

飼料酵素的創新 ——過去、現在及其潛力

直到1894年生化研究的先驅Jokichi Takamine博士率先獲得第一個美國專利之後，酵素作為催化劑的特性才真正的被認定可以優化營養。目前全球百分之九十家禽日糧中所使用的植酸酶及其作用受質之植酸鹽的發現不過是九十年代早期的事件，後者最近更被確認為植酸酶所處理之抗營養因子。第一篇應用外源酵素來改善飼料的文獻於20年後才被發表。

即便家禽日糧應用酵素的研​​究至今仍為家禽科學研究的王道，期間也完成超過2,500個肉雞的酵素試驗，外源酵素被普遍應用於禽畜飼料卻等到八十年代才成為主流；且飼料酵素的價值一直到九十年代末期才被全球廣泛的認可。

附件列舉丹尼斯克動物營養在動物飼料酵素的歷史與創新過程中的里程碑，並說明飼料酵素的研發如何支持往後的食物安全。

回想八十年代當時，為了滿足全球人口暴增所需，必然需要更快地生產出更多高品質的蛋白質。然而，從飼料轉換成蛋白質並不是一個非常有效的步驟。

即便日糧相當簡單，家禽也無法消化超過攝食量四分之一的飼料。另一方面，幼齡雞隻的酵素分泌不足，也缺乏相對應的酵素來消化常見的大麥與燕麥日糧。

八十年代末期引進的木聚醣酶、β-葡聚糖酶與纖維素分解酶主要作用於分解“粘性”穀物中的非澱粉多醣(NSPs, 如：阿拉伯木聚醣與β-葡聚醣)。

木聚醣酶與β-葡聚醣酶的合併使用，藉著釋放被覆蓋的營養份、降低粘度與內源損失，可提高營養份的消化與飼料的利用率。對於歐洲、加拿大、澳大利亞與紐西蘭等使用小麥與大麥為主要家禽原料的生產者而言，此種效益可謂名符其實的“突破”。

家禽會排放飼料中百分之四十五的鍵結礦物質(包括磷元素)。當含磷糞便排放入土壤中，由於藻類的大量滋生會造成富營養化最終威脅到已經稀少的淡水源。

八十年代，荷蘭當局率先實施增稅懲罰來管制磷排放入土壤中的總量，以限制堆肥磷滲入水源當中。植酸酶率先於1980年後期被引用入飼料中來協助生產者規避“磷賦稅”。德國的養殖業者也面臨類似的法規並隨即引進植酸酶。有鑒於其相當昂貴的成本與立法的要求與否，其餘國家的使用僅侷限於少部份。

遲至九十年代，飼料產業界方逐步認同在一系列不同的原料日糧中(含非粘性原料之高梁與玉米)，使用碳水化合物酵素與蛋白酶。

從此以後，複合酵素開始被運用於原料變異的降低(如機器烘乾玉米所導致澱粉結構的改變)與禽畜整齊度不均的手段。

歐盟與日本於2001年持續禁止使用過去業者普遍採用之低成本牛肉骨粉作為礦物質與蛋白質來源，此舉咸信為加速植酸酶用量增長的因素之一。

過去十年間蛋白質需求也隨著人口與所得增長而增加，在此期間家禽的消耗量增長了百分之三十二。

需求持續提高的結果揭開了往後動物產業界無法預知的挑戰；譬如：原物料的高漲、極端氣候的變遷以及流行病的發生。

如何因應此一變化儼然成為業者的主要課題。

本世紀的變遷：飼料酵素應用之轉捩點

2000年以來，為限制環境當中的磷排放量而頒布的新法規已屢見不鮮。雖然如此，商業飼料中大量使用植酸酶的轉捩點則起源於九十年代時無機磷價格的飆漲所致。此時也建立應用植酸酶來改善磷的吸收以利骨骼生長、細胞功能以及能量的代謝，最終達到動物生產性能的極大化。此因植酸酶被發現能夠將植酸鹽中不可利用的磷轉成可利用者。

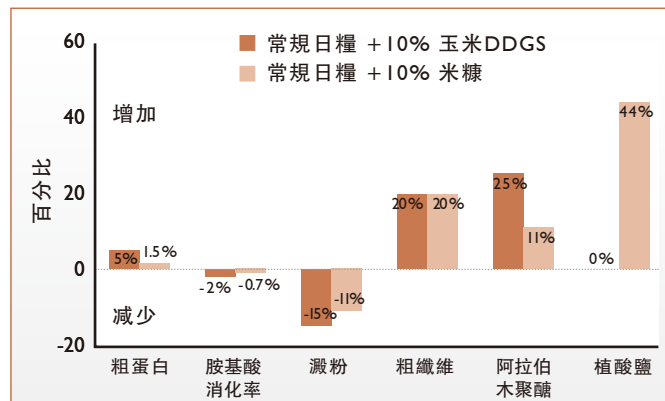
此間更多的研究也持續進行，包括粘性穀物中NSP含量的變異，以及如何應用木聚醣酶與β-葡聚糖酶來降低現今已經佔總生產預算達四分之三的飼料成本。

某些近期的試驗已證實木聚醣酶與β-葡聚醣酶能獲得絕大部份的消化率改善。蛋白質是禽料中僅次於能量之最大成本，近年來已經改用低成本、高蛋白的原料來改善獲利率。

由於政府當局的替代能源政策造就玉米DDGS的釋出：該唾手可得的原料為生產生質能源的副產品；其成份類似於其它如米糠等價格低廉、含高蛋白的原料，屬高纖但不易消化者。一旦日糧由簡單轉成此類更趨複雜者，其中動物可消化的受質會顯著改變，且日糧中的澱粉與可消化胺基酸的濃度都會降低(圖1)。

原料的種植方式與收割條件會改變其受質的濃度與消化率並於動物生產性能的變異。譬如常規使用的玉米為例：全球一致公認該原料具有變異性，有時候其變異程度仍不低於小麥等粘性原料。

圖1. 常規玉米-豆粕日糧添加DDGS與米糠之後，粗蛋白與纖維濃度、澱粉與胺基酸消化率及受質的變化。



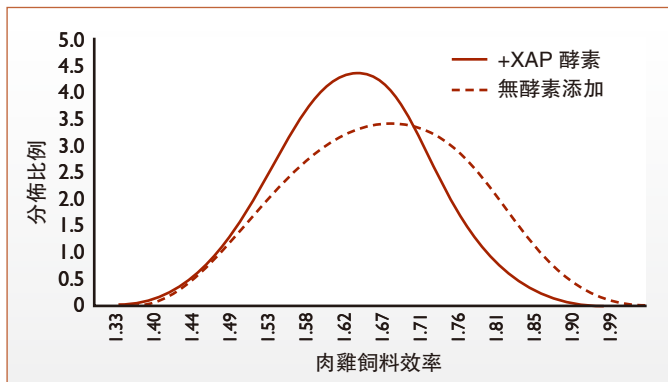


圖2. 試驗採56個不同來源之玉米樣品，添加木聚醣酶、澱粉酶與蛋白酶後對肉雞飼料效率變異下降的結果 (Danisco Animal Nutrition, 2011)

肉雞的試驗(圖2)顯示：由於玉米本身及其消化率變異所導致飼料效率的差異，可透過木聚醣酶、澱粉酶與蛋白酶的添加來改善。該複合酵素係針對日糧中不同目標受質分別運作，藉著抗營養因子的去除以及消化率的改善，來發揮雞隻最大的生長產性能。其中的作用機理如下所述：

- 木聚醣酶與β-葡聚醣酶可降解非澱粉多醣(NSP，如細胞壁纖維成份之可溶性與不溶性阿拉伯木聚醣)、降低食糜粘度並改善消化率與通過速度、釋放被包裹之營養份。此種“開門效應”有利於其它酵素對細胞內容物的水解。

- 澱粉酶作用於澱粉，可升高水解並改善其消化率。作用雞隻內源澱粉酶分泌的互補、釋放能量以利生長、提高澱粉消化率同時減少有害菌可利用之受質。

- 蛋白酶通過儲存蛋白與結構蛋白的水解，來提高其消化率，並可破壞日糧中蛋白質、澱粉與纖維之間的交感作用。

此外，蛋白酶也作用於日糧中其它的抗營養因子，如黃豆及其它植物蛋白中殘存的胰蛋白酶抑制因子與黃豆凝集素，藉此改善營養份的消化率。

使用複合酵素之所以會產生協同效應，原因為單一酵素並非僅侷限於特定受質的作用。

一旦木聚醣酶將纖維的組成份瓦解，所衍生的蛋白質受質隨即被接踵而來的酵素所水解，進而提高蛋白質的消化率。最近為數眾多的同儕審查報告也證實對家禽生長性能改善的結果(圖3)。

近期完成的肉雞消化率試驗也證實：於玉米-豆粉或玉米-豆粉並加入DDGS或雙低菜籽粕之日糧添加碳水化合物酶與蛋白酶時，雞

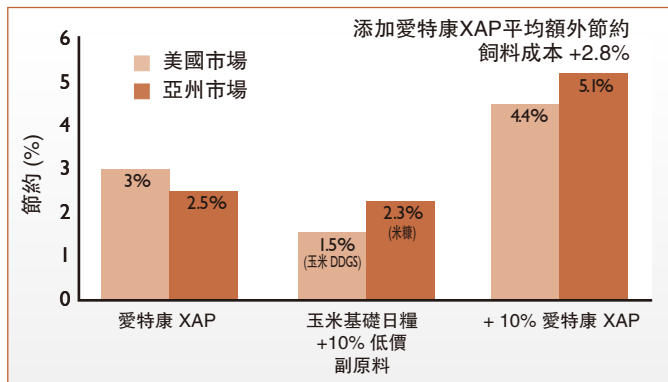


圖3. 家禽日糧合併使用木聚醣酶、澱粉酶與蛋白酶以節省成本的結果

隻迴腸內澱粉、脂肪與蛋白質來源之消化能會提高；若與單一玉米-豆粉比較時，此種效應於複雜日糧的反應會更明顯。

本次試驗也證實：在木聚醣酶與澱粉酶的基礎上添加蛋白酶，具有累加性的效果(圖4)。

另一方面，於玉米基礎日糧中加入替代性原料並同時使用木聚醣酶與β-葡聚醣酶時，其消化率即可獲得改善。

圖5的試驗顯示肉雞飼料玉米、DDGS、豆粉與菜籽粕並分別添加木聚醣酶或併用木聚醣酶與β-葡聚醣酶時發現：與對照組比較，併用兩種酵素可以顯著改善飼料效率與迴腸之能量消化率。

眾所皆知，家禽的腸道環境相當複雜；健康的腸道對於雞隻是否能夠發揮其最大的生產性能至關重要。

儘管生長過程中許多因素會累積影響雞隻的腸道菌相及其中非有益菌的數量；研究報告仍證實：存在於胃腸道各個部位中未消化營養份受質的種類、數量與可利用率的差異很大。

另一方面，通過改變微生物可利用的受質，碳水化合物酵素與蛋白酶兩者具有維持腸道健康的功用。此類效應屬多方面；例如，木聚醣酶不僅可以水解可溶性阿拉伯木聚醣以降低食糜粘度；既水解之阿拉伯木聚醣會衍生為阿拉伯木寡糖，此益生菌會促進有益菌的生長，隨後分泌之短鏈脂肪酸可被動物利用為能量來源。

圖4. 外源木聚醣酶與澱粉酶(無蛋白酶)添加對肉雞飼料玉米或小麥基礎日糧，蛋白質、澱粉與脂肪來源之迴腸表觀消化能之貢獻值

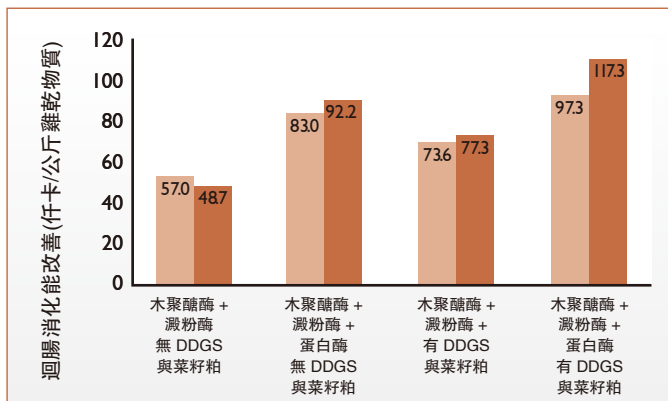
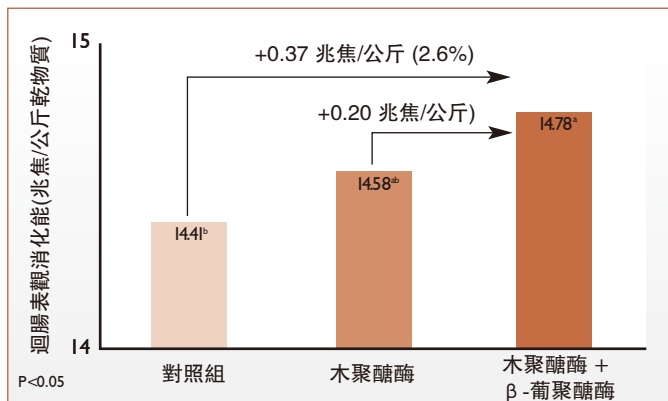


圖5. 木聚醣酶或木聚醣酶與β-葡聚醣酶合併使用對飼料玉米-DDGS-黃豆-菜籽粕肉雞迴腸內澱粉與蛋白質消化率的影響 (3處理試驗21天試驗；Amerah and Ravindran, Massey University, 2014)



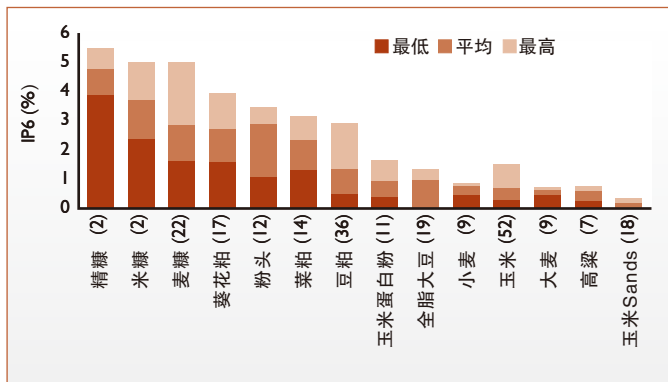


圖6. 常規飼料原料中植酸鹽的含量 (括弧內數字代表樣品數, Danisco Animal Nutrition, 2013)

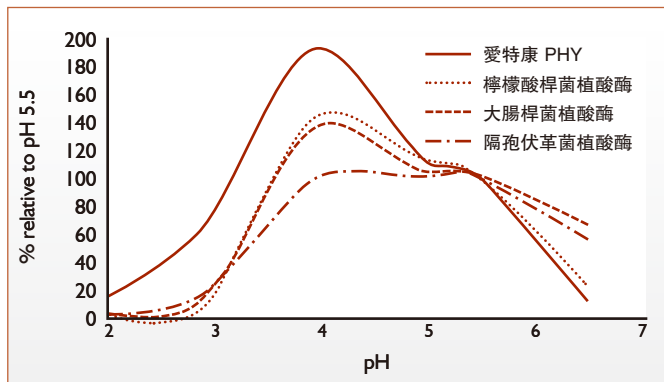


圖7. 植酸酶之最適pH環境因產品而異, 低酸性環境之相對活性亦互異 (與 pH 5.5時比較, FTU單位)

降低食糜的粘度即能賦與其它內源與外源酵素作用於先前無法利用到的受質, 結果導致營養份消化率的提高。

一旦腸道中受質的消化率達到最高點, 不僅可以提供更多的營養份為雞隻利用於生長; 同一時間, 病原微生物生存所需的未消化養分也會減少。更重要的是: 引起壞死性腸炎之產氣芽孢梭菌的菌數, 也因未消蛋白質的量減少而降低。

近年來, 吾人對植酸鹽干擾日糧中胺基酸與能量消化的認知與日俱增, 對於植酸酶效益的了解, 不只侷限於對磷(與鈣)營養的貢獻。

迄今, 基於其鍵結礦物質、胍肽與澱粉並形成複合物的特性, 及其妨礙雞隻對蛋白質與能量的利用, 植酸鹽已被視為最有影響力的抗營養因子。

此外, 植酸鹽也是導致內源性礦物質與胺基酸損耗的元凶。綜合上述的結果以及雞隻無法仰賴自身的酵素來降解植酸鹽的事實, 不難想像雞隻生產性能會受到不同程度的負面效應。

植酸鹽的濃度會伴隨著日糧趨於複雜化而升高(圖6), 因此, 尋找出更迅速、有效的手段來追擊高濃度植酸鹽的急迫性不言而喻。

過去十年來的研究乃著重於尋求一種與抗營養因子IP6植酸鹽分子, 有高度親合力並具備低pH活性的植酸酶; 以確保能在消化道前端即快速降解植酸鹽。據此得知, 生物有效性儼然已成為考量植酸酶的圭臬。

市售大腸菌類植酸酶率先於2003年上市; 其生物效價與飼料成本節省效益, 比起當時使用

中的傳統型真菌類產品改善了百分之二十。

在所有的植酸鹽濃度基準下, 大腸菌類植酸酶亦能改善迴腸蛋白質與胺基酸的消化率。然而, 一旦日糧中植酸鹽濃度過高時, 該類產品顯然是力猶未逮。

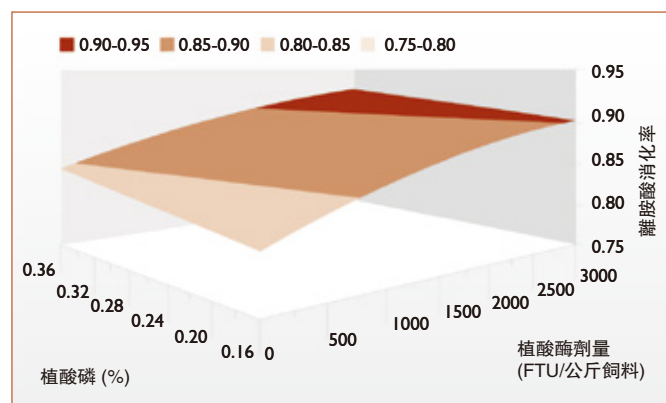
植酸酶進一步的發展發生於2007年間, 當時出現一種熱保護技術(Thermo Protection Technology, TPT)之植酸酶包被顆粒。

該包被技術確保植酸酶經過攝氏95度之飼料調質與製粒條件後仍然維持高度活性, 據此可解決業者在金錢與生產上的困擾。

相同的包被技術也被應用在同類產品間最優良的碳水化合物與蛋白質酵素產品上, 也具備高度的製粒後回收率。

於2013年間, 一種最先進的布丘氏菌植酸酶產品隆重上市。2012年Schothorst飼料研究中心的試驗證實: 該產品的生物學效價高出大腸菌類產品達79% (圖7)。

圖8. 採Chung-Pfost模式分析日糧植酸鹽濃度、植酸酶劑量 (布丘氏菌來源) 與離胺酸消化係數的關係 (Plumstead 等, 2013)



統合分析3年期間所完成的10個肉雞試驗結果也證實: 此種最新型的植酸酶能夠確切地驗證先前Sanda等對日糧中植酸鹽濃度與胺基酸消化率相關性的論證。

當使用者企圖將某一植酸酶產品之潛在營養價值數據導入飼料配方中時, 其信任度的高低取決於該產品可提供之試驗數據的多寡。

撇開年齡因素的影響, 豬隻與家禽對植酸酶的劑量反應並不相同。同時, 日糧中植酸鹽的濃度為植酸酶最佳用量的基礎, 據此得以計算出“磷元素以外”的營養份釋出值(如胺基酸與能量, 圖8)。

下一步怎麼走?

了解植酸酶、碳水化合物酵素與蛋白質酵素之間的協同效果之後, 未來的重點應尋求合併使用這些酵素, 以期進一步節省額外的飼料成本。

研究者企圖將不同類、作用機理互補之飼料添加劑 (如: 益生菌與酵素製劑)合併使用來評估兩者對存活率與生長性能的效應。採非攻毒試驗並餵飼玉米-黃豆與部份高纖之副原料日糧, Romero等(2013)發現: 肉雞合併使用三種枯草芽孢菌與三合一之木聚醣酶、澱粉酶與蛋白酶酵素後, 其氮矯正表觀代謝能(AMEn)呈現顯著遞增的結果。同時, 基於消化率的顯著改善以及腸道健康的支助, 本處理之投入產出比達到1比3。後續的試驗擬評估特定壞死性腸炎攻毒後的效益。

採相同的產品組合所進行的兩組試驗證實: 與攻毒之對照組比較, 處理組的FCR矯正後體重可以獲得改善, 按試驗當時的飼料成本來計算, 每公斤活體增重的淨收益達14%; 據此得知: 於實驗室壞死性腸炎攻毒的條件下, 上述產品組合概念的經濟效益極其顯著。

酵素技術之研發, 將開啟未來針對嶄新、價廉的非常規飼料原料的應用, 提供一個契機。目前, 研究人員已鎖定第一代、第二代生質酒精生產過程所衍生的原料, 尋求品質上的提升來利用為飼料原料。

此一領域的進展, 將有助於紓解飼料產業過去幾年來因價格波動所面臨的大災難; 並徹底解決動物蛋白生產的價格及其永續性。

資料來源: International Poultry Production—September 2014



與科特/芬蘭糖業公司合作
開始飼料酵素的研發

商業化量產第一種用於大麥基礎家禽飼料之β-葡聚糖酶

具有物種特異性的複合酵素方案首次上市，包括用於仔豬大麥日糧的Porzyme®和用於家禽日糧的Avizyme®



科特/亨德里克斯國際
開始研發合作



芬恩飼料國際有限公司
(FFI) 開業經營



德國薩股份公司(Degussa AG)
收購芬恩飼料的40%股份

採新型的杰能科酵素，推出Avizyme®
1000系列、Porzyme®8000與9000系列



首款專為玉米/大豆基礎家禽日糧
而開發的複合酵素產品Avizyme®
1500上市

率先推出獨特的Avicheck®服務以實現家
禽用酵素價值的最大化



科特從德國薩股份公司手中購得
芬恩飼料的40%股份



丹麥丹尼斯克集團同意收購科特
公司。芬恩飼料成為——丹尼斯
克科特旗下之策略業務體

上市大腸桿菌植酸酶(福磷生®XP)，其生
物有效性高出傳統的真菌植酸酶達20%



丹尼斯克集團買下伊斯曼化工所
持有的全部杰能科公司股份

1982

1984

1988

1989

1993

1994

1995

1997

1999

2003

2005



2014

經過25年以上的持續創新，丹尼斯克動物營養
推出“行業首款”——Synkra®AVI，結合酵素與複
合益生菌的解決方案，其目的旨在完全開發家
禽日糧的潛能

愛特康®產品系列在全球其他市場上市

推出Optimize Feed™服務，透過易於上手並省
時的線上服務與精確的潛在營養價值數據庫，
來協助用戶決定丹尼斯克植酸酶之最經濟用量

研發出新型半量化的FASTKit™檢驗試劑，
可迅速確認飼料中愛特康®PHY的添加，從而節
省寶貴的生產時間

2013

於美國市場率先推出：愛特康®PHY，該款細菌
來源植酸酶具高度生物有效性之專利，比較現
行市場上使用中的三種指標性大腸桿菌植酸酶
產品，可進一步節省飼料成本



2011

杜邦接管丹尼斯克並成為全球營養、
健康以及工業生物科技領域之領導者

持續的創新研發造就出兩款新一代的酵素產品
——愛特康®XB與愛特康®XAP，以解決單純或
複雜日糧的變異性



2007

伴隨著福磷生®XP TPT的推出，率先研發出熱
保護技術(TPT)。該技術不僅具有無與倫比的
製粒熱穩定性(高達95°C/203°F)，也滿足了過
往植酸酶無法因應的工業需求

Porcheck®加入服務組合內，該款獨一無二的
軟體工具主要用來估算小麥基礎日糧中
Porzyme®之最經濟用量

2006

推出兩個獨特服務：Avicheck®玉米——將玉米日
糧中禽用酵素的價值極大化；以及Phycheck®——
將肉雞日糧中植酸酶的價值極大化



通過超過25年的酵素創新，創造無限價值