

基因改造作物應用於家禽飼料的營養與安全性評估回顧

蘇晉暉^{(1)*}、林榮新⁽¹⁾、林雅玲⁽¹⁾、鄭智翔⁽¹⁾、劉秀洲⁽¹⁾

摘要

全世界大部分種植的基因改造作物 (Genetically modified crops, GMC, 以下簡稱基改作物) 被加工成動物飼料。基改作物作為飼料原料時，容易被質疑的部分包含其營養價值是否與其同遺傳背景近同源系 (near-isogenic line, 以下簡稱近同源系) 相同，以及對動物與人體的安全性等，如動物的消化道與組織殘留有重組過或導入之新蛋白質的可能性。就營養層面來看，過去有許多比較基改作物與其近同源系營養價值的研究，整體而言，第一代基改作物與近同源系的營養價值沒有顯著差異。其中有部分研究嘗試追蹤基改DNA片段與其生成蛋白質的後續存在情形以評估基改作物的安全性，結果顯示，動物食用基改飼料後，在其器官與組織的樣品中，並未發現這些重組的DNA或其生成蛋白質的殘留；而第二代基改作物為因應不同需求，而有包括如增加必需胺基酸含量、改進磷的利用率、降低抗營養因子、調整脂肪酸組成等影響作物營養價值的改進，因此針對第二代基改作物的研究，除了比較其與近同源系的營養價值外，更應著重於探討動物本身的健康與產品安全性，並嘗試建立實際應用於動物飼料的使用模式。

關鍵詞：飼料、基因改造作物、家禽

基因改造作物的背景與定義

與馴化動物相似，人類也不斷的在馴化農作物，藉由改善野生型 (wild type) 的特性來提升農作物的表現。植物育種學家成功讓糧食作物生產成本降低，低價的糧食供應讓過去數十年間世界人口得以急速增加，且預測到2050年世界人口將增加為約97億人 (United Nations, 2019)。不斷增長的人口壓力除了增加對糧食作物的需求外，也因人們收入和生活水準提升，進而提高對動物性蛋白的需求，甚至高過人口增加的速度。根據預估，到了2025年時，全球對動物性蛋白的需求將較2000年增加為

2倍 (McCalla, 1999)，並在2050年時增加為幾乎3倍 (Vasil, 1998)。有鑑於人口數量的增加，每個人所分配到的水、能源和其他原物料等資源日益減少，因此生產動物性蛋白的效率必須提升以滿足人類需求。植物育種者為了因應更多與更好的飼料及實務需求，利用科學技術改變作物的基因組成來改善其性能，而性能的改善包含提高作物的抗蟲害能力，如抗蟲害的玉米 (*Bacillus thuringiensis*, 蘇力菌，以下簡稱Bt玉米)、或是耐除草劑的能力，如耐除草劑的大豆等 (Roundup Ready, 抗嘉磷塞，以下簡稱RR大豆)。Bt類作物經過遺傳修飾來表達一種或多種來自蘇力菌的Cry蛋白，以保護作物

(1) 行政院農業委員會畜產試驗所宜蘭分所。

* 通訊作者 (chsu@mail.tlri.gov.tw)

(民國111年6月7日收件，民國111年8月15日修改，民國111年9月22日接受)

免受鱗翅目昆蟲的侵害；RR類作物則是賦予作物抵抗Roundup (臺灣俗稱年年春) 或其他以嘉磷塞 (glyphosate) 作為有效成分的除草劑能力。比較常見的基改作物除玉米與大豆外，如棉花與油菜等也有類似的基改品系。在不改變其營養價值情況下，這些基改作物被稱作第一代的基改作物。

自1996年導入基改作物以來，種植基改作物的農業用地面積不斷增加。在1996年至2012年間，全球基改作物面積增加了100倍，從170萬公頃增加到1.7億公頃 (James, 2012)。到了2016年，全球種植基改作物的面積已增加到1.851億公頃 (ISAAA, 2017)。依據美國食品藥物管理局 (U. S. Food and Drug Administration, USFDA) 的資料顯示，在美國種植的甜菜、油菜、玉米、大豆、棉花分別有99.9%、95%、92%、94%與94%是基改作物 (USFDA, 2020)；而全球在2019年有超過30個國家種植基改作物，主要分為14種經濟作物 (表1) (ISAAA, 2021)。

因為著重在抗蟲害與抗除草劑的改善，第一代基改作物的營養成分組成基本上與近同源系相同，所以這些作物應用於動物的營養價值以及動物食用後的表現理論上應該是相似或甚至相同的。Flachowsky等人 (2005, 2007) 的研究結果顯示，以第一代基改作物配製飼料，不會對畜產動物產出肉、蛋、乳的品質與產量造成負面的影響。雖然基改作物已經被應用當作動物飼料多年，且亦有許多研究證明對於動物本身與其產出產品的安全性，但基改作物還是難以扭轉一般消費者的疑慮。Garza與Stover (2003) 認為，如果希望消費者接受基改這種所謂的「綠色基因工程」，除了營養份組成以外，安全性才是消費者最在意的。消費者對於基改作物的安全性以及相關疑慮主要著重在轉入的DNA片段以及後續表達出非原生作物的蛋白質對動物的影響，以及是否會因此殘留於動物體內並對人類造成負面效應。除了健康的議題外，大眾關注的範圍也包含基改作物的出現，是否反而增加了農藥的使

表1 2019年全球種植基改作物國家與基改作物種類 (ISAAA, 2021)

Table 1 Countries in the world planted genetically modified (GM) crops and their types in 2019 (ISAAA, 2021)

基改作物 GM Crops	種植國家 Planted Country
Soybean	Argentina, Bolivia, Brazil, Canada, Paraguay, South Africa, Uruguay, USA
Maize	Argentina, Brazil, Canada, Chile, Colombia, Honduras, Paraguay, Philippines, Portugal, South Africa, Spain, Uruguay, USA, Vietnam
Cotton	Argentina, Australia, Brazil, China, Colombia, Costa Rica, Eswatini, Ethiopia, India, Malawi, Mexico, Myanmar, Nigeria, Pakistan, Paraguay, South Africa, Sudan, USA
Canola	Canada, Chile, USA
Sugar beets	Canada, USA
Alfalfa	Argentina, Australia, Canada, USA
Papaya	China, USA
Squash	USA
Potato	Canada, USA
Apples	USA
Eggplant	Bangladesh
Sugarcane	Brazil, Indonesia,
Pineapple	Costa Rica
Safflower	Australia

用量，或基因轉移到非目標物上產生不怕除草劑的「超級雜草」(Swiatkiewicz & Arczewska-Włosek, 2011)。

植物學家利用基因工程在作物內導入新的生物合成途徑，進而讓作物的營養成分產生變化，這些作物通常被稱作第二代基改作物。第二代基改作物主要是藉由提高如必需胺基酸、脂肪酸等營養成分，或是降低抗營養因子如植酸等的含量，來提高此種作物當作飼料原料的價值。也因如此，相較於第一代的基改作物，使用第二代基改作物作為飼料原料來配製飼料，在用量相同的情況下，其配製完成的飼料營養價值將高於以近同源系為原料配製而成的飼料，對於經濟動物的生產可能有正面的效益。因此，本篇回顧也會提及第二代基改作物的研究結果，雖這些作物與其近同源系沒有實質等同(substantial equivalent)，但仍可提供作為飼料配製業者與動物飼養者的參考。

Flachowsky等人(2005)認為應用於飼料的基改作物包含：一、全株基改作物或部分植株(新鮮芻料、種子、根、塊莖等)，二、加工基改作物所得到的產品(青貯料、乾草)，三、以基改作物進行農業和食品生產過程中的副產品(如稻草、碾磨副產品、製油副產品、製糖和釀造工業副產品等)，四、來自基改生物或其製造的飼料添加物(例如微生物、胺基酸、維生素、酵素)。要提升動物性蛋白的效率，可從兩個部分著手，第一個部分是提高飼料作物的生產效率，在有限的土地上，盡可能栽種出更多的飼料作物，第二個部分則是提高經濟動物飼料利用率，亦即盡量減少飼料配製、動物消化、生長過程中的浪費；再者也必須從育種的角度著手，持續且不斷的改善糧食作物與經濟動物的生產效率。從提高飼料作物生產效率的角度來看，第一代基改作物與第二代基改作物的育種目標，分別從增加對害蟲的抵抗力、環境的耐受性與增加作物營養成分、降低抗營養物質成分的角度著手。

基因改造作物的營養評估

一、第一代基因改造作物

飼餵動物研究多以第一代基改作物進行，其中以基改玉米和大豆為主，少部分使用棉花、油菜

籽、小麥、水稻、馬鈴薯和甜菜或基改作物的副產品。

(一) 組成：

有部分文獻針對基改作物與其近同源系的營養組成進行分析，結果顯示基改玉米、甜菜、小麥及其近同源系彼此間沒有顯著差異，測定得到的數值差異都在飼料合理的偏差範圍內(Padgett *et al.*, 1996; Obert *et al.*, 2004)。由於各文獻分析的是在不同地理位置和不同日期生長的作物，在這樣的背景下，具有合理的變異是正常的。此外，Dowd(2000)指出，Bt玉米除了受玉米螟影響較輕微的優勢外，也同時對田野間鐮刀菌的感染具有較佳的抵抗力，而感染程度降低，也連帶使得Bt玉米所含的黴菌毒素降低。該作者在經過比對Bt玉米與近同源系受到玉米螟侵襲後黴菌毒素的污染情況後，認為就算是地理位置與時間點有差異，基改玉米受黴菌毒素污染的情況仍比較輕微。

(二) 餵飼試驗：

基改作物起源於1996年，而Hammond等人(1996)發表了第一個以基改作物配製飼料來餵飼家禽的營養試驗，結果發現當白肉雞分別給予基改大豆粕與非基改大豆粕所製成的飼料，兩者在肥育性能與屠體表現沒有顯著差異。Brake與Vlachos(1998)的試驗餵飼白肉雞含60%基改玉米或非基改玉米的飼料也有相似的結果，兩者在飼料採食量與38日齡體重皆未達到顯著差異。Taylor等人(2004)使用25%的基改油菜籽粕來配製白肉雞的飼料，結果顯示與食用飼料含非基改油菜籽粕者，兩者在屠體性狀與體組成無顯著差異。Aulrich等人(2001)的研究給予產蛋雞與白肉雞含50% Bt玉米或非基改玉米的飼料，結果顯示兩者間消化率與配製完全飼料的代謝能無顯著差異。Świątkiewicz等人(2010)使用RR大豆與Bt玉米配製飼料來餵飼白肉雞，結果顯示基改作物對白肉雞的生長、屠體品質無不良影響。Halle與Flachowsky(2014)在飼料中使用40~50%的Bt玉米來餵飼4個世代的產蛋雞，結果顯示在4個世代包含飼料採食量、產蛋性能、蛋品質等檢定項目中，都未觀察到Bt玉米有顯著的不良反應。因此，就過去研究結果整體而言，以基改作物為原料進行飼料配製並用以餵飼家禽，對於家禽的生長、屠體性狀等，應具有與其近同源系相同的營養價值。

二、第二代基因改造作物

與近同源系實質等同的概念不適用於第二代基改作物，因其營養成分含量被刻意改變。大部分第二代基改作物在決定營養強化方向時，是以人類需求為目標。Sinha等人 (2019) 指出，全世界目前還有8億人口處於營養不良狀態，且這8億營養不良人口中，有98%屬於開發中國家。提高營養價值的項目包含鐵、鋅、維生素A (胡蘿蔔素)、B、C、E等，都已有相對應的基改作物誕生 (Malik & Maqbool, 2020)。此外，若以作為畜產動物飼料的角度來思考，希望基改作物可提高營養價值的目標還包括如提升蛋白質 (或限制胺基酸如甲硫胺酸、離胺酸) 含量、必需脂肪酸含量、微量礦物質與維生素的含量，或降低抗營養因子如蛋白酶抑制劑、植酸、凝集素、芥酸、棉酚、單寧、硫甘等含量；但也有文獻指出，藉由減少抗營養因子含量來提高作為飼料原料的營養價值，有時會出現無法事先預料的副作用，例如降低木質素含量也會降低其對害蟲的抵抗力 (Mendoza, 2002)。

以第二代基改作物進行的動物研究結果顯示，在營養成分被強化後，配製飼料來餵飼動物，其表現大多較給予以近同源系配製成飼料者佳。如Humphrey等人 (2001) 以含較多乳鐵蛋白與溶菌酶的水稻作為白肉雞的飼料原料，發現此種水稻顯著改變雞消化道的菌相，並降低了飼料消耗量。另外針對必需胺基酸、脂肪酸、可利用磷、抗營養因子等的第二代基改作物研究結果分述如下：

(一) 必需胺基酸

因為大部分飼料用穀物所含的必需胺基酸含量無法滿足畜禽動物所需，為了達到最佳生產表現，飼料內必須額外補充如甲硫胺酸、離胺酸與色胺酸等必需胺基酸。因此，如果可以利用基改來改進飼料穀物內必需胺基酸的平衡性，就可以降低飼料蛋白質的含量與額外添加必需胺基酸，並進一步降低生產成本以及糞便中氮的排放量。

Lucas等人 (2007) 給予白肉雞含60%高離胺酸基改玉米 (high lysine maize, LY038) (相較於傳統玉米的0.255%，其離胺酸含量為0.360%，且粗蛋白質與部分其他胺基酸含量亦較高) 的飼料，觀察其對白肉雞生長的影響，結果顯示給予LY038玉米的白肉雞，其體增重、飼料效率、屠宰率與胸肉重，皆與給予傳統玉米並額外添加0.1%離胺酸鹽組無差異，且這兩組的表現皆顯著高於無額外添加離胺酸鹽

組。Edwards等人 (2000) 的研究探討傳統大豆粕 (粗蛋白質47.5、52.5%) 與基改提高蛋白質含量大豆品系 (粗蛋白質53.4、62.7%) 的營養成分，結果顯示提高蛋白質含量的大豆品系，其離胺酸與甲硫胺酸含量皆顯著較高。在對盲腸切除公雞進行的研究中，作者發現基改高蛋白質大豆所製作成的大豆粕，含有較多可消化的離胺酸、甲硫胺酸、賴胺酸與色胺酸，且代謝能的含量亦較傳統大豆粕高 (Edwards *et al.*, 2000)。Ravindran等人 (2002) 以提高甲硫胺酸的基改羽扇豆配製飼料來餵飼白肉雞，觀察對其生長的影響。結果顯示高甲硫胺酸羽扇豆組，其白肉雞的飼料效率有較佳的趨勢，作者認為若以飼料含25%羽扇豆來計算，相較於傳統羽扇豆，使用高甲硫胺酸羽扇豆來製作飼料，每公斤飼料可減少0.6 g的甲硫胺酸添加。

綜上所述，藉由使用提高必需胺基酸含量的第二代基改作物來配製飼料，可依照其提高的胺基酸含量，適量減少額外添加的必需胺基酸。因此，若第二代基改作物與其近同源系作物無價差的情況下，將具有明顯的經濟優勢。

(二) 改進磷的利用率

農作物含有大量的磷，但主要是以植酸的形式存在，單胃動物對此種磷的利用率相當差。這種不容易消化的磷，在動物食入後，容易隨其糞便排出而累積在土壤與水中，造成環境污染問題。文獻顯示，穀物中大約60~80%的磷是以植酸的方式存在 (Nelson *et al.*, 1968)，因此為了讓動物有理想的生長表現，通常於動物飼料中添加足夠的非有機磷或植酸酶來提高植酸型態磷的利用率，但也同時提高了飼料成本。為了提高植酸的利用率，植物育種學者嘗試在種子中轉入表現植酸酶基因 (*phy gene*)，發展出來的基改玉米被稱作高可利用磷玉米 (high available phosphorus maize, HAP maize) 或是植酸酶轉入玉米 (phytase transgenic corn, PTC) (Matovu, 2021)。

Gao等人 (2014) 的研究比較PTC玉米及傳統玉米對產蛋雞的影響，結果發現PTC玉米對蛋雞的血液生化值與臟器重量沒有不良的影響，且PTC玉米的磷消化率 (58.03%) 也高於傳統玉米 (47.42%)。Ma等人 (2013) 也比較PTC玉米及傳統玉米對產蛋雞的影響，結果顯示傳統玉米組的蛋黃顏色顯著較PTC玉米所產者深，其他測定的蛋品質與產蛋率則兩者間無顯著差異。Lu等人 (2015) 比較PTC玉米

與傳統玉米對白肉雞腸道菌相的影響，結果顯示兩者在迴腸與盲腸的好氣菌、厭氣菌、大腸桿菌及乳酸桿菌皆無顯著差異。Wang等人 (2013) 比較給予產蛋雞PTC玉米與傳統玉米所配製成的飼料，發現PTC玉米相較於傳統玉米，提高了蛋殼厚度與蛋殼強度，更重要的是顯著降低了糞便中磷的含量。Ceylan等人 (2003) 的研究中，HAP玉米含總磷0.27% 與非植酸磷 (non-phytate phosphorus, NPP) 0.17%，而傳統品系的玉米兩者含量則分別為0.25% 與0.05%。該作者在產蛋雞的研究結果顯示，採食HAP玉米配製成飼料的組別，其糞便中磷的殘留量較餵食傳統玉米組別低，作者總結認為HAP玉米可以在不改變蛋雞產蛋表現的前提下，減少飼料中磷的添加。另一個研究以HAP玉米配製飼料來餵飼57~69週齡的產蛋雞，發現給予飼料含65% HAP玉米且僅額外添加0.04% 非有機磷的產蛋雞隻，其產蛋表現、飼料採食量、飼料效率與脛骨灰分皆與給予傳統玉米並額外添加0.35% 非植酸磷組的雞隻無顯著差異，重要的是其糞便中磷的含量較低 (Snow *et al.*, 2003)。整體而言，在玉米中轉入植酸酶基因可有效提高磷的利用率，並減少排出至環境的磷。

除玉米外，也有低植酸大豆 (low-phytate soybean, LPSB) 的發展應用。文獻資料顯示，LPSB含植酸0.13~0.16%，而傳統大豆含植酸0.34~0.37%；在非植酸磷部分，LPSB含量為0.38~0.39%，而傳統大豆則為0.11~0.28% (Dilger & Adeola, 2006; Powers *et al.*, 2006)。Sands等人 (2003) 研究結果顯示，LPSB所含的磷在白肉雞利用率較傳統大豆粕高12~16%。Dilger與Adeola (2006) 的研究顯示LPSB磷滯留率為77%，而傳統大豆粕則為60%。在鴨隻的研究結果顯示，LPSB所含能量與可消化必需胺基酸含量較傳統大豆粕高 (Adeola, 2005)。依照相關研究結果顯示，降低飼料作物中植酸的含量，將可有效減少額外添加的磷，且亦可減少動物體排出的磷，除降低飼料成本外，亦可減少磷造成地表水體優養化等環境污染的現象。

(三) 降低抗營養因子

因為寡糖不容易被人類、豬、家禽等單胃動物消化吸收，在人類應用上，被當作是對人體有益的成分，因其未能消化的部分會讓腸道的菌落利用，因而改變腸道生態，使人體消化道菌叢生態正常化，並增加有益菌數。然而當應用在畜產動物時，寡糖不易應用的特性，則會降低該飼料原料的

代謝能，舉例來說大豆粕就因為含有豐富的寡糖，因此在單胃動物的代謝能偏低 (Matovu, 2021)。為提升大豆粕的營養價值，有植物育種學者嘗試生產低寡糖大豆粕 (low-oligosaccharide soybean meal, LOSBM)。Parsons等人 (2000) 分析傳統大豆粕和LOSBM在公雞的代謝能值，結果分別測得代謝能為2,739與2,931 (kcal/kg)，而Baker等人 (2011) 將傳統大豆與LOSBM應用於飼養白肉雞上，結果顯示兩者雞隻的生長性狀無顯著差異，但LOSBM的使用量較傳統大豆粕低了5.6%。

(四) 脂肪酸組成

利用遺傳工程的方式來改進榨油用種子脂肪酸的組成，主要並不是為了提升飼料的營養價值，而是為了工業用途。舉例來說，DP-305423-1大豆 (以下簡稱305423大豆) 就是藉由插入*gm-fad2-1*基因片段，來抑制內源FAD2-1的表現，藉此提升大豆內油酸 (C18:1 Δ^9) 並同時降低亞麻油酸 (C18:2 $\Delta^{9,12}$) 與棕櫚酸 (C16:0) 的含量 (McNaughton *et al.*, 2008)。此種調整主要為契合食品應用的需求，因為從305423大豆生產的油脂具較佳的氧化穩定性，可以提供更佳的油炸性能。如果是改進當作人類食品品質的話，改進的目標應該會往降低飽和脂肪酸的方向前進。

McNaughton等人 (2008) 使用白肉雞進行305423大豆粕、外殼與油的安全性與營養價值評估，結果顯示雞隻在餵飼以305423大豆與傳統大豆配製成的飼料後，其體增重、飼料效率、死亡率與臟器狀態皆無顯著差異；顯示305423大豆與非基改大豆營養價值相當。此外Mejia等人 (2010) 亦使用305423大豆與傳統大豆調配飼料並餵飼海蘭蛋雞，結果顯示兩組雞隻在體重、隻日產蛋率、蛋量、飼料採食量與飼料換蛋率的結果相似。Elkin等人 (2016) 以產較高量十八碳四烯酸 (stearidonic acid, SDA) 的大豆油等量取代傳統大豆油餵飼白肉雞，結果顯示兩者在42日齡的體重、體增重、飼料轉換率皆無顯著差異，而SDA組在29~35日齡間的飼料採食量顯著低於傳統大豆油組，另外SDA組的胸肉與腿肉含較高的n-3多元不飽和脂肪酸。此外Rymer等人 (2011) 以SDA大豆粕等量取代傳統大豆粕來餵飼白肉雞，結果顯示兩者間於生長、屠體性狀無顯著差異，而給予SDA大豆粕的白肉雞其胸肉所含多元不飽和脂肪酸顯著高於食用傳統大豆粕者。因調整大豆內脂肪酸組成並不是為了提升其作為飼料的營

養價值，綜合各研究結果可得知，當其應用作為飼料原料時，與使用近同源系所製成的飼料，對家禽的各種測定性狀幾無顯著差異，因此，在配合提升工業用途的同時，基改大豆仍可適當應用於飼料工業上。

基因改造作物的安全性評估

消費者針對基改作物造成的安全疑慮，最容易聯想到的就是轉入的基因片段被人體吸收，但是人類本來每天就會從飲食的蔬菜、肉類中攝取0.1至1g的DNA，因此，攝取DNA這件事情並不造成風險 (Delaney *et al.*, 2018)，主要是因為攝取到體內的DNA，會在消化過程中被分解。在Korwin-Kossakowska等人 (2016) 的研究中追蹤了10個世代，分別給予鵪鶉以基改玉米、基改大豆及非基改原料配製而成的三種飼料，結果發現這10個世代的鵪鶉在健康相關的組織檢測，皆與食用非基改的個體無顯著差異，且體內如心臟、脾臟、肝臟與肌肉的PCR檢測結果，都未檢測出基改DNA片段存在，因此作者結論認為食用基改大豆或玉米所製成的飼料，對鵪鶉的健康無負面效應，且終端消費者食用的產品中並不會存在轉入的DNA片段。另外Levitsky (2016) 引述的內容也表示，針對基改作物引入動物體內的檢測結果，在腸道內的食糜可檢測出基改DNA片段，但是在動物組織內，則尚未有研究檢測出存在基改DNA片段的情形。這樣的結果與Flachowsky等人 (2005) 的描述一致，該作者認為畜產動物在胺基酸和胜肽的消化、吸收與利用的代謝過程中，並不能完全排除攝取到完整基因改造所表現蛋白質的可能性，但動物體內絕大多數的蛋白質是利用胺基酸庫重新合成的。因此，在動物來源的食品中發現作物基因所表現的蛋白質，發生機率應是微乎其微。

就動物本身的健康狀況而言，de Vos與Swanenburg (2018) 檢索了27篇從2006開始至2016探討與畜產動物健康有關的文獻。作者結論認為，目前尚無法證明第一代基改作物對動物健康有負面效應，並指出過去針對動物所做的研究，或多或少都有不足的地方，包含試驗動物使用數量太少、近同源系與基改作物生長條件不同、統計分析沒有清楚描述等等，造成要定義基改作物對動物造成影響的困難。此外，Bertoni與Marsan (2005) 認為，基改

作物應該要比近同源系安全，因為基改作物所含的黴菌毒素、殺蟲劑或除草劑等濃度較低。這種觀點Czerwinski等人 (2015) 也有類似的想法，認為食用基改作物的白肉雞，其血液淋巴球中輔助T細胞與毒殺T細胞的比例較低，就是因為沒有殺蟲劑與除草劑導致白肉雞體內的發炎反應。在Shen等人 (2022) 一篇綜整中統整基改作物對動物 (多為齧齒類動物) 與人類的不良反應中，作者比較了試驗經費來自政府或是來自產業的相關研究，結論認為雖然兩者刊出的不良反應數量無顯著差異，但在動物研究的品質仍有改進空間，且還存在著利益衝突、不適當的試驗設計、資料分析的問題。因此，該作者建議基改作物仍需要更多臨床研究與長期的世代研究 (cohort study) 才能下結論，現階段建議還是以清楚標示產品來源，讓消費者自行決定是否購買為宜。

結論

大部分的基改作物主要當作動物飼料的原料。在理論上，第一代基改作物的營養與近同源系幾乎相同，且目前相關的文獻顯示，當應用為畜產動物的飼料原料上，不管對動物本身或其產品皆尚無安全疑慮。第二代基改作物因營養成分經刻意調整，理論上營養價值高於近同源系，所以針對第二代基改作物的研究應著重在動物本身的健康、產品的安全性並建立於動物飼料的實際應用模式。基因改造作物的安全性仍需要持續長期的監督。

參考文獻

- Adeola, O. 2005. Metabolizable energy and amino acid digestibility of high-oil maize, low-phytate maize and low-phytate soybean meal for white Pekin ducks. *Br. Poult. Sci.*, 46 (5), 607-614. doi: 10.1080/00071660500256123
- Aulrich, K., Böhme, H., Daenicke, R., Halle, I., Flachowsky, G. 2001. Genetically modified feeds in animal nutrition. 1st Com: *Bacillus thuringiensis* (Bt) corn in poultry, pig and ruminant nutrition. *Arch. Anim. Nutr.*, 54 (3), 183-195. doi: 10.1080/17450390109381977
- Baker, K. M., Utterback, P. L., Parsons, C. M., Stein,

- H. H. 2011. Nutritional value of soybean meal produced from conventional, high-protein, or low-oligosaccharide varieties of soybeans and fed to broiler chicks. *Poult. Sci.*, 90 (2), 390-395. doi:10.3382/ps.2010-00978
- Bertoni, G., Marsan, P. A. 2005. Safety risks for animals fed genetic modified (GM) plants. *Vet. Res. Commun.*, 29 (S2), 13-18. doi: 10.1007/s11259-005-0004-6
- Brake, J., Vlachos, D. 1998. Evaluation of transgenic events 176 "Bt" corn in broiler chicken. *Poult. Sci.*, 77 (5), 648-653. doi: 10.1093/ps/77.5.648
- Ceylan, N., Scheideler, S. E., Stilborn, H. L. 2003. High available phosphorus corn and phytase in layer diets. *Poult. Sci.*, 82 (5), 789-795. doi: 10.1093/ps/82.5.789
- Czerwinski, J., Bogacki, M., Jalali, B. M., Konieczka, P., Smulikowska, S. 2015. The use of genetically modified Roundup Ready soybean meal and genetically modified MON 810 maize in broiler chicken diets. Part 1. Effects on performance and blood lymphocyte subpopulations. *J. Anim. Feed Sci.*, 24 (2), 134-143. doi: 10.22358/jafs/65640/2015
- Delaney, B., Goodman, R. E., Ladics, G. S. 2018. Food and feed safety of genetically engineered food crops. *Toxicol. Sci.*, 162 (2), 361-371. doi: 10.1093/toxsci/kfx249
- deVos, C. J., Swanenburg, M. 2018. Health effects of feeding genetically modified (GM) crops to livestock animals: A review. *Food Chem. Toxicol.*, 117, 3-12. doi: 10.1016/j.fct.2017.08.031
- Dilger, R. N., Adeola, O. 2006. Estimation of true phosphorus digestibility and endogenous phosphorus loss in growing chickens fed conventional and low-phytate soybean meals. *Poult. Sci.*, 85 (4), 661-668. doi: 10.1093/ps/85.4.661
- Dowd, P. F. 2000. Indirect reduction of ear molds and associated mycotoxins in *Bacillus thuringiensis* corn under controlled and open field conditions: Utility and limitations. *J. Econ. Entomol.*, 93 (6), 1669-1679. doi: 10.1603/0022-0493-93.6.1669
- Elkin, R. G., Ying, Y., Fan, Y., Harvatin, K. J. 2016. Influence of feeding stearidonic acid (18:4n-3) -enriched soybean oil, as compared to conventional soybean oil, on tissue deposition of very long-chain omega-3 fatty acids in meat-type chickens. *Anim. Feed Sci., Technol.* 217, 1-12. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2016.04.019
- Edwards, H. M., Douglas, M. W., Parsons, C. M., Baker, D. H. 2000. Protein and energy evaluation of soybean meals processed from genetically modified high-protein soybeans. *Poult. Sci.*, 79 (4), 525-527. doi: 10.1093/ps/79.4.525
- Flachowsky, G., Chesson, A., Aulrich, K. 2005. Animal nutrition with feeds from genetically modified plants. *Arch. Anim. Nutr.*, 59 (1), 1-40. doi: 10.1080/17450390512331342368
- Flachowsky, G., Aulrich, K., Böhme, H., Halle, I. 2007. Studies on feeds from genetically modified plants (GMP) - Contributions to nutritional and safety assessment. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 133 (1-2), 2-30. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2006.08.002
- Gao, C., Ma, Q., Zhao, L., Zhang, J., Ji, C. 2014. Effect of dietary phytase transgenic corn on physiological characteristics and the fate of recombinant plant DNA in laying hens. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.*, 27 (1), 77-82. doi: 10.5713/ajas.2013.13265
- Garza, C., Stover, P. 2003. General introduction: The role of science in identifying common ground in the debate on genetic modification of foods. *Trends Food Sci., Technol.* 14 (5-8), 182-190. doi: 10.1016/S0924-2244(03)00062-1
- Halle, I., Flachowsky, G. 2014. A four-generation feeding study with genetically modified (Bt) maize in laying hens. *J. Anim. Feed Sci.*, 23 (1), 58-63. doi: 10.22358/jafs/65717/2014
- Hammond, B. G., Vicini, J. L., Hartnell, G. F., Naylor, M. W., Knight, C. D., Robinson, E. H., *et al.* 1996. The feeding value of soybeans fed to rats, chickens, catfish and dairy cattle is not altered by genetic incorporation of glyphosate tolerance. *J. Nutr.*, 126 (3), 717-727. doi: 10.1093/jn/126.3.717
- Humphrey, B., Huang, N., Klasing, K. 2001. Genetically modified rice containing lactoferrin and lysozyme as an antibiotic substitute in broiler diets. *J. Anim. Sci.*, 79 (Suppl 1), 50.

- Korwin-Kossakowska, A., Sartowska, K., Tomczyk, G., Prusak, B., Sender, G. 2016. Health status and potential uptake of transgenic DNA by Japanese quail fed diets containing genetically modified plant ingredients over 10 generations. *Br. Poult. Sci.*, 57 (3), 415-423. doi: 10.1080/00071668.2016.1162281
- Levitsky, E. L. 2016. Problem of genetically modified foods safety: a toxicologist's view. *Biotechnol. Acta.*, 9 (1), 7-25. doi: 10.15407/biotech9.01.007
- Lu, L., Guo, J., Li, S., Li, A., Zhang, L., Liu, Z., *et al.* 2015. Influence of phytase transgenic corn on the intestinal microflora and the fate of transgenic DNA and protein in digesta and tissues of broilers. *PLoS ONE*, 10 (11), e0143408. doi: 10.1371/journal.pone.0143408
- Lucas, D. M., Taylor, M. L., Hartnell, G. F., Nemeth, M. A., Glenn, K. C., Davis, S. W. 2007. Broiler performance and carcass characteristics when fed diets containing lysine maize (LY038 or LY038 x MON, or commercial 810), control, or conventional reference maize. *Poult. Sci.*, 86 (10), 2152-2161. doi: 10.1093/ps/86.10.2152
- Ma, Q., Gao, C., Zhang, J., Zhao, L., Hao, W., Ji, C. 2013. Detection of transgenic and endogenous plant DNA fragments and proteins in the digesta, blood, tissues, and eggs of laying hens fed with phytase transgenic corn. *PLoS ONE*, 8 (4), e61138. doi: 10.1371/journal.pone.0061138
- Malik, K. A., Maqbool, A. 2020. Transgenic crops for biofortification. *Front. Sustain. Food Syst.*, 4, 571402. doi: 10.3389/fsufs.2020.571402
- Matovu, J. 2021. Does the inclusion of second generation genetically modified plants in feeds have any effect on animal performance? *Turk. J. Agri. Food Sci. Technol.*, 9 (10), 1799-1807. doi: 10.24925/turjaf.v9i10.1799-1807.4104
- McCalla, A. F. 1999. Prospects for food security in the 21st century: with special emphasis on Africa. *Agric. Econom.*, 20 (2), 95-103. doi: 10.1016/S0169-5150(98)00080-2
- McNaughton, J., Roberts, M., Smith, B., Rice, D., Hinds, M., Sanders, C., *et al.* 2008. Comparison of broiler performance when diets containing event DP3O5423-1, nontransgenic near-isoline control, or commercial reference soybean meal, hulls, and oil. *Poult. Sci.*, 87 (12), 2549-2561. doi: 10.3382/ps.2007-00467
- Mejia, L., Jacobs, C. M., Utterback, P. L., Parsons, C. M., Rice, D., Sanders, C., *et al.* 2010. Evaluation of the nutritional equivalency of soybean meal with the genetically modified trait DP-3O5423-1 when fed to laying hens. *Poult. Sci.*, 89 (12), 2634-2639. doi: 10.3382/ps.2010-00938
- Mendoza, C. 2002. Effect of genetically modified low phytic acid plants on mineral absorption. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 37 (7), 759-767. doi: 10.1046/j.1365-2621.2002.00624.x
- Nelson, T. S., Ferrara, L. W., Storer, N. L. 1968. Phytate phosphorus content of feed ingredients derived from plants. *Poult. Sci.*, 47 (4), 1372-1374. doi: 10.3382/ps.0471372
- Obert, J. C., Ridley, W. P., Schneider, R. W., Riordan, S. G., Nemeth, M. A., Trujillo, W. A., *et al.* 2004. The composition of grain and forage from glyphosate tolerant wheat MON 71800 is equivalent to that of conventional wheat (*Triticum aestivum* L.). *J. Agric. Food Chem.*, 52 (5), 1375-1384. doi: 10.1021/jf035218u
- Parsons, C. M., Zhang, Y., Araba, M. 2000. Nutritional evaluation of soybean meals varying in oligosaccharide content. *Poult. Sci.*, 79 (8), 1127-1131. doi: 10.1093/ps/79.8.1127
- Padgett, S. R., Taylor, N. B., Nida, D. L., Bailey, M. R., Macdonald, J., Holden, L. R., *et al.* 1996. The composition of glyphosate-tolerant soybean seed is equivalent to that of conventional soybeans. *J. Nutr.*, 126 (3), 702-716. doi: 10.2527/jas.2005-656
- Powers, W. J., Fritz, E. R., Fehr, W., Angel, R. 2006. Total and water-soluble phosphorus excretion from swine fed low-phytate soybeans. *J. Anim. Sci.*, 84 (7), 907-1915. doi: 10.2527/jas.2005-656
- Ravindran, V., Tabe, L. M., Molvig, L., Higgins, T. J. V., Bryden, W. L. 2002. Nutritional evaluation of transgenic highmethionine lupins (*Lupinus angustifolius* L.) with broiler chickens. *J. Sci. Food*

- Agric., 82 (3), 280-285. doi: 10.1002/jsfa.1030
- Rymer, C., Hartnell, G. F., Givens, D. I. 2011. The effect of feeding modified soyabean oil enriched with C18: 4n-3 to broilers on the deposition of n-3 fatty acids in chicken meat. *Br. J. Nutr.*, 105 (6), 866-878. doi: 10.1017/S0007114510004502
- Sands, J. S., Ragland, D., Wilcox, J. R., Adeola, O. 2003. Relative bioavailability of phosphorus in low-phytate soybean meal for broiler chicks. *Can. J. Anim. Sci.* 83 (1), 95-100. doi: 10.4141/A02-042
- Shen, C., Yin, X. C., Jiao, B. Y., Li, J., Jia, P., Zhang, X. W., *et al.* 2022. Evaluation of adverse effects/events of genetically modified food consumption: a systematic review of animal and human studies. *Environ. Sci. Eur.*, 34, 8. doi: 10.1186/s12302-021-00578-9
- Sinha, P., Davis, J., Saag, L., Wanke, C., Salgame, P., Mesick, J. 2019. Undernutrition and tuberculosis: public health implications. *J. Infect. Dis.*, 219 (9), 1356-1363. doi: 10.1093/infdis/jiy675
- Snow, J. L., Douglas, M. W., Batal, A. B., Persia, M. E., Biggs, P. E., Parsons, C. M. 2003. Efficacy of high available phosphorus corn in laying hen diets. *Poult. Sci.*, 82 (6), 1037-1041. doi: 10.1093/ps/82.6.1037
- Świątkiewicz, S., Świątkiewicz, M., Koreleski, J., Kwiatek, K. 2010. Nutritional efficiency of genetically modified, insert resistant corn (MON810) and glyphosate tolerant soybean meal (Roundup Ready) for broilers. *Bull. Vet. Inst. Pulawy.*, 54 (1), 43-48.
- Swiatkiewicz, S., Arczewska-Włosek, A. 2011. Prospects for the use of genetically modified crops with improved nutritional properties as feed materials in poultry nutrition. *Worlds Poult. Sci. J.*, 67 (4), 631-642. doi: 10.1017/S0043933911000729
- Taylor, M. L., Stanisiewski, E. P., Riordan, S. G., Nemeth, M. A., George, B., Hartnell, G. F. 2004. Comparison of broiler performance when fed diets containing Roundup Ready (event RT73), nontransgenic control, or commercial canola meal. *Poult. Sci.*, 83 (3), 456-461. doi: 10.1093/ps/83.3.456
- Vasil, I. K. 1998. Biotechnology and food security for the 21st century: a real-world perspective. *Nat. Biotechnol.*, 16 (5), 399-400. doi: 10.1038/nbt0598-399
- Wang, S., Tang, C., Zhang, J., Wang, X. Q. 2013. The effect of dietary supplementation with phytase transgenic maize and different concentrations of non-phytate phosphorus on the performance of laying hens. *Br. Poult. Sci.*, 54 (4), 37-41. doi: 10.1080/00071668.2013.796339
- International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA). 2017. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops:2017. ISAAA Brief 53. Retrieved March 16, 2022, from <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/53/default.asp>.
- International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA). 2021. Do you know where biotech crops are grown in the world? Retrieved March 16, 2022, from <https://www.isaaa.org/blog/entry/default.asp?BlogDate=1/27/2021>.
- James, C. 2012. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops:2012. ISAAA Brief 44. Retrieved March 16, 2022, from <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/44/download/isaaa-brief-44-2012.pdf>.
- United Nations. 2019. Growing at a slower pace, world population is expected to reach 9.7 billion in 2050 and could peak at nearly 11 billion around 2100. Retrieved April 6, 2022, from <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2019.html>.
- U. S. Food and drug administration (USFDA). 2020. What GMO Crops are grown and sold in the U.S.?. Retrieved March 14, 2022, from <https://www.fda.gov/media/135274/download>.

The nutrition and safety assessment of poultry feed made from genetically modified crops: A review

Chin-Hui Su^{(1)*}, Chih-Hsiang Cheng⁽¹⁾,
Jung-Hsin Lin⁽¹⁾, Ya-Ling Lin⁽¹⁾, Hsiu-Chou Liu⁽¹⁾

Abstract

Most genetically modified crops (GMC) are used as animal feed materials around the world. As feed ingredients, the main question about genetically modified crops has to do with whether their nutritional value is the same as near-isogenic line crops and safety to animals and humans, as well as the possibility of recombining or importing new protein residue remaining in animal digestive tracts and tissues. Many studies have compared the nutritional value of genetically modified feeds with traditional feeds. Overall, most studies have found no significant difference in the nutritional value of first-generation GMC and near-isogenic line crops. In addition, some research has traced the recombinant DNAs and their translated proteins in animals to assess the safety of GMC, and the results have shown no residues of recombinant DNAs or protein found in organs and tissue samples from those animals fed with genetically modified feeds. In response to different requirements, second-generation GMC include improvements such as increased content of essential amino acids, improved utilization of phosphorus, reduced anti-nutritional factors, and adjusted composition of fatty acids, which affect the nutritional value of crops. Therefore, in addition to comparing the nutritional value of second-generation genetically modified crops with near-isogenic line crops, research of second-generation genetically modified crops should focus on the health of the animals themselves, the safety of the products, and trying to establish a practical application model for animal feed.

Keywords: Feed, Genetically modified crops, Poultry

(1) Ilan Branch, Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan, R. O. C.

*Corresponding author (chsu@mail.tlri.gov.tw)

(Received June 7, 2022; Revised August 15, 2022; Accepted September 22, 2022)