEsign and dietary dried distillers' grains with solubles on the performance and carcass characteristics of finishing pigs. J. Anim. Sci. 92:3591–3597.

Bergstrom, J. R., M. D. Tokach, J. L.NElssen, S. S. Dritz, R. D. Goodband, J. M.DERouchey, and T. A. Houser. 2010. Meta-analysesDEscribing the variables that influence the backfat, belly fat, and jowl fat iodiNEvalue of pork carcasses. Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Kansas State University, Manhattan, KS.

Blank, B., E. Schlecht, and A. Susenbeth. 2012. Effect of dietary fbre on nitrogen retention and fbre associated threoniNElosses in growing pigs. Arch. Anim. Nutr. 66:86–101.

Boyd, R. D., M. E. Johnston, K. Scheller, A. A. Sosnicki, and E. R. Wilson. 1997. Relationship between dietary fatty acid profle and body fat composition in growing pigs. Pig Improvement Company, Franklin, KY.

Bradford, J.R., and M.A. Mellencamp. 2013. Immunological control of boar taint and aggressive behavior in male swine. Anim. Frontiers 3:12–19.

Coble, K.F., J.M.DERouchey, M.D. Tokach, S.S. Dritz, R.D. Goodband, and J.C. Woodworth. 2017. Effects of distillers dried grains with solubles and added fat fed immediately before slaughter on growth performance and carcass characteristics of finishing pigs. J. Anim. Sci. 95:270–278.

Cromwell, G. L., M. J. Azain, O. Adeola, S. K. Baidoo, S. D. Carter, T. D. Crenshaw, S. W. Kim, D. C. Mahan, P. S. Miller, and M. C. Shannon. 2011. Corn distillers dried grains with solubles in diets for growing–finishing pigs: A cooperative study. J. Anim. Sci. 89:2801–2811.

Curry, S.M., D.M.D.L. Navarro, F.N. Almeida, J.A.S. Almeida, and H.H. Stein. 2014. Amino acid digestibility in low-fat distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. J. Anim. Sci. Biotechnol. 5:27.

Dahlen, R. B. A., S. K. Baidoo, G. C. Shurson, J. E. Anderson, C. R. Dahlen, and L. J. Johnston. 2011. Assessment of energy content of low-solubles corn distillers dried grains and effects on growth performance, carcass characteristics, and pork fat quality in growing- finishing pigs. J. Anim. Sci. 89:3140–3152.

Davis, J. M., P. E. Urriola, G. C. Shurson, S. K. Baidoo, and L. J. Johnston. 2015. Effects of adding supplemental tallow to diets containing 30 percent distillers dried grains with solubles on growth performance, carcass characteristics, and pork fat quality in growing–finishing pigs. J. Anim. Sci. 93:266–277.

Dee, S. C.NEill, T. Clement, A. Singrey, J. Christopher- Hennings, and E.NElson. 2015. An evaluation of porciNEepidemic diarrhea virus survival in individual feed ingredients in the presence or absence of a liquid antimicrobial. PorciNEHealth Mgmt. 1:9.

Duttlinger, A.J., J.M.DERouchey, M.D. Tokach, S.S. Dritz, R.D. Goodband, J.L.NElssen, T.A. Houser, and R.C. Sulabo. 2012. Effects of increasing cruDEglycerol and dried distillers grains with solubles on growth performance, carcass characteristics, and carcass fat quality of finishing pigs. J. Anim. Sci. 90:840–852.

Estrada Restrepo, J. E. 2013. Factors associated with variation in the fatty acid composition and iodiNEvalue of

carcass fat in pigs fed increasing levels of dried distillers grains with solubles. Master's thesis. Univ. of Illinois at Urbana-Champaign.

Finot, P. A. 2005. The absorption and metabolism of modified amino acids in processed foods. J. AOAC Int. 88:894–903.

Fontaine, J., U. Zimmer, P. J. Moughan, and S. M. Rutherfurd. 2007. Effect of heat damage in an autoclave on the reactive lysiNEcontents of soy products and corn distillers dried grains with solubles. Use of the results to check on lysiNEdamage in common qualities of these ingredients. J. Agric. Food Chem. 55:10737–10743.

Gloaguen, M., N. Le Floc'h, E. Corrent, Y. Primot, and J. van Milgen. 2012. Providing a dietDEfcient in valiNEbut with excess leuciNEresults in a rapidDEcrease in feed intake and modifes the postprandial plasma amino acid and alpha-keto acid concentrations in pigs. J. Anim. Sci. 90:3135–3142.

Gonçalves, M.A.D., S.S. Dritz, M.D. Tokach, J.M.DERouchey, J.C. Woodworth, and R.D. Goodband. 2017. Fact sheet – Ingredient database management for swine: phosphorus. J. SwiNEHealth Prod. 25:76–78.

Graham, A.B., R.D. Goodband, M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.M.DERouchey, and S. Nitikanchana. 2014a. The effects of medium-oil dried distillers grains with solubles on growth performance, carcass traits, and nutrient digestibility in growing-finishing pigs. J. Anim. Sci. 92:604–611.

Graham, A. B., R. D. Goodband, M. D. Tokach, S. S. Dritz, J. M.DERouchey, S. Nitikanchana., and J. J. Updike. 2014b. The effects of low-, medium-, and high-oil distillers dried grains with solubles on growth performance, nutrient digestibility, and fat quality in finishing pigs. J. Anim. Sci. 92:3610–3623.

Graham, A.B., R.D. Goodband, M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.M.DERouchey, and S. Nitikanchana. 2014c. The interactive effects of high-fat, high-fiber diets and ractopamiNEHCl on finishing pig growth performance, carcass characteristics, and carcass fat quality. J. Anim. Sci. 92:4585–4597.

Greiner, L., C.NEill, G.L. Allee, X. Wang, J. Connor, K. Touchette, and J.L. Usry. 2015. The feeding of dried distillers' grains with solubles to lactating sows. J. Anim. Sci. 93:5718–5724.

Gutierrez, N.A., N.V.L. Serão, and J.F. Patience. 2016. Effects of distillers' dried grains with solubles and soybean oil on dietary lipid, fiber, and amino acid digestibility in corn-based diets fed to growing pigs. J. Anim. Sci. 94:1508–1519.

Gutierrez, N.A., D.Y. Kil, Y. Liu, J.E. Pettigrew, and H.H. Stein. 2014. Effects of co-products from the corn-ethanol industry on body composition, retention of protein, lipids and energy, and on theNEt energy of diets fed to growing or finishing pigs. J. Sci. Food Agric. doi: 10.1002/ jfsa.6648,8pp.

Hanson, A.R., G. Xu, M. Li, M.H. Whitney, and G.C. Shurson. 2011. Impact of dried distillers grains with solubles (DDGS) and diet formulation method on dry matter, calcium, and phosphorus retention and excretion in nursery pigs. Anim. Feed Sci. Technol. 172:187–193.

Hardry matteran, S.J. 2013. Effect of dietary distillers dried grains with solubles (DDGS) and pig removal strategy at harvest on the growth performance, carcass characteristics, and fat quality of growing-finishing pigs. Master's thesis, University of Illinois at Urbana- Champaign.

Harris, E.K., M.A. Mellencamp, L.J. Johnston, R.B. Cox, and G.C. Shurson. 2018. Effectiveness of different corn dried distillers grains with solubles feeding strategies and increasing the time intervals between the second Improvest dose and slaughter of immunologically castrated pigs on belly and pork fat quality. Meat Sci. 135:62–73.

Harris, E.K., M.A. Mellencamp, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2017a. Growth performance of immunologically castrated pigs slaughtered at 5, 7, or9weeks after the second Improvest

dose and fed diets containing corn dried distillers grains with solubles. J. Anim. Sci. 95:806– 819.

Harris, E.K., M.A. Mellencamp, L.J. Johnston, R.B. Cox, and G.C. Shurson. 2017b. Effect of time interval between the second Improvest dose and slaughter and corn dried distillers grains with solubles feeding strategies on carcass composition, primal cutout, and pork quality of immunologically castrated pigs. Meat Sci. 127:13–20.

Harris, R. A., M. Joshi, and N. H. Jeoung. 2004. Mechanisms responsible for regulation of branched– chain amino acid catabolism. Biochem. Biophys. Res. Commun. 313:391–396.

Hastad, C. W., M. D. Tokach, J. L.NElssen, R. D. Goodband, S. S. Dritz, J. M.DERouchey, C. N. Groesbeck, K. R. Lawrence, N. A. Lenehan, and T. P. Keegan. 2004. Energy value of dried distillers grains with solubles in swiNEdiets. J. Anim. Sci. 82(Suppl. 2):50. (Abstr.)

Hilbrands, A. M., L. J. Johnston, K. M. McClelland, R. B. Cox, S. K. Baidoo, L. W. O. Souza, and G. C. Shurson. 2013. Effects of abrupt introduction and removal of high and low digestibility corn distillers dried grains with solubles from the diet on growth performance and carcass characteristics of growing–finishing pigs. J. Anim. Sci. 91:248–258.

Htoo, J. K., K. Manner, and J. Zentek. 2017. Excess dietary leuciNElevel increases the optimal dietary isoleucine–to–lysiNEratio in 8– to 21–kilogram pigs. J. Anim. Sci. 95:195.

Huang, Z., P.E. Urriola, and G.C. Shurson. 2017. Use of in vitro dry matter digestibility and gas production to predict apparent total tract digestibility of total dietary fiber for growing pigs. J. Anim. Sci 95:5474–5484.

Jacela, J.Y., J.M.DERouchey, S.S. Dritz, M.D. Tokach, R.D. Goodband, J.L.NElssen, R.C. Sulabo, R.C. Thaler, L. Brandts, D.E. Little, and K.J. Prusa. 2011. Amino acid digestibility and energy content ofDEoiled (solvent– extracted) corn distillers dried grains with solubles for swiNEand effects on growth performance and carcass characteristics. J. Anim. Sci. 89:1817–1829.

Jacela, J. Y., J. M. Benz, S. S. Dritz, M. D. Tokach, J. M.DERouchey, R. D. Goodband, J. L.NElssen, and K. J. Prusa. 2009. Effect of dried distillers grains with solubles withdrawal regimens on finishing pig performance and carcass characteristics. SwiNEDay. phosphorus 181–191. Manhattan, KS.

Jha, R., T.A. Woyengo, J. Li, M.R. Bedford, T. Vasanthan, and R.T. Zijlstra. 2015. Enzymes enhanceDEgradation of the fiber–starch–protein matrix of distillers dried grains with solubles as revealed by a porciNEin vitro fermentation model and microscopy. J. Anim. Sci. 93:1039–1051.

Jha, R., J.K. Htoo, M.G. Young, E. Beltranena, and R.T. Zijlstra. 2013. Effects of increasing co–product inclusion and reducing dietary protein on growth performance, carcass characteristics, and jowl fatty acid profle of growing–finishing pigs. J. Anim. Sci. 91:2178–2191.

Jones, C.K., J.R. Bergstrom, M.D. Tokach, J.M.DERouchey, R.D. Goodband, J.L.NElssen, and S.S. Dritz. 2010. Effcacy of commercial enzymes in diets containing various concentrations and sources of dried distillers grains with solubles for nursery pigs. J. Anim. Sci. 88:2084–2091.

Kellner, T. A. 2014. Impact of dietary fat intake on carcass iodiNEvalue and pork fat quality. Master's thesis. Iowa State University, Ames, IA.

Kerr, B.J., N.K. Gabler, and G.C. Shurson. 2015a. Formulating diets containing corn distillers dried grains with solubles on aNEt energy basis: Effects on pig performance and energy and nutrient digestibility. Prof. Anim. Scientist 31:497–503.

Kerr, B.J., W.A. Dozier, III, and G.C. Shurson. 2013. Effects of reduced–oil corn distillers dried grains with solubles

composition on digestible and metabolizable energy value and prediction in growing pigs. J. Anim. Sci. 91:3231–3243.

Kim, B.G., D.Y. Kil, D.C. Mahan, G.M. Hill, and H.H. Stein. 2014. Effects of dietary sulfur and distillers dried grains with solubles on carcass characteristics, loin quality, and tissue concentrations of sulfur, selenium, and copper in growing-finishing pigs. J. Anim. Sci. 92:4486–4493.

Kim, B.G., D.Y. Kil, and H.H. Stein. 2013. In growing pigs, the true ileal and total tract digestibility of acid hydrolyzed ether extract in extracted corn oil is greater than in in intact sources of corn oil or soybean oil. J. Anim. Sci. 91:755–763.

Lammers, P.J., B.J. Kerr, and M.S. Honeyman. 2015. Biofuel co-products as swiNEfeed ingredients: Combining corn distillers dried grains with solubles (DDGS) and cruDEglycerin. Anim. Feed Sci. Technol. 201:110–114.

Lee, J.W., D.Y. Kil, B.D. Keever, J. Killefer, F.K. McKeith, R.C. Sulabo, and H.H. Stein. 2013. Carcass fat quality of pigs is not improved by adding corn germ, beef tallow, palm kernel oil, or glycerol to finishing diets containing distillers dried grains with solubles. J. Anim. Sci. 91:2426–2437.

Leick, C.M., C.L. Puls, M. Ellis, J. Killefer, T.R. Carr, S.M. Scramlin, M.B. England, A.M. Gaines, B.F. Wolter, S.N. Carr, and F.K. McKeith. 2010. Effect of distillers dried grains with solubles and ractompamiNE(Paylean) on quality and shelf life of fresh pork and bacon. J. Anim. Sci. 88:2751–2766.

Li, G., Z. Wang, M. Lin, Z. Lu, and W. Yao. 2012. Effects of cornDDGSin combination with compound enzymes on growth performance, carcass fat quality, plasma and tissue redox homeostasis of growing-finishing pigs. Livest. Sci. 149:46–52.

Li, P., X. Xu, Q. Zhang, J.D. Liu, Q.Y. Li, S. Zhang, X.K. Ma, and X.S. Piao. 2015. Effect of different inclusion level of condensed distillers solubles ratios and oil content on amino acid digestibility of corn distillers dried grains with solubles in growing pigs. Asian Austral. J. Anim. Sci. 28:102–110.

Li, X., S.K. Baidoo, Y.Z. Li, G.C. Shurson, and L.J. Johnston. 2014. Interactive effects of distillers dried grains with solubles and housing system on reproductive performance and longevity of sows over thrEEreproductive cycles. J. Anim. Sci. 92:1562–1573.

Li, Y.Z., C.E. Phillips, L.H. Wang, X.L. Xie, S.K. Baidoo, G.C. Shurson, and L.J. Johnston. 2013. Effects of distiller' dried grains with solubles on behavior of sows kept in a group-housed system with electronic sow feeders or individual stalls. Can. J. Anim. Sci. 93:57–66.

Little, K.L., J.M. Kyle, B.M. Bohrer, A.L. Schroeder, C.A. Fedler, K.J. Prusa, and D.D. Boler. 2014. A comparison of slice characteristics and sensory characteristics of bacon from immunologically castrated barrows with bacon from physically castrated barrows, boars, and gilts. J. Anim. Sci. 92:5769–5777.

Liu, P., L. W. O. Souza, S. K. Baidoo, and G. C. Shurson. 2012. Impact of distillers dried grains with solubles particle size on nutrient digestibility,DEandMEcontent, and fowability in diets for growing pigs. J. Anim. Sci. 90:4925–4932.

Madsen, A., K. Jakobsen, and H. P. Mortensen. 1992. influence of dietary fat on carcass fat quality in pigs. A review. Acta Agric. Scand., Sect. A, Animal Sci. 42:220–225.

Mathai, J. K., J. K. Htoo, J. E. Thomson, K. J. Touchette, and H. H. Stein. 2016. Effects of dietary fiber on the ideal standardized ileal digestible threonine: LysiNEratio for twenty-five to ffty kilogram growing gilts. J. Anim. Sci. 94:4217–4230.

McClelland, K.M., G. Rentfrow, G.L. Cromwell, M.D. Lindemann, and M.J. Azain. 2012. Effects of corn distillers dried grains with solubles on quality traits of pork. J. Anim. Sci. 90:4148–4156.

McDonnell, P., C.J. O'Shea, J.J. Callan, and J.V. O'Doherty. 2011. The response of growth performance, nitrogen, and phosphorus excretion of growing–finishing pigs to diets containing incremental levels of maize dried distiller's grains with solubles. An. Feed Sci. Tech. 169:104–112.

Meade, S. J., E. A. Reid, and J. A. Gerrard. 2005. The impact of processing on the nutritional quality of food proteins. AOAC Int. 88:904–922.

Musser, R.E., R.D. Goodband, M.D. Tokach, K.Q. Owen, J.L.Nelssen, S.A. Blum, S.S. Dritz, and C.A. Civis. 1999. Effects of L–carnitiNEfed during gestation and lactation on sow and litter performance. J. Anim. Sci. 77:3289–3295.

Myers, A.J., R.D. Goodband, M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.M.DERouchey, and J.L.NElssen. 2013. The effects of diet form and feederDEsign on the growth performance of finishing pigs. J. Anim. Sci. 91:3420–3428.

Nemechek, J.E., M.D. Tokach, S.S. Dritz, R.D. Goodband, J.M.DeRouchey, and J.C. Woodworth. 2015. Effects of diet form and type on growth performance, carcass yield, and iodiNEvalue of finishing pigs. J. Anim. Sci. 93:4486–4499.

Noblet, J., H. Fortune, X. S. Shi, and S. Dubois. 1994. Prediction ofNEt energy value of feeds for growing pigs. J. Anim. Sci. 72:344–354.

Noblet, J., and J. M. Pérez. 1993. Prediction of digestibility of nutrients and energy value of pig diets from chemical analysis. J. Anim. Sci. 71:3389–3398.

NRC. 2012. Nutrient requirements of swine. 11th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

NRC. 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10th ed. National Academy Press,Washington, DC.

NRC. 1994. Nutrient requirements for poultry. 9th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.

Ntakatsane, M. P., X. Q. Yang, M. Lin, X. M. Liu, and P. Zhou. 2011. Short communication: Suitability of fuorescence spectroscopy for characterization of commercial milk of different composition and origin. J. Dairy Sci. 94:5375–80.

Olukosi, O.A., and A.O. Adebiyi. 2013. Chemical composition and prediction of amino acid content of maize- and wheat-distiller's dried grains with solubles. Anim. Feed Sci. Technol. 185:182–189.

Overholt, M.F., J.E. Lowell, E.K. Arkfeld, I.M. Grossman, H.H. Stein, A.C. Dilger, and D.D. Boler. 2016a. Effects of pelleting diets without or with distillers' dried grains with solubles on growth performance, carcass characteristics, and gastrointestinal weights of growing–finishing barrows and gilts. J. Anim. Sci. 94:2172–2183.

Overholt, M.F., J.E. Lowell, K.B. Wilson, R.J. Matulis, H.H. Stein, A.C. Dilger, and D.D. Boler. 2016b. Effects of feeding pelleted diets without or with distillers dried grains with solubles on fresh belly characteristics, fat quality, and commercial bacon slicing yields of finishing pigs. J. Anim. Sci. 94:2198–2206.

Pahm, A. A., C. Pedersen, D. Hoehler, and H. H. Stein. 2008. Factors affecting the variability in ileal amino acid digestibility in corn distillers dried grains with solubles fed to growing pigs. J. Anim. Sci. 86:2180–2189.

Paulk, C. B., J. R. Bergstrom, M. D. Tokach, S. S. Dritz, D. D. Burnett, E. W. Stephenson, M. A. Vaughn, J. M.DERouchey, R. D. Goodband, J. L.NElssen, and J. M. Gonzalez. 2015. Equations generated to predict iodiNEvalue of pork carcass back, belly, and jowl fat. J. Anim. Sci. 93:1666–1678.

Patience, J. F. 2009. Energy in swiNEnutrition. Animal Industry Report. http://lib.dr.iastate.edu/ans_air/vol655/iss1/80. (accessedDEcember 3, 2017).

Pedersen, C., M. G. Boersma, and H. H. Stein. 2007. Digestibility of energy and phosphorus in ten samples of distillers dried grains with solubles fed to growing

pigs. J. Anim. Sci. 85:1168–1176.

Pompeu, D. B.R. Wiegand, H.L. Evans, J.W. Rickard, G.D. Gerlemann, R.B. Hinson, S.N. Carr, M.J. Ritter, R.D. Boyd, and G.L. Allee. 2013. Effect of corn dried distillers grains with solubles, conjugated linoleic acid, and ractopamiNE(Paylean) on growth performance and fat characteristics of late finishing pigs. J. Anim. Sci. 91:793–803.

Ramanau, A., H. Kluge, and K. Eder. 2005. Effects of L-carnitiNEsupplementation on milk production, litter gains and backfat thickness in sows on a low energy and protein intake during lactation. Br. J. Nutr. 717–721.

Ramanau, A., H. Kluge, J. Spilke, and K. Eder. 2004. Supplementation of sows with L-carnitiNEduring pregnancy and lactation improves growth of piglets during the suckling period through increased milk production. J. Nutr. 134:86–92.

Ren, P., Z. Zhu, B. Dong, J. Zang, and L. Gong. 2011.DEtermination of energy and amino acid digestibility in growing pigs fed corn distillers' dried grains with solubles containing different lipid levels. Arch. Anim. Nutr. 65:303–319.

Rojas, O.J., Y. Liu, and H.H. Stein. 2013. Phosphorus digestibility and concentration of digestible and metabolizable energy in corn, corn coproducts, and bakery meal fed to growing pigs. J. Anim. Sci. 91:5326–5335.

Rostagno, M.H., B.T. Richert, L.V.C. Girao, G.M. Preis, L.J. Lara, A.F. Amaral, A.D.B. Melo, and A. Jones. 2013. Do distillers grains with solubles affect the occurrence of Salmonella enterica colonization in pigs? J. Anim. Sci. 91(E-Suppl. 2): 699 (Abstr.).

Rutherfurd, S. M. 2015. Use of the guanidination reaction forDEtermining reactive lysine, bioavailable lysiNEand gut endogenous lysine. Amino Acids 47:1805–1815.

Salyer, J.A., M.D. Tokach, J.M.DERouchey, S.S. Dritz, R.D. Goodband, and J.L.NElssen. 2013. Effects of standardized ileal digestible tryptophan:lysiNEin diets containing 30 percent dried distillers grains with solubles on finishing pig performance and carcass traits. J. Anim. Sci. 91:3244–3252.

Saqui-Salces, M., Z. Luo, P.E. Urriola, G.C. Shurson, and B.J. Kerr. 2017a. Effect of dietary fiber and diet particle size on nutrient digestibility and gastrointestinal secretory function in growing pigs. J. Anim. Sci. 95:2640–2648.

Saqui-Salces, M, Z. Huang, M. Ferrandis Vila, J. Li, J.A. Mielke, P.E. Urriola, and G.C. Shurson. 2017b. Modulation of intestinal cell differentiation in growing pigs isDEpendent on the fiber source in the diet. J. Anim. Sci. 95:1179–1190.

Seabolt, B.S., E. van Heughten, S.W. Kim, K.D. Ange-van Heugten, and E. Roura. 2010. Feed preference and performance of nursery pigs fed diets containing various inclusion amounts and qualities of distillers coproducts and favor. J. Anim. Sci. 88:3725–3738.

She, U., Y. Su, L. Liu, C. Huang, J. Li, P. Li, D. Li, and X. Piao. 2015. Effects of microbial phytase on coeffcient of standardized total tract digestibility of phosphorus in growing pigs fed corn and corn co-products, wheat and wheat co-products and oilseed meals. Anim. Feed Sci. Technol. 208:132–144.

Shelton, N.W., S.S. Dritz, J.L.NElssen, M.D. Tokach, R.D. Goodband, J.M.DERouchey, H. Yang, D.A. Hill, D. Holzgraefe, D.H. Hall, and D.C. Mahan. 2014. Effects of dietary vitamin E concentration and source on sow, milk, and pig concentrations of
-tocopherol. J. Anim. Sci. 92:4547–4556.

Shen, Y., M.Z. Fan, A. Ajakiye, and T. Archibold. 2002. Use of the regression analysis technique toDEtermiNEthe true digestible phosphorus digestibility and the endogenous phosphorus output associated with corn in growing pigs. J. Nutr. 132:1199–1206.

Song, M. S.K. Baidoo, G.C. Shurson, M.H. Whitney, L.J. Johnston, and D.D. Gallaher. 2010. Dietary effects of distillers dried grains with solubles on performance and

milk composition of lactating sows. J. Anim. Sci. 88:3313–3319.

Song, R., and G. C. Shurson. 2013. Evaluation of lipid peroxidation level in corn dried distillers' grains with solubles. J. Anim. Sci. 91:4383–4388.

Stein, H. H., and G. C. Shurson. 2009. The use and application of distillers dried grains with solubles in swiNEdiets. J. Anim. Sci. 87:1292–1303.

Stein, H. H., S. P. Connot, and C. Pedersen. 2009. Energy and nutrient digestibility in four sources of distillers dried grains with solubles produced from corn grown within a narrow geographical area and fed to growing pigs. Asian- Aust. J. Anim. Sci. 22:1016–1025.

Stein, H. H., M. L. Gibson, C. Pedersen, and M. G. Boersma. 2006. Amino acid and energy digestibility in ten samples of distillers dried grain with solubles by growing pigs. J. Anim. Sci. 84:853–860.

Tavárez, M.A., B.M. Bohrer, M.D. Asmus, A.L. Schroeder, R.J. Matulis, D.D. Boler, and A.C. Dilger. 2014. Effects of immunological castration and distiller's dried grains with solubles on carcass cutability and commercial bacon slicing yields of barrows slaughtered at two time points. J. Anim. Sci. 92:3149–3160.

Tran, H., R. Moreno, E.E. Hinkle, J.W. Bundy, J. Walter, T.E. Burkey, and P.S. Miller. 2012. Effect of corn distillers dried grains with solubles on growth performance and health status indicators in weanling pigs. J. Anim. Sci. 90:790–801.

Trudeau, M.P., H. Verma, F. Sampedro, P.E. Urriola, G. C. Shurson, and S.M. Goyal. 2017. Environmental persistence of porciNEcoronaviruses in feed and feed ingredients. PLoS ONE12:e0178094. https://doi. org/10.1371/journal.pone.0178094.

Tsai, T., C.R. Dove, P.M. Cline, A. Owusu-Asiedu, M.C. Walsh, and M. Azain. 2017. The effect of adding xylanase or -glucanase to diets with corn distillers dried grains with solubles (CDDGS) on growth performance and nutrient digestibility in nursery pigs. Livest. Sci. 197:46–52.

Urriola, P. E., M. Li, B. J. Kerr, and G. C. Shurson. 2014. Evaluation of prediction equations to estimate gross, digestible, and metabolizable energy content of maize dried distillers grains with solubles (DDGS) for swiNEbased on variable chemical composition. Anim. Feed Sci. Technol. 198:196–202.

Urriola, P. E., L. J. Johnston, H. H. Stein, and G. C. Shurson. 2013. Prediction of the concentration of standardized ileal digestible amino acids in distillers dried grains with solubles. J. Anim. Sci. 91:4389–4396.

Urriola, P. E., and H. H. Stein. 2010. Effects of distillers dried grains with solubles on amino acid, energy, and fiber digestibility and on hindgut fermentation of dietary fiber in a corn–soybean meal diet fed to growing pigs. J. Anim. Sci. 88:1454–1462.

Urriola, P. E, G. C. Shurson, and H. H. Stein. 2010. Digestibility of dietary fiber in distillers coproducts fed to growing pigs. J. Anim. Sci. 88:2373–2381.

Wang, L., P.E. Urriola, Z. Luo, Z.J. Rambo, M.E. Wilson, J.L. Torrison, G.C. Shurson, and C. Chen. 2016. Metabolomics revealed heat stress and zinc supplementation–induced changes in amino acid, lipid, and microbial metabolism. Phys. Rep. 4:e12676, doi:10.14814/phy2.12676.

Wang, H., L.S. Wang, B.M Shi, and A.S. Shan. 2012. Effects of dietary corn dried distillers grains with solubles and vitamin E on growth performance, meat quality, fatty acid profles, and pork shelf life of finishing pigs. Livest. Sci. 149:155–166.

Wang, L.S., B.C. Su, Z. Shi, B.M. Shi, and A.S. Shan. 2013. Dietary supplementation with maize distillers dried grains with solubles during late gestation and lactation: Effects on sow and litter performance, and on colostrum and milk composition. Anim. Feed Sci. Technol. 179:149–153.

Weber, E.K., K.J. Stalder, and J.F. Patience. 2015. Wean- to-fnish feeder space

availability effects on nursery and finishing pig performance and total tract digestibility in a commercial setting when feeding dried distillers grains with solubles. J. Anim. Sci. 93:1905–1915.

Wei, B., S. Nie, Q. Meng, Z. Qu, A. Shan, and Z. Chen. 2016. Effects of L-carnitiNEand/or maize distillers dried grains with solubles in diets of gestating and lactating sows on the intestinal barrier functions of their offspring. Br. J. Nutr. 116:459–469.

Whitney, M.H., G.C. Shurson, and R.C. Guedes. 2006a. Effect of dietary inclusion of distillers dried grains with solubles on the ability of growing pigs to resist a Lawsonia intracellularis challenge. J. Anim. Sci. 2006. 84:1860–1869.

Whitney, M.H., G.C. Shurson, and R.C. Guedes. 2006b. Effect of including distillers dried grains with solubles in the diet, with or without antimicrobial regimen, on the ability of growing pigs to resist a Lawsonia intracellularis challenge. J. Anim. Sci. 2006. 84:1870–1879.

Wiltafsky, M. K., M. W. Pfaff, and F. X. Roth. 2010. The effects of branched-chain amino acid interactions on growth performance, blood metabolites, enzyme kinetics and transcriptomics in weaned pigs. Br. J. Nutr. 103:964–76.

Wu, F., L.J. Johnston, P.E. Urriola, A.M. Hilbrands, and G.C. Shurson. 2016a. Evaluation ofMEpredictions and the impact of feeding maize distillers dried grains with solubles with variable oil content on growth performance, carcass composition, and pork fat quality of growing-finishing pigs. Anim. Feed Sci. Technol. 213:128–141.

Wu, F., L.J. Johnston, P.E. Urriola, and G.C. Shurson. 2016b. Pork fat quality of pigs fed distillers dried grains with solubles with variable oil content and evaluation of iodiNEvalue prediction equations. J. Anim. Sci. 94:1041–1052.

Wu, F., L.J. Johnston, P.E. Urriola, A.M. Hilbrands, and G.C. Shurson. 2016c. Evaluation ofNEpredictions and the impact of feeding maize distillers dried grains with solubles (DDGS) with variableNEcontent on growth performance and carcass characteristics of growing-finishing pigs. Anim. Feed Sci. Technol. 215:105–116.

Xu, G., S. K. Baidoo, L. J. Johnston, D. Bibus, J. E. Cannon, and G. C. Shurson. 2010a. Effects of feeding diets containing increasing content of corn distillers dried grains with solubles to grower-fnisher pigs on growth performance, carcass composition, and pork fat quality. J. Anim. Sci. 88:1398–1410.

Xu, G., S. K. Baidoo, L. J. Johnston, D. Bibus, J. E. Cannon, and G. C. Shurson. 2010b. The effects of feeding diets containing corn distillers dried grains with solubles, and withdrawal period of distillers dried grains with solubles, on growth performance and pork quality in grower-fnisher pigs. J. Anim. Sci. 88:1388–1397.

Ying, W., M.D. Tokach, J.M.DERouchey, T.E. Houser, S.S. Dritz, R.D. Goodband, and J.L.NElssen. 2013. Effects of dietary L-carnitiNEand dried distillers grains with solubles on growth, carcass characteristics, and loin and fat quality of growing-finishing pigs. J. Anim. Sci. 91:3211–3219.

Zeng, Z.K., G.C. Shurson, and P.E. Urriola. 2017. Prediction of the concentration of standaridized ileal digestible amino acids and safety margins among sources of distillers dried grains with solubles for growing pigs: A meta-analysis approach. Anim. Feed Sci. and Technol. 231:150–159.

Zhu, C. L., M. Rademacher, and C. F. M.DELange. 2005. Increasing dietary pectin level reduces utilization of digestible threoniNEintake, but not lysiNEintake, for body proteinDEposition in growing pigs. J. Anim. Sci. 83:1044–1053.