

非GM家畜・家禽用飼料が米国飼料産業に与える影響



Institute for Feed Education & Research

背景

近年、食品産業では遺伝子組換え（GM）原料を含まない製品が増えている。このようなGMフリーの牛乳、肉、卵を生産するには、その食品の元となる家畜に非GM飼料のみを与える必要がある。増加する生産ニーズを満たすためにGMフリーの飼料市場を拡大する必要がある場合、米国の飼料業界が、非GM飼料生産にあたっての経済的・環境的影響を理解することが重要である。

飼料教育研究機関（IFEEDER）は、GMフリー飼料の生産量増加が、農場や穀物エレベーター、飼料工場に及ぼす影響を把握しようと試みた。アイオワ州立大学とディシジョン・イノベーション・ソリューションズが作成し、先ごろ完了した研究「非GM家畜・家禽用飼料が米国飼料産業に与える影響」の要約を以下に詳述する。

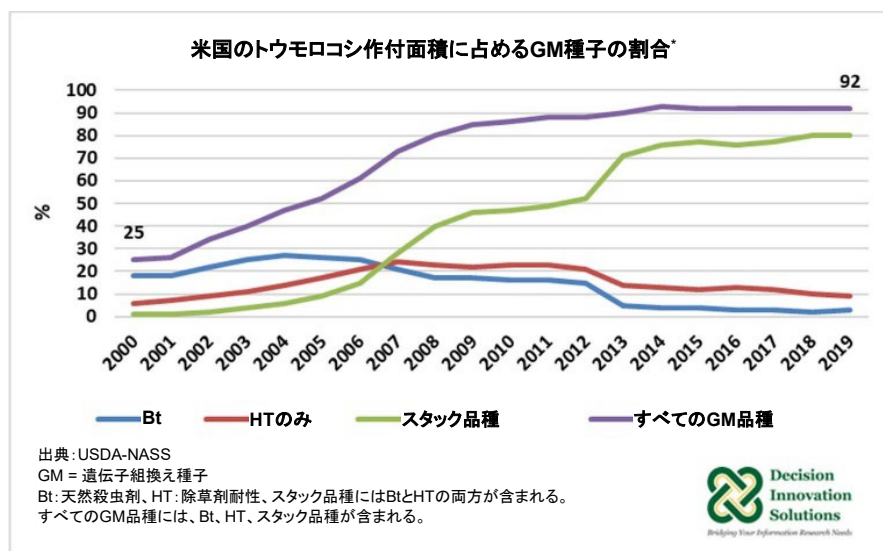
GMと非GMのトウモロコシ及びダイズの生産

GM種子は、米国のトウモロコシやダイズ農家に広く採用されている。2007年に栽培された米国のトウモロコシの約24%が除草剤耐性（HT）の種子であった。HT種子の割合は2019年までに9%に減少したが、HTと害虫抵抗性（Bt）の両方の形質を有する（スタック形質）のトウモロコシハイブリッドの普及率は現在80%に達している。

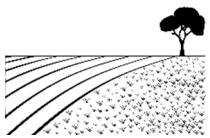
全体として、2019年には米国のトウモロコシ栽培面積の92%でGM種子が作付けされた（Btのみ、HTのみ、スタックを含む）。ダイズの場合、米国のダイズ作付面積に占めるHT種子の割合は、2000年の54%から2019年には94%に増加した。

同研究内で引用されたメタ解析では、GMトウモロコシの収量が、準同質遺伝子系統（遺伝的に類似した種子）と比較して5.6%から24.5%増加するという強力な裏付けが確認された。GMダイズでは、収量増加は3%であった。

コストの面では、GM種子は非GM種子よりも高価であるが、GMトウモロコシ生産にかかる除草剤コストは、生産地域や使用する薬剤によって、非GM除草剤コストよりも高くなることもあれば、低くなることもある。ダイズの場合、GM種子の価格は一般的に非GM種子よりも高価であるが、除草剤コストは通常、非GMダイズ生産のコストよりも大幅に低い。ほとんどの場合、高いGM種子のコストは除草剤、殺虫剤、圃場作業のコストが、非GM生産と比較して低いことによって相殺される。また、GM技術により高い収量が得られる限り、GM技術の方が非GM技術よりも1ブッシェル当たりの総生産コストが大幅に低くなる可能性がある。農家がGMから非GM栽培への転換を検討するためには、非GM穀物に相当なプレミアムを上乗せして生産コストの差を相殺する必要がある。



土地の節約



2007年から2016年までの期間について、米国の主要な農作物生産州における土地利用を調査したところ、草地よりも農作物生産の方が純営業収益が高いことが要因となり、草地から農作物生産地へ転換されていることが明らかになった。また、同じ時期にGM作物技術が普及した。有機作物を栽培することで純収益が増加する可能性は、非GMTウモロコシと非GMダイズの作付面積の減少を鈍化させはしたものの、止めるには至らなかった。調査期間中、非GMTウモロコシの作付面積が減少した一方、非GMダイズの作付面積は比較的堅調に推移していた。

非GM種子からの転換は、土地の保全につながる。例えば、GM種子形質の使用により、680万エーカーから1,590万エーカーの土地が保全され、草地から農作物生産地への転換がGM種子形質を使用しなかったときと比べて35%から65%削減することができた。

具体的には、研究者らは中西部13州における草地の転換を調査して、土地の保全について評価した。GM種子形質の使用増加に伴い、2007～2016年には合計で約1400万エーカーが、草地からトウモロコシ畑（750万エーカー）及びダイズ畑（690万エーカー）に転換された。これは、GMTウモロコシの普及率が73%から92%に上昇したことによる。非GMTウモロコシに対するGMTウモロコシの収量優位性を非常に保守的な5%とした場合、草地の転換は54%増の1160万エーカーが必要になる。さらに現実的な15%の優位性とした場合、ほぼ2倍の1370万エーカーになると考えられる。同様に、ダイズのGM種子形質による3%の優位性を打ち消すには、草地からの転換を910万エーカーに増やす必要がある。

燃料使用量とCO₂排出量の関係



環境に関する文献では、HT GM作物によって可能になる低耕起・不耕起農業が温室効果ガス（GHG）排出量の削減に貢献し、その他の環境上の利益をもたらす可能性があると指摘している。研究によると、GM HT作物の導入により、農家は雑草管理のために耕起に依存することが減り、耕起作業を減らすことで、燃料費、設備費、人件費を削減できる。研究者らは、農場での燃料削減が環境への二酸化炭素（CO₂）排出量削減に与える影響を評価した。

ネブラスカ大学リンカーン校が発表した2020年のトウモロコシ生産予算を用いて、圃場作業中に燃焼したディーゼル燃料から排出されるCO₂（トン/エーカー）を推定した。以下の表に、検討した4つの異なる生産システム（GMを用いた不耕起農法（GM-NT）、GMを用いた従来の耕起農法（GM-CT）、非GMを用いた不耕起農法（非GM-NT）、非GMを用いた従来の耕起農法（非GM-CT））を示した。1エーカー当たりの燃料費は、非GM-CTの10.05ドルからGM-NTの5.75ドルの範囲であった。燃料コストは、CTの方がNTよりも高かった。総体的にみて、1エーカー当たりの燃料費が最も低いのはGM-NTである。

圃場作業での燃料燃焼によるGHG排出量			
生産システム	燃料費 (ドル/エーカー)	燃料使用量 (ガロン/エーカー)	CO ₂ 排出量 (トン/エーカー)
GM-NT	5.75ドル	2.53	0.0258
GM-CT	9.84ドル	4.33	0.0441
非GM-NT	5.85ドル	2.58	0.0262
非GM-CT	10.05ドル	4.43	0.0451

CTシステムではNTシステムよりも多くのディーゼル燃料を使用するため、NTシステムよりも多くのCO₂が排出される。1エーカー当たりでは、GM-NTシステムが圃場作業でディーゼル燃料を燃焼させる際のCO₂排出量が最も少ない（0.0258 MT/エーカー）。

ディーゼル燃料の燃焼に注目して、非GMTウモロコシ生産の増加が国内のGHG排出量に及ぼす潜在的影響を評価した。この算出にあたっては、国内のトウモロコシ作付総面積、並びに既存のNT及びCTトウモロコシ生産の現在の比率を用いている。

ネブラスカ大学リンカーン校による2020年の作物生産予算に基づく：

GMTウモロコシは0.0086トン/エーカーのCO₂を排出し、非GMよりも低い。

これは非GM作物よりも、1エーカー当たり21.3%少ないCO₂排出量である。

NTトウモロコシは1エーカー当たり0.0185トンのCO₂を排出し、CTトウモロコシよりも少ない。

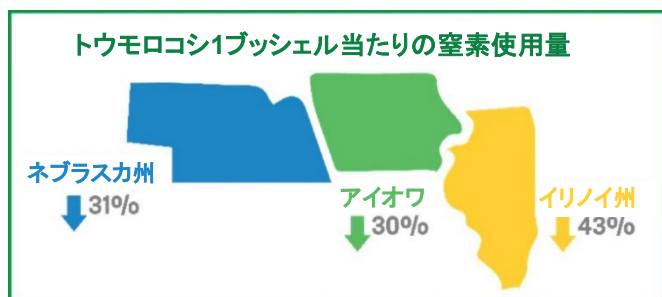
これはCT作物よりも、1エーカー当たり41.7%少ないCO₂排出量である。

非GMTウモロコシの作付面積が5%増加すると、温室効果ガス排出量は年間7%（196,151トン）のCO₂増加につながる。

窒素の排出



窒素(N)が施肥されたトウモロコシの作付面積の割合は、1995年(97%)から2018年(98%)まで安定している。ただし、GM種子使用の増加やその他の技術によって、窒素効率も改善している。トウモロコシ栽培の主要12州全体では、1995年のトウモロコシ1ブッシェル当たり1.2ポンドから2018年には0.90ポンドへと、1ブッシェル当たりの平均N使用量が26%減少した。上位3州である、アイオワ州、イリノイ州、ネブラスカ州では、この期間のN使用量はさらに減少している。アイオワ州とイリノイ州では、1ブッシェル当たりのN使用量がそれぞれ30%、43%低下し、ネブラスカ州では31%低下した。N利用効率の向上したGM作物は、硝酸塩の流出を減少させるとともに収量の増加にも貢献できる。平均すると、対象となった州では、トウモロコシ収量は1995年の1エーカー当たり109ブッシェルから2018年には172ブッシェルに増加した。



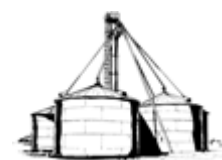
作物生産システムにおける窒素排出の主な経路は、施肥時の揮散、土壌層を通じた溶脱、脱窒による放出の3つである。研究者らは、生産されたすべてのトウモロコシが非GM種子由来であり、収量が5%減少した場合のN排出の考慮事項を評価した。

文献調査により、アイオワ州のトウモロコシとダイズの輪作における3種類の施肥量での揮散による排出を特定した。1エーカー当たり123ポンドのNが施肥された場合、2.4ポンドのNが、1エーカー当たり135ポンドのNが施肥された場合、2.6ポンドのNが、1エーカー当たり147ポンドのNが施肥された場合、2.8ポンドのNがそれぞれ揮散する。収量が5%少ない非GMトウモロコシを作付けする農家は、トウモロコシ1エーカー当たり約5%少ないNを施肥すると想定すると、GMトウモロコシで予想されるよりも、Nの揮散は1エーカー当たり約2.1%少ないと予想される。しかし、GMトウモロコシと同程度の非GMトウモロコシを生産するために4.9%多くの作付面積を要する場合、非GMトウモロコシの生産全体での総N揮散量はGMトウモロコシの生産よりも2.7%高くなると予想される。

同様に、文献によると、1エーカー当たり123ポンドのN施肥量では1エーカー当たり20ポンドのNが、135ポンドのN施肥量では1エーカー当たり21ポンドのNが、147ポンドのN施肥量では1エーカー当たり28ポンドのNが溶脱により排出されることが報告されている。繰り返しになるが、収量が5%少ない非GMトウモロコシを作付けする農家が、1エーカー当たり約5%少ないNを施肥するという想定では、GMトウモロコシよりも、1エーカー当たり約0.56%少ないNの溶脱が予想される。しかし、GMトウモロコシと同程度の非GMトウモロコシを生産するために4.9%多くの作付面積を要する場合、非GMトウモロコシの生産全体での総N揮散量はGMトウモロコシの生産よりも4.3%高くなると予想される。

最後に、研究者らは文献を参考に、アイオワ州のトウモロコシとダイズの輪作におけるトウモロコシ相での脱窒による排出を、Nの施肥量が1エーカー当たり123ポンドの場合、1エーカー当たり年間5.9ポンド、135ポンドの場合、1エーカー当たり年間6.5ポンド、147ポンドの場合、1エーカー当たり年間7.1ポンドと指摘している。農家が、GMトウモロコシに比べて収量が5%少ない非GMトウモロコシを作付けする場合、1エーカー当たり約5%少ないNを施肥すると仮定すると、脱窒によるN排出はGMトウモロコシよりも1エーカー当たり約5.2%少ないと予想される。しかし、GMトウモロコシと同程度の非GMトウモロコシを生産するために4.9%多くの作付面積を要する場合、非GMトウモロコシの生産全体での脱窒による総N排出量は、GMトウモロコシの生産よりも0.55%しか少なくならないと予想される。

穀物の取扱い: 農場、エレベーター、飼料工場



この研究では、非GM穀物の増産に対応するため、穀物の取り扱いにおいてかなり大規模なシステム変更が必要であることが判明した。2つの異なる製品フローを扱うことは、米国で発展してきた大量生産の穀物システムから逸脱するからである。今回の研究では、農家、穀物エレベーター、飼料工場にかかるこれらのコストを様々な飼料サプライチェーンシナリオに基づいてモデル化した。

農家への影響

この研究では、非GM飼料生産サプライチェーンに携わるすべての関係者が、GMと非GM原料の分別と隔離に関連する追加コストを負担することになることが判明した。分別コストが最も少ないのは農場であった。隔離範囲を最大に考慮しても農場での分別コストは1ブッシェル当たり0.05ドル未満である。農場での隔離作業にかかるコストは、非GM穀物を生産するかしないかを決定する主要な要因とはならないと考えられる。農家は今後も、生産性と最終的な価格設定を意思決定の重要な部分として折り合いを付けることが予想される。

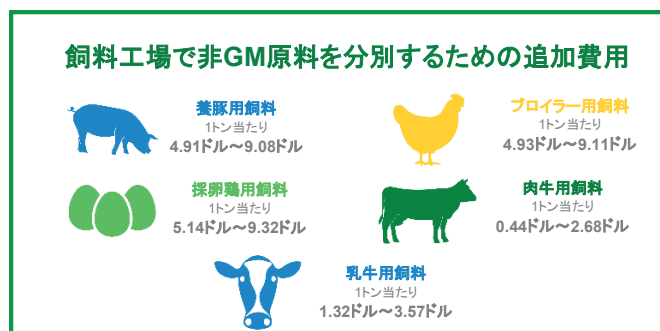
穀物エレベーターへの影響

穀物エレベーターは仲介業者として、非GM穀物をプレミアム価格で買い取るだけでなく、より高い価格で販売もしている。したがって、非GM穀類を扱うかどうかを穀物エレベーターが決定するためには、分別及び隔離コストに関する明確さと透明性が不可欠である。飼料工場への販売日に応じて、穀物エレベーターはその穀物に適した価値を交渉することができるが、常に市場価格に左右される。エレベーターは、非GMダイズの取り扱いと分別作業に、通常のダイズと比較して1ブッシェル当たり0.05ドルから0.07ドル、非GMトウモロコシでは1ブッシェル当たり0.07ドルから0.09ドルの追加コストを負担することになる。

飼料工場への影響

飼料生産チェーンの最終段階である飼料工場では、最終製品の価格設定が最も大きく上昇し、非GM飼料で飼育された動物由来の肉、牛乳、卵製品の価格に直接影響を受ける。

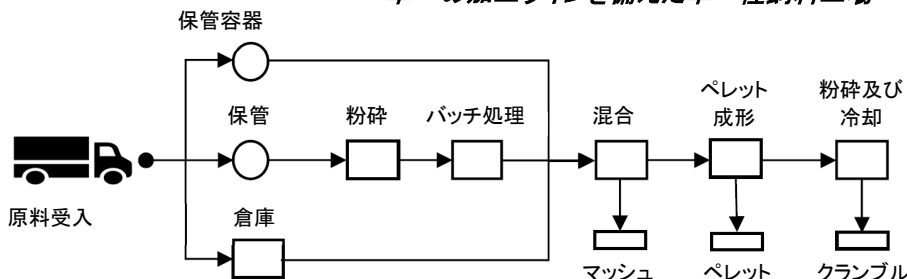
非GM原料の分別にかかる追加コストは、養豚用飼料で1トン当たり4.91ドル～9.08ドル、ブロイラー用飼料で同4.93ドル～9.11ドル、採卵鶏用飼料で同5.14ドル～9.32ドル、肉牛用飼料で同0.44ドル～2.68ドル、乳牛用飼料で同1.32ドル～3.57ドルである。飼料工場にとって、分別戦略の選択が最終的な追加コストに大きな割合を占める。空間的分別は、時間的分別や専用化と比較して、特に小規模な施設ではコストが高くなる。



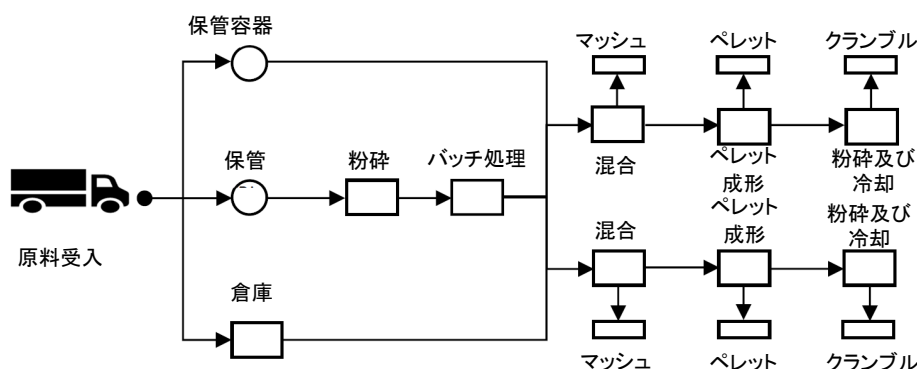
なお、肉牛と乳牛の最終コストを計算する際には、これらの家畜が飼料の相当な割合を、エレベーターや飼料工場ではなく、農場で生産された原料から摂取していることに留意すること。

0.9%、3%、5%のAP許容値で非GM飼料を製造するための飼料工場能力のモデリング

単一の加工ラインを備えた単一種飼料工場



複数の加工ラインを備えた多種飼料工場



このモデルには、2種類の飼料工場の構成が含まれており、単一の加工ラインを備えた単一種工場と、複数の加工ラインを備えた多種工場である。

APに寄与する可能性のあるパラメーターには、原料の不純物、受入／搬送システム、加工ライン、取り扱いミスなどが挙げられる。このモデルでは、非GM飼料を、非GM飼料専用施設で分別する場合、又はGMと非GMの両方を同じ施設で取り扱う際に空間的及び時間的に分別する場合の施設の能力を評価した。

単一の加工ラインを有する工場では、専用化及び時間的分別が許容値0.9%を満たす有効な戦略であった。複数の加工ラインを有する工場については、加工ラインを専用化しても0.9%のAPを満たすことは保証できない。0.9%のAP許容値を達成するには、原料の受入から飼料生産に至るまで一連のしっかりした分別戦略が必要である。

AP(意図せぬ混入)許容値の達成

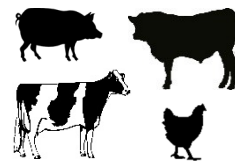
上記の計算や調査では、最終製品中の非GM純度のレベルは考慮されていない。様々な国や第三者認証機関によって、その製品が非GMであると「許容」する意図せぬ混入(Adventitious Presence、すなわち非GM原料又は製品中に低レベルの遺伝子組換え物質が意図せず存在すること)のレベルは様々である。APの許容レベルが低いほど、それを満たすためのコストは高くなる。上記の費用は、標準的な分別及び隔離作業のためのものである。将来的には、この調査はAPの程度によって分別コストを決定するための基準となるかもしれない。

しかし、研究者らは、非GM穀物におけるGMの意図せぬ混入として一般的な3つの貿易許容値(0.9%、3%、5%)を高い確率で達成するために、農場、エレベーター、飼料工場レベルで必要とされる隔離戦略の程度を示すために、上記の経済モデルと並行して2つ目の確率モデルを作成した。飼料サプライチェーンにおける分別を達成するために有用な様々なサプライチェーン戦略を想定したシナリオを作成し、そのシナリオ下で0.9%、3%、5%の許容レベルを満たす実現可能性を判定するために分析を行った。

受入れた穀物中の不純物は、意図せぬ混入のレベルに強い影響を及ぼす。モデル化した分別シナリオでは、5%の許容値が達成可能であった。エレベーターの構造は、分別能力を決定する上で重要な役割を果たし、柔軟性が高まれば、低いAP許容値を達成できる確率が高くなる。重要な発見は、理想的な構造ではない施設でも、戦略を組み合わせることで、妥当な信頼性をもってAP目標を達成できる可能性があるということである。

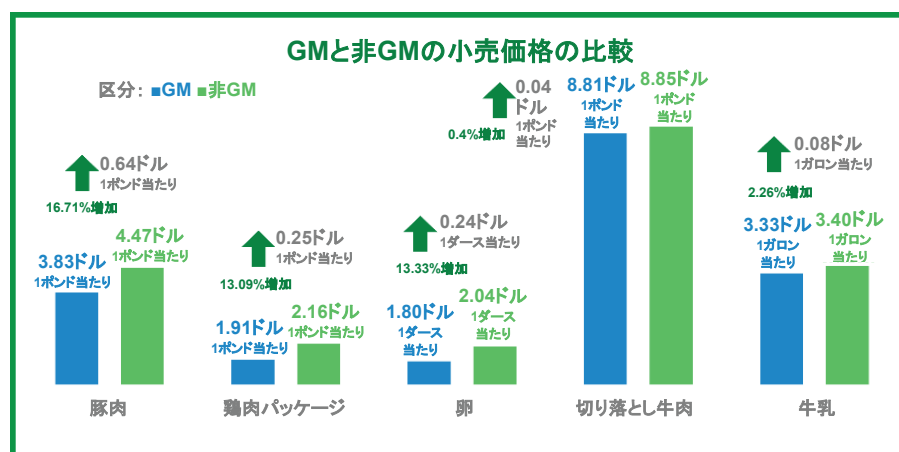
飼料工場においても、概して同様の傾向が認められた。すなわち、柔軟性が高いほど、APの許容レベルが低くなる可能性が高い。しかし、単一の加工ラインを備えた飼料工場では、しっかりと分別戦略の組み合わせによって0.9%のAPを達成することができた。現在、経済コストのモデリングと分別実施戦略を統合する取り組みが進んでおり、選択されたサプライチェーンシナリオのもとでAPの所定の許容レベルを遵守するためにどの程度のコストがかかるかを決定することを最終目標としている。

タンパク質生産コストへの影響



研究者らは、非GM穀物及び非GM穀物を使用して生産された飼料に関連する生産コスト、分別コスト、プレミアムなどに関する知識をもって、畜産物市場情報センターのデータベースのデータと併せて、2014年から2019年のデータに基づき豚肉、鶏肉、卵、牛肉、牛乳の消費者コストの推定値を提示した。

豚肉のコストは、1ポンド当たり0.64ドル増加すると推定されており、これは16.71%増に相当する。GM飼料を用いた豚肉の小売価格は3.83ドル/ポンドである一方、非GM豚肉の推定小売価格は4.47ドル/ポンドである。小売の鶏肉については、1ポンド当たりの価格が0.25ドル増加し、これは13.09%増加となる。GM飼料で生産される鶏肉の小売価格は1.91ドル/ポンドであるのに対し、非GM鶏肉の推定小売価格は2.16ドル/ポンドである。GM飼料を用いた卵のコストは、1ダース当たり1.80ドルである。一方、非GM卵は1ダース当たり2.04ドルと推定される。GM卵の小売価格は、非GM卵の小売価格と比較して1ダース当たり0.24ドル増加しており、これは13.33%増である。小売の切り落とし牛肉では、1ポンド当たりの価格が0.04ドル増加し、これは0.40%増となる。GM飼料を用いた牛肉の小売価格は1ポンド当たり8.81ドルであるのに対し、非GM牛肉の推定小売価格は1ポンド当たり8.85ドルである。牛乳の小売価格では、価格は1ガロン当たり0.08ドル上昇し、これは2.26%増である。GM飼料を用いた牛乳の小売価格は1ガロン当たり3.33ドルであるのに対し、非GM牛乳の推定小売価格は1ガロン当たり3.40ドルである。



結論

GM種子技術による収量の優位性により、農場へ環境的・経済的利益がもたらされる。非GM種子が同様の収量を達成するまで、こうした優位性は継続する。さらに、GM種子形質により耕起を減らすことが可能になり、その結果、燃料の使用量も減るため、燃焼によるCO₂排出量の削減は依然として利点となる。

飼料生産においては、拡大する可能性のある非GM飼料市場に参入できるかどうかは、資本コストと運営コストを考慮する必要がある。必要なAP許容レベルを達成するために分別することは実現可能だが、非GM飼料専用の施設でない限り、管理要件はより複雑なものとなる。

畜産業界が持続可能性の目標を追求する際には、飼料の影響を考慮する必要がある。例えば、飼料は畜産におけるカーボンフットプリントの重要な構成要素である。畜産業界が変化する目標を達成するための道すじを模索する際には、GM飼料と非GM飼料に関連する温室効果ガスの影響の範囲を考慮する必要がある。

謝辞

本研究は、IFEEDER、Dairy Management社、MFA社、全米トウモロコシ生産者協会(NCGA)、米国鶏肉・鶏卵協会から資金提供を受けた。

研究責任者は、アイオワ州立大学農業・バイオシステム工学学科の准科学者兼非常勤助教のErin Bowers博士であった。プロジェクトチームには、アイオワ州立大学のSam Cook、Priyanka Gupta博士、Connie Hardy、Charles Hurburgh博士、Dirk Maier博士、Gretchen Mosher博士、Mateus Pizarro、Decision Innovation SolutionsのS. Patricia Batres-Marquez、Joy Das博士、David Miller、Spencer Parkinson、Jing Tangが参加した。

報告書全文は以下から入手可能:

<https://ifeeder.org/research/gmfree-feed-report/>

(2025 年 6 月 バイテク情報普及会 訳)

本翻訳は参考情報として提供するものであり、原文の正確な内容を保証するものではありません。正確な情報については、必ず原文をご参照ください。