

解 説

わが国における遺伝子組換え飼料の利用と安全性評価

小 迫 孝 実*

畜産草地研究所畜産研究支援センター業務第1科

(平成22年11月18日受理)

Keywords: GMO (Genetically Modified Organism), feed, safety assessment.

1. はじめに

1996年に遺伝子組換え作物の本格的な商業栽培が始まって以来、米国を中心に世界各地で栽培面積が拡大し、現在も先進国が開発途上国を問わず栽培面積が増加している。世界で栽培されている主要な遺伝子組換え作物は、ダイズ、ワタ、ナタネおよびトウモロコシの4種類であり、遺伝子組換え技術によって除草剤耐性、害虫抵抗性あるいは両方の性質を付与した品種である。これらは、従来の品種では多大な労力を要していた除草作業を軽減し、あるいは昆虫による食害を回避することが可能となることから、生産性の向上を期待する農家に受け容れられており、作物によってはすでに従来品種よりも遺伝子組換え品種の方が一般的になったものもある。

日本では、フラボノイド生合成経路を改変して青い色素を発現させた観賞用の青いバラの商業栽培が始まっている。これは「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律」(略称: カルタヘナ法)に基づき鑑賞および栽培を使用目的として第一種使用が承認されたものである。飼料や食品として使用される作物については、現在のところわが国での遺伝子組換え品種の商業栽培の実績はない。

国内での栽培の有無にかかわらず、輸入等によってわが国で遺伝子組換え作物を利用する場合は、事前に安全性を確認しておくことが法律で義務付けられており、食品として用いられるものは「食品衛生法」、飼料として用いられるものは「飼料の安全性及び品質の改善に関する法律」、生物多様性に及ぼす影響についてはカルタヘナ法に基づいて評価および審査を受け、所管する大臣の確認を受けておか

なければならない。遺伝子組換えの食品の安全性評価については小関¹⁾、生物多様性影響評価については田部井²⁾、與語³⁾による詳細な解説がある。

本稿では、飼料として利用される遺伝子組換え作物について、世界的な栽培動向と外国からの輸入飼料に依存しているわが国の畜産における利用の実態を概観するとともに、わが国の遺伝子組換え飼料の安全性を確保するための制度について解説する。

2. 世界の遺伝子組換え作物の栽培状況

国際アグリバイオ事業団 (ISAAA) の報告⁴⁾によると、2009年に世界の遺伝子組換え作物の栽培面積は1億3,400万 ha となり、前年と比較して7% (900万 ha) 増加した。同年に遺伝子組換え作物を栽培した国は25カ国で、このうち先進国は9カ国、開発途上国は16カ国となっている。国別の栽培面積では、米国 (6,400万 ha) が突出して多く、世界の全栽培面積の約48%を占めており、次いでブラジル (2,140万 ha)、アルゼンチン (2,130万 ha)、インド (840万 ha)、カナダ (820万 ha)、中国 (370万 ha)、パラグアイ (220万 ha)、南アフリカ (210万 ha) の順に多くなっている。

遺伝子組換え作物の主要な4種類について栽培面積をみると、ダイズは世界全体の栽培面積9,000万 haの77%にあたる6,920万 haに遺伝子組換え品種が栽培され、同様にトウモロコシは全栽培面積1億5,800万 haの26%にあたる4,170万 haに、ワタは全栽培面積3,300万 haの49%にあたる1,610万 haに、ナタネは全栽培面積3,100万 haの21%にあたる640万 haに遺伝子組換え品種が栽培された (図1)。これらの作物のほかに、テンサイ、パパイヤ、スクワッシュ、アルファルファ、ピーマン等についても遺伝子組換え品種の商業栽培が始まっている。

これらの作物に組み込まれている遺伝子の主な発現形質は、グリホサートやグルホシネート等の除草剤に対する耐

* 〒305-0901 茨城県つくば市池の台2

E-mail: kosako@affrc.go.jp

© Pesticide Science Society of Japan

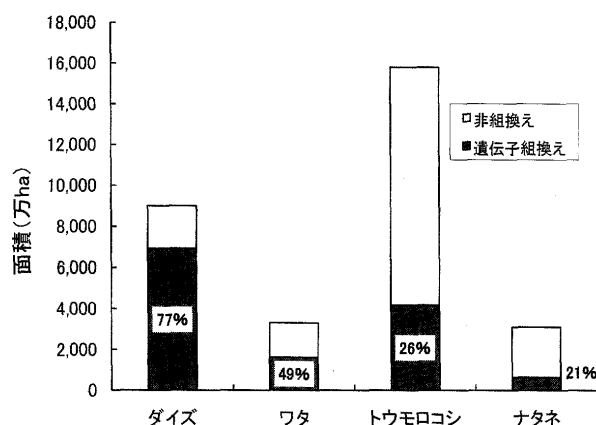


図1 世界の総栽培面積に占める遺伝子組換え作物の割合 (2009年)

出典: C. James (2009)

性, Bt タンパク質発現によるアワノメイガやコーンルーツワーム等の特定の作物害虫に対する抵抗性である。また, トウモロコシやワタでは, 除草剤耐性と害虫抵抗性の遺伝子組換え作物を掛け合わせるなどして複数の形質をもたせた「スタック」と呼ばれる品種が栽培されている。形質別の栽培割合では, 除草剤耐性が遺伝子組換え作物全体の62%を占めて最も多く, 除草剤耐性と害虫抵抗性のスタックが21%と近年増加しており重要性を増してきている。遺伝子組換え作物の栽培面積が最も多いダイズはほとんどが除草剤耐性を付与したものであり, 当該除草剤散布による雑草防除と組み合わせた栽培体系を組むことによって従来の除草作業の多労性を解消している。世界で栽培されるダ

イズの4分の3以上が除草剤耐性の遺伝子組換え品種に置き換わっている状況をもても, 生産効率向上へのインパクトの大きさが伺える。

遺伝子組換え作物の最大の栽培国である米国では, 後述するようにわが国で家畜生産に使用される濃厚飼料の主原料であるトウモロコシ穀粒のほとんどを生産しており, わが国における家畜用飼料の安全性確保を考えるうえで, 米国における遺伝子組換え作物の栽培動向を把握しておくことは重要である。米国農務省農業統計サービス(NASS/USDA)は, 毎年6月末に米国内の各種作物の作付け状況を公表しており, 2000年からはダイズ, トウモロコシおよびワタの3作物について遺伝子組換え品種の作付け面積の調査結果を報告している⁵⁾。米国の遺伝子組換え品種の作付け面積は年々拡大を続け, 2010年の遺伝子組換え品種の作付け割合は, ダイズ93%, トウモロコシ86%およびワタ93%となっており, いずれの作物も大半が従来品種から組換え品種に切り替わっている(表1)。

2010年に米国で作付けされたトウモロコシの品種は, 遺伝子組換えによる除草剤耐性のものが23%, 害虫抵抗性が16%, 除草剤耐性と害虫抵抗性のスタックが47%で, 残りの14%が遺伝子組換えでないものとなっている。収穫後の流通は, 特殊な用途の品種やnon-GMOとして販売されるものは分別流通管理されるが, それ以外は従来の品種と遺伝子組換え品種とで区別されていない。コーンベルト地帯を中心とする各地の穀物生産農家で収穫・貯蔵されたトウモロコシは, 各農家から出荷後にカントリーエレベーター, リバーエレベーター, パージ(はしけ), エクスポートエレ

表1 米国における遺伝子組換え作物の作付面積割合の推移 (%)

作物	導入形質	年										
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
トウモロコシ	害虫抵抗性	18	18	22	25	27	26	25	21	17	17	16
	除草剤耐性	6	7	9	11	14	17	21	24	23	22	23
	スタック（害虫抵抗性+ 除草剤耐性）	1	1	2	4	6	9	15	28	40	46	47
	合計	25	26	34	40	47	52	61	73	80	85	86
ワタ	害虫抵抗性	15	13	13	14	16	18	18	17	18	17	15
	除草剤耐性	26	32	36	32	30	27	26	28	23	23	20
	スタック（害虫抵抗性+ 除草剤耐性）	20	24	22	27	30	34	39	42	45	48	58
	合計	61	69	71	73	76	79	83	87	86	88	93
ダイズ	除草剤耐性	54	68	75	81	85	87	89	91	92	91	93

出典: NASS/USDA Acreage (2000~2010)

ベータ等の全部または一部の流通段階を経て輸出あるいは国内利用に回される。この過程で各地から大量の穀物が集積し、穀粒の積み卸しが繰り返され、エレベーターでは水分や品質調整のためにブレンドが繰り返され、最終的に品質が均等になったトウモロコシが出荷される。したがって、米国産トウモロコシの穀粒に含まれる遺伝子組換え品種の割合は、作付け調査時と出荷時とで1~2年程度のタイムラグはあるものの、米国農務省が発表したここ数年間の遺伝子組換え作物の作付け割合を反映したものとなっていると考えられる。

3. 日本における遺伝子組換え作物の飼料利用の状況

日本国内での家畜生産に必要な飼料原料は、その多くを遺伝子組換え作物の栽培を行っている国から輸入している。現在、世界各国で栽培されている遺伝子組換え作物の品種は、農業生産性を高めるために作物自体に除草剤耐性や害虫抵抗性といった形質を付与したものが中心となっており、わが国で飼料原料として流通しているトウモロコシ穀実やダイズ油かすについてみれば従来品種由来のものとは比べて見た目や飼料成分に変わりがないものである。また、飼料として用いられる遺伝子組換え作物は、事前に安全性が確認されたもののみが流通するように法的な仕組みが整備されており、日常的な飼料の取扱いにおいても従来の非遺伝子組換え作物由来のものと区別されていないことから、国内で遺伝子組換え作物を利用していることについて飼料業者や畜産農家等の意識にのぼる場面はほとんどないと思われる。

わが国のここ数年の濃厚飼料の生産量は、全ての家畜用の配合・混合飼料を合計して年間約2,400万トンが生産されており、それらの原料の由来を考慮したTDNベース純国内産濃厚飼料自給率は9~11%で推移している⁶⁾。すなわち、わが国で家畜に給与される濃厚飼料の約90%は海外からの輸入に依存している状況である。

配合・混合飼料に使用されている原料の重量割合(2008年度)は、トウモロコシが全体の49%を占め、次にダイズ油かす13%、こうりゃん(マイロ)5%、菜種油かす4%、ふすま4%と続いている⁶⁾(図2)。配合飼料は、家畜の種類や生育ステージ、飼養目的にあわせて必要な栄養素を含むように原料を配合するため、対象動物によって配合割合は異なるが、トウモロコシは牛、豚、鶏のいずれの家畜用飼料にも主原料として40~56%が使われている。また、ダイズ油かすは、主要な植物性タンパク源として、肉用牛用には6%、その他の畜種用には11~21%が使われている。

飼料として使用量の多いトウモロコシとダイズは、前節で述べたように世界で遺伝子組換え品種の商業栽培が広く普及している作物である。これらの輸入状況をみると、輸入相手となる国は作況や相場などの影響を受けて年ごとに

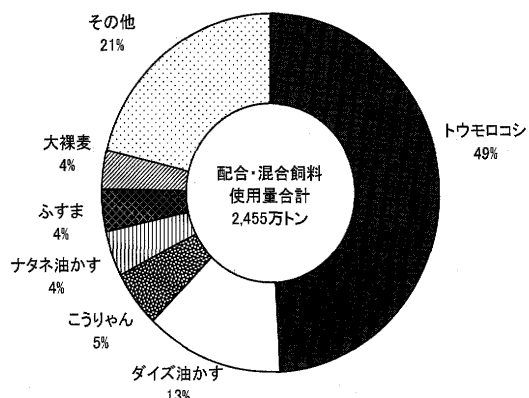


図2 配合・混合飼料原料の使用割合(平成20年度)
出典:農林水産省「飼料月報」(平成20年度4月~3月)

多少の変化はあるものの、飼料用トウモロコシについては大半を米国から輸入しており、2008年度は全輸入量の98%を米国から、残りをアルゼンチン等から輸入している⁶⁾。また、ダイズ油かすについては、搾油後の残渣を飼料に利用するもので、飼料原料として使用される量の約半分が国内産であり、残りをインド、米国、中国、アルゼンチン等から輸入している(2008年)⁷⁾。ただし、ダイズ油かすの産地は、製油所の所在地を示しており、原料となるダイズの生産国を示しているわけではない。国内産のものについても原料となる油糧用のダイズは全量が輸入されている⁸⁾ことから、飼料として使われるダイズはすべて外国で栽培されたものである。ダイズ生産量の国別シェア(2008年)は、米国が35%、ブラジル26%、アルゼンチン20%、中国7%となっており⁹⁾、世界のダイズ生産の8割を占める上位3ヵ国は遺伝子組換えダイズの方が非遺伝子組換えよりも一般的となっている国である。

以上のような状況から、わが国で飼料として使われているトウモロコシ穀実、ダイズ油かすに含まれる遺伝子組換え作物の割合や品種の内訳は、外国での栽培状況を反映したものとなっていると考えられる。すなわち、飼料用トウモロコシの穀実については、米国における遺伝子組換え品種の作付け面積割合と同じような比率で、除草剤耐性、害虫抵抗性および両方のスタック品種由来のものが含まれると推察される。ダイズ油かすについては、世界のダイズ栽培の状況から、ほぼ8割は除草剤耐性の遺伝子組換え品種に由来するものと推察される。このように、わが国で家畜に給与される飼料の多くが、飼料原料となる作物の生産国に導入されて普及した遺伝子組換え作物に置き換わっており、わが国で飼育される家畜や生産される畜産物の安全性確保のためには、外国で栽培される遺伝子組換え作物であっても飼料として流通する前に安全性が確認されていることが重要である。

4. 遺伝子組換え飼料の安全性確保

遺伝子組換え作物は、比較的新しい技術であると同時に遺伝子操作により新たに生物機能を付与する技術を応用して作られたものであり、食品や飼料として利用するにあたっては、それを摂取することによる人や家畜の健康あるいは畜産物への悪影響を予防・抑制することを目的として、リスク分析（リスク評価、リスク管理、リスクコミュニケーション）を行うことが重要となる。リスク評価は、リスクを科学的かつ客観的な見地から専門家が評価する過程であり、その結果は行政によるリスク管理や、生産者や消費者らとのリスクコミュニケーションの基礎となる。

経済協力開発機構（OECD）は、産業利用における遺伝子組換え体のリスク評価の方法について本格的な商業栽培が開始される前に検討を開始し、1993年に遺伝子組換え体の食品安全性を判断するための考え方として「実質的同等性」を打ち出した。これは、これまでに利用経験の豊富な既存の生物については、その生物が含有している栄養成分や有害物質、安全な利用方法に関する知見が十分に蓄積されていることから、新形質を導入した生物の安全性は、既存のものと比較することによって評価できるという考え方である。このことは実質的に同等と見なせれば安全であるということではなく、既存生物と同等と見なせるものについては、この考えに基づいて評価の土俵にあげることが可能となる。同等と見なし得るかどうかは、飼料の場合は、①遺伝的素材、②広範囲な家畜への安全な食経験、③飼料の構成成分、④使用方法の違いから組換え体ごとに個別に判断される。

OECDの考え方を受けて、1996年に当時の厚生省および農林水産省はそれぞれ食品および飼料の安全性評価指針を制定し、わが国で流通するものは指針に基づいて大臣の安全性評価を受けるよう行政指導を行った。しかしながら、その後の遺伝子組換え作物の開発の激化や世界的な利用拡大の状況から、より確実に強制力のある規制とするため、食品は2001年より「食品衛生法」、飼料は2003年より「飼料の安全性の確保及び品質の改善に関する法律」（飼料安全法）に基づいて、安全性に関する確認が義務付けられている。

飼料安全法では、「飼料及び飼料添加物の成分規格等に関する省令」に定める規格および基準に合わない飼料を販売、製造、輸入、使用することを禁止している。この省令の中で、遺伝子組換え飼料はその安全性について農林水産大臣の確認を受けたものでなければならないことが規定されており、遺伝子組換え飼料の家畜に対する安全性の審査は、飼料安全法に基づき農林水産省農業資材審議会が行っている。これに加えて、2003年7月に施行された「食品安全基本法」では、飼料安全法に基づいて飼料の規格および

基準を設定しようとするときは、農林水産大臣は内閣府食品安全衛生委員会の意見を聴かなければならない旨が規定されており、当該遺伝子組換え飼料を食べた家畜に由来する肉、乳、卵等の畜産物を人が食べても安全か否かについて、食品安全委員会が審査を行っている。

遺伝子組換え作物を飼料として用いるためには、国内に輸入、流通等する前に品種ごとに農林水産大臣の安全性確認を受けておく必要があり、その手続きは「飼料及び飼料添加物の成分規格等に関する省令の規定に基づき組換えDNA技術応用飼料及び飼料添加物の安全性に関する確認の手続を定める件（平成14年11月26日農林水産省告示第1780号）」に定められている。確認の申請は、告示に定められた申請書および資料を添付して農林水産省消費・安全局の担当窓口へ提出することとなっている。申請資料は安全性審査に用いられるもので、開発者でなければ得られないデータも求められるため、通常その組換え体の開発企業あるいはその日本代理店が申請を行っている。申請が受け付けられると、農林水産大臣が農業資材審議会と食品安全委員会に安全性評価を依頼し、家畜および畜産物への影響とその畜産物を食べた人の影響の両面から審査が行われる。

農業資材審議会における審査は、「飼料及び飼料添加物の成分規格等に関する省令の一部を改正する省令等の施行について（平成15年4月1日14生畜第8598号農林水産省生産局長・水産庁長官通知）」に示された「組換えDNA技術応用飼料及び飼料添加物の安全性審査基準」に沿って行われる。この基準は、OECDの安全性判断に関する考え方や、この考え方を引き継いで食品の評価ガイドライン^{10,11)}を設定したコーデックス委員会バイオテクノロジー応用食品部会（2000～2003年）などでの議論をもとに、家畜飼料としての利用を考慮して作成されたものである。審議会は、科学的知見に基づいて申請者の提出資料の審査を行い、当該遺伝子組換え作物の飼料としての安全性が遺伝子組換え作物でない既存の作物と同程度であると判断された場合は、農林水産省に対して安全性に関する確認を行って差し支えない旨を答申する。

食品安全委員会における審査は、「遺伝子組換え飼料及び飼料添加物の安全性評価の考え方（平成16年5月6日食品安全委員会決定）」に基づいて、遺伝子組換え食品等専門調査会において行われる。基本的に遺伝子組換え食品と同様の考え方で、既に安全性が確認された遺伝子組換え飼料を比較の対照として、新たに付け加わる可能性のあるリスクが評価される。具体的には、①遺伝子組換え飼料由来の新たな有害物質が生成され、これが肉、乳、卵等の畜産物中に移行する可能性、②遺伝子組換え飼料に由来する成分が畜産物中で有害物質に変換・蓄積される可能性、③遺伝子組換え飼料に起因する成分が家畜の代謝系に作用し、新たな有害物質を産生する可能性があるかどうかについて

評価が行われる。通常、食品と飼料の両方で使われる可能性がある遺伝子組換え作物は、それぞれの安全性確認申請が厚生労働省と農林水産省へ同時に提出され、ひとつの遺伝子組換え作物について、前者からは遺伝子組換え食品としての安全性、後者からは遺伝子組換え飼料に由来する畜産物の安全性が食品安全委員会に諮問されることとなる。食品安全委員会では、先に食品としての安全性について詳細な評価を行い、食品の審議が終了後、遺伝子組換え飼料に由来する畜産物について上記①～③の可能性について審議される。ここで当該飼料を家畜が摂取することに係る畜産物の安全性上の問題はないものと判断されると、農林水産省にその旨が答申される。

農林水産大臣は、農業資材審議会および食品安全委員会からの答申を受け、当該遺伝子組換え品種の安全性に関する確認を行う。安全性が確認された品種は、官報に掲載して公表されることになっている。このような仕組みに基づいて、これまでに6作物（ナタネ、トウモロコシ、ダイズ、ワタ、テンサイ、アルファルファ）57品種の遺伝子組換え飼料が承認されている（2010年6月1日）。なお、遺伝子組換え飼料に関する法令や通知、安全性確認手続きの流れ図、安全性確認済みの品種のリスト等は、独立行政法人農林水産消費安全技術センター（FAMIC）のホームページ（<http://www.famic.go.jp/ffis/feed/index.html>）で見ることができる。

5. おわりに

家畜用飼料として使われる作物の部位は、トウモロコシ穀実のように人の食品と共通するもののほかに、トウモロコシ莖葉のように食品には使用されない部位やダイズ油かすのように食品等製造の副産物の利用も行われる。また、牧草のように飼料としてのみ利用される作物や工芸作物の一部や残渣が飼料利用されるものもある。遺伝子組換え飼料の安全性評価は、宿主の情報や導入遺伝子の分子特性等に遺伝子組換え食品と共通した項目も多くあるが、このような幅広い作物の利用に対応した評価に重点が置かれていることが特徴的であるといえる。

遺伝子組換え作物の実用化に向けた研究開発は、ダイズやトウモロコシ等のほかに、人の主食となるコムギやコメ、飼料作物のイネ科牧草やホワイトクローバー等の主要な作物を含むさまざまな作物で取り組まれている。また、除草剤耐性や害虫抵抗性の形質だけではなく、乾燥耐性、暑熱耐性、栄養強化等これまでに商業栽培されていない新しいタイプの遺伝子組換え作物の研究開発が進んでいる。わが国では、農林水産省が2008年1月に発表した「遺伝子組換え農作物等の研究開発の進め方に関する検討会」の最終取

りまとめの中で、オールジャパンを意識した研究開発の重点化の方向が示されており、実用化の先発例として、食料自給率向上の観点から飼料用の複合病害抵抗・多収イネの実用品種をはじめ、不良環境耐性農作物、機能性成分を高めた農作物、環境修復植物の開発が例示されている。

すでに世界各地で栽培実績のある除草剤耐性や害虫抵抗性の遺伝子組換え作物に加えて、今後はこれらの新しい遺伝子組換え作物が順次実用段階に入ってくることが想定され、フードチェーンの入口にあたる飼料の安全確保はますます重要性を増すものと考えられる。また、医薬品や工業用原料を大量生産する遺伝子組換え作物や有害物質吸収蓄積能力を高めた環境修復植物等の研究開発も進められており、飼料用途以外の目的で開発された遺伝子組換え作物の実用化にあたっては、植物体の一部や全部、目的の成分を抽出した後の残渣等について、飼料としての安全性が確認されていないものが飼料に混入し、家畜に給与されることのないように確実な管理が求められる。

引用文献

- 1) 小関良宏：農薬誌 35, 383-388 (2010).
- 2) 田部井 豊：農薬誌 35, 145-150 (2010).
- 3) 奥語靖洋：農薬誌 35, 377-382 (2010).
- 4) C. James: "ISAAA Brief 41 Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2009," International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications, Manila, 2009.
- 5) <http://usda.mannlib.cornell.edu/MannUsda/viewDocumentInfo.do?documentID=1000/2010年7月9日閲覧>.
- 6) http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/1_siryo/index.html/2010年10月20日閲覧.
- 7) <http://lin.alic.go.jp/alic/statis/dome/data2/nstatis.htm/2010年10月20日閲覧>.
- 8) 飼料輸出入協議会：飼料原料ガイドブッケー副原料編，飼料輸出入協議会，東京，pp. 43-108, 1997.
- 9) http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/daizu/d_data/index.html/2010年10月29日閲覧.
- 10) Codex Alimentarius Commission: "Principles for the risk analysis of foods derived from modern biotechnology," CAC/GL 44-2003, 2003.
- 11) Codex Alimentarius Commission: "Guideline for the conduct of food safety assessment of foods derived from recombinant-DNA plants," CAC/GL 45-2003, 2003.

略歴

小迫孝実（こさこ たかみ）

最終学歴：広島大学生物生産学部生物生産学科卒業，博士（農学）（広島大学）

研究テーマ：放牧牛の行動管理技術の開発

趣味：散策