

土壌の健全性保持への遺伝子組換え(GM)作物の効果

日本バイオテクノロジー情報センター(NBIC)代表 富田房男

はじめに

2019年度の日本国際賞(Japan Prize)の受賞者であり、2020年の世界食糧賞(World Food Prize)の受賞者であるRatten Lal博士によると「土壌は生き物である。つまり土壌もあらゆる生命体とおなじく健全さが必須である。我々が土壌からもたらされる天然資源-食物、水、栄養素-を消費している限り、土壌に大きく依存しており、我々ができる限り、そのお返しが必須である。」としている。

つまり健全な農業生産システムは、健全な土壌なしには成り立たないのである。土壌は、炭素還元に寄与する多様な生物の生息地であるだけでなく、食糧生産と気候変動の緩和に重要な役割を果たしているのである。

大気中に存在する二酸化炭素の大部分は、土壌中で行われるさまざまな生物学的プロセスによってもたらされている。炭素の固定は、大気からの炭素が土壌に吸収されて貯蔵されて完了する。土壌により多くの炭素が貯蔵されるほど、気候変動の一因となる大気中に存在する二酸化炭素が少なくなるため、このプロセスは不可欠である。したがって、劣化した土壌を回復し、土壌保全の実践を行うには、農業によ



写真1 不耕起栽培の農地で発芽したトウモロコシ
トウモロコシの畝間には、前の年に生産した大豆などの残渣がそのまま残っている。

て排出される温室効果ガスを減らすための重要過程である。

除草剤耐性作物などのバイオテク産物は、農業者に益するだけでなく、土壌の健全性を保全することに貢献している。土壌の健全性は、土壌が植物の成長と生産性を促進する能力をどのように発揮するかに基づいて評価される。この成長を促進する役割は、将来にわたって土壌を利用するために保全する必要がある。土壌健全性の指標として以下のようなものが上げられる。つまり土壌中の有機物、肥沃度、浸食度、栄養素保持などが上げられる。物理的指標としては、浸食度、土壌構造、かさ密度などがある。化学的指標としてpH、活性炭素、土壌硝酸塩などがある。生物学的指標として、土壌中の酵素、微生物、生物活性などがある。これまでこれらの指標に対する除草剤耐性と害虫抵抗性を持つ遺伝子組換え(GM)作物の土壌への効果影響を解明するために調査が行われてきた。



写真2 土壌中の害虫の「ネキリムシ」に抵抗性の遺伝子組換えトウモロコシ(左)と、右のネキリムシ抵抗性でないトウモロコシの根の張りが弱く、養分の吸収や植物体としての安定性に障害を引き起こす。

土壌侵食・流亡

機械的除草は、表土の侵食・流亡の原因の1つである。雑草は作物から栄養素を奪いとり、1年間で、雑草は世界中の10億人に栄養を与える

のに十分な栄養素を奪っている。

雑草を取り除くために農業で使用される一般的な方法の1つは、耕起することである。しかし、この方法は非常に面倒で時間がかかり、雑草の防除にはあまり効果がない。また、浸食と流亡を引き起こし、土壌の生物多様性に影響を与え、温室効果ガスを土壌から放出することになる。世界野生生物基金によると、150年の間に世界の土壌の半分が失われたとされている。これらの懸念により、科学者たちは耕起を必要としない作物を開発するようになった。これが、現在の除草剤耐性作物である。

除草剤耐性(HT)作物は、農地で使用される最も安全な農薬の1つであるグリホサートやグルホシネートなどの広域除草剤への抵抗性を持っている。これらの除草剤は、植物の代謝経路にある特定の酵素を標的とし、植物の栄養素の補給を止め、最終的には植物を殺すことになる。具体的には芳香族アミノ酸の合成を阻害するのである。HT作物がこれらの除草剤に曝された場合、それらを取り巻く雑草とは異なり、作物は死なない。したがって、HT作物は不耕起または保全耕起を行えるようになる。

除草剤散布後、雑草は死に、土壌を洗い流さないように保護するカバーとして働くことになる。耕起がないか少ないので土壌浸食や流亡は少なくなる。これは、より多くの水分保持とより少ない温室効果ガス排出となる。

これは、農業者の労働投下が多く、土壌を耕すトラクター用の化石燃料を購入する必要がなくなるので農業者と環境の双方にとってメリットのある解決策となる。除草剤耐性作物に使用される現在の除草剤は、前世紀に使用されていた種類よりもはるかに毒性が低いものである。

除草剤耐性技術は、世界中の何百万人もの農業者を助けに来て、2018年には、8,870万ヘクタールにHT作物が栽培された。

分解

分解は、栄養素を生物体(作物)から土壌にリサイクルするプロセスで、大きな有機物が土壌生物(主として微生物)の作用によって小さな物質に分解される。

Btと非Btのトウモロコシからの残留葉部分の分解を調査する野外実験が行われた。分解のさまざまな機構を調べるために植物の構成成分(C:N比、リグニン、セルロース、ヘミセルロース)を評価した。Btタンパク質濃度も成長と分化のすべての



写真3 ハリケーンの強風で倒伏したトウモロコシ畑

このように倒伏すると、コンバインでの収穫に支障をきたす。ネキリムシ抵抗性のトウモロコシは、このような倒伏を防ぐためにも有利になる。



写真4 害虫抵抗性トウモロコシ(左)による「アワノメイガ」被害の防御

右側の抵抗性でないトウモロコシは、茎の内部にアワノメイガの幼虫が侵入し、中身を食い荒らす。このように植物体内部に入り込んだ害虫は、外から農薬を散布しても殺すことはできない。

過程での調査を行った。結果は、残留葉部分は、Btと非Bt植物でほぼ同じであったが、非Bt植物間の違いがより顕著だった。これは植物成分の調査でも同様で、

■ Btとは

バチルス属の細菌(バクテリア)である「*Bacillus thuringiensis* バチルス・チューリンゲンシス」を表す略語。Btは土壌及び植物葉表面に広く生息し、人体や環境に安全なBt剤と呼ばれる生物農薬、微生物殺虫剤として、世界各国で使用されている。Btが生産する殺虫性タンパク質(Btタンパク質)の生産に係わる遺伝子を植物に組み込むことで、特定の農産害虫に抵抗力を有した作物(遺伝子組換え作物)を作出する事が出来る。

Bt植物と非Bt植物の間よりも非Bt植物間に多くの違いが見られた。Btタンパク質は分解が速く、植物の残留が短いことが示され、土壌分解生物群の活動に及ぼすBt植物の悪影響は認められなかった。



不耕起の農地(左)と通常の耕起(耕す)を行った農地(右)の土壤中に5週間(上)と8週間(下)放置した木綿布の分解の違い。不耕起の農地の方が、土壤中の微生物の働きが盛んで、生物分解がより早く進む。

土壤中の酵素

土壤中の酵素は、土壤中での反応を促進するため、生態系プロセスの鍵である。耐虫性Bt植物は、植物のすべての部分に土壤細菌Bacillus

■ Cryタンパク質

結晶性殺虫タンパク質(Cry)。Cryは結晶Crystalの略。Btは孢子形成期に殺虫活性をもつBtタンパク質を生産する。このBtタンパク質は結晶性タンパク質顆粒(クリスタル)である。このクリスタルを構成するBtタンパク質はCryと呼ばれ、その種類により昆虫目に対する殺虫特異性が高く残留性が低いことから、農作物の保護、衛生害虫の駆除、環境保全への利用が期待されている。

thuringiensisのCryタンパク質を含んでおり、微生物の動態、生物多様性、および土壌の本質的な生態系機能を変化させるのではないかとされている。

New York Universityの研究者は、土壌生態系におけるBt作物の影響を検討するためにメタ分析を実施し、窒素循環

土壌生物

GM作物が生物多様性、特に土壌生物に及ぼす影響に関するレビューがいくつか発表されている。土壌生態系に対するBt作物の影響に関する70報の科学論文を網羅した報告によるとCryタンパク質がワラジムシ、トビムシ、ダニ、ミミズ、線虫、原虫などの非標的土壌生物及び土壌中の酵素活性に及ぼす



不耕起の農地に栽培された健全な遺伝子組換えトウモロコシの根にはしっかりと土が塊になって付いている。

表1 土壌の健全性保持への遺伝子組換え(GM)作物の効果

| 生物 | 作物種 | 品種 | 効果 |
|---------|---|-----------|--|
| 無脊椎動物群集 | トウモロコシ:Bt11 (Cry1Ab)、MON88017 (Cry3Bb1) | Btとnon-Bt | Cry3Bb1については差異なし;Cry1Abについては、生存率が高く、増殖性は低い;恐らく植物中の成分の違いと考えられる。 |
| 土壌微生物 | トウモロコシ:MON863 (Cry3Bb1) | Btとnon-Bt | 土壌及び根茎の腐食性微生物群及び腐食作用には悪影響なし |
| 土壌微生物 | トウモロコシ:176品種 (Cry1Ab)、MON810 (Cry1Ab) | Btとnon-Bt | トウモロコシの存在による土壌微生物叢及び微生物群の活性に変化なし |
| ミミズ | トウモロコシ:Bt11 (Cry1Ab)、MON810 (Cry1Ab)、MON863 | Btとnon-Bt | 幼生及び成虫のバイオマスに差異なし |
| ミミズ | ワタ:GK19(Cry1Ac) | Btとnon-Bt | 急性毒性なし;平均重、新生虫数に差異なし |

毒性影響はほとんどないか、まったくないことがわかった。報告された小さな影響は、ほとんどが地理、温度、植物の種類、土壌の種類の違いの結果であり、Cryタンパク質の存在とは関連していなかった。

GM作物で公表されている土壌生物に対するGM作物の影響は、表1に示す通りである。ここにあるように悪影響は示されなかった。

結語

GM作物は土壌の健全性に重大なリスクをもたらすことはない。気象変化などの他の環境要因は、通常、土壌の健全性指標の違いよりも大きな影響がある。つまりここに示すようにGM作物が耕起を少なくすることで土壌の健全性の保全に役立っていることが示された。これらのGM作物の進歩により、土壌の健全性を保ち、食糧安全保障が促進されることが期待される。

米国農務省「世界農業需給予測(WASDE)」による 飼料穀物(トウモロコシ、ソルガム、大麦)需給概要の抜粋

2020年8月12日米国農務省発表の世界農業需給予測の米国産飼料穀物に関する部分の抜粋の参考和訳を以下に掲載いたします。WASDEのフルレポートについては(<https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/>)よりご確認ください。また、数値や内容については、原文のレポートのものが優先いたします。各項目の詳細、注釈についても原文をご参照ください。

今月の2020/21年度の米国産トウモロコシの見通しは、供給量の引き上げ、飼料そのほかへの利用の増大、輸出の拡大と期末在庫の上方修正となっています。トウモロコシの生産量は、7月の予測より2億7,800万ブッシェル増の153億ブッシェルと予測されています。調査に基づく今季初めての単収予測は、先月のトレンドに基づく予測より3.3ブッシェル高い181.8ブッシェル/エーカーとなっています。8月中旬の時点でのトウモロコシ生産に関する報告では、イリノイ州、インディアナ州、アイオワ州、ミズーリ州、ネブラスカ州、オハイオ州で昨年より高い単収が予測され、さらにミネソタ州とサウスダコタ州では、史上最高の単収が期待されています。飼料そのほかへの利用は、主に生産量の増大と低い価格予想に基づいて、上方修正されています。輸出は、米国からの輸出の競争力の上昇と比較的安い世界の市場価格を反映して、引き上げられています。供給量の増大が利用量を上回っているため、期末在庫は1億800万ブッシェル引き下げられて28億ブッシェルに上方修正されています。農家の年間平均トウモロコシ出荷価格は、25セント引き下げられ、1ブッシェルあたり\$3.10となっています。

ソルガムの生産量は、先月の過去の単収の中央値を1エーカーあたり9.1ブッシェル上回る単収に基づいて、4,400万ブッシェルと予測されています。ソルガムの輸出は中国への出荷で期待される量の増大を反映して引き上げられています。

今月の2020/21年度の米国外の粗粒穀物予測は、先月と

比較して生産量の引き下げ、若干の貿易量の引き上げと在庫の減少となっています。EUの生産量が、主にルーマニアとフランスでの減少が、ポーランド、イタリア、ハンガリーといった数か国での増大に一部相殺されたものの、引き下げとなっています。ウクライナのトウモロコシ生産量予測は、主に予測面積の引き上げを反映して上方修正されています。そのほかの国々でのトウモロコシ生産量としては、モザンビーク、マラウイでの引き上げとカナダとタイでの引き下げとなっています。大麦の生産量はEU、カザフスタン、アルゼンチン、ウクライナでの下方修正となっています。

主な2020/21年度の世界の貿易の変更点は、米国、ウクライナ、ビルマからの輸出量の増大となっています。トウモロコシの輸入量は、EU、カナダ、タイで引き上げられ、インドで引き下げられています。ソルガムの輸出量は、米国とアルゼンチンについて、中国の輸入量の増加予測に基づいて引き上げられています。米国外の期末在庫は、カナダとインドでの減少を上回るインドネシアでの増大により、先月より若干引き下げられています。

ネットワークに関するご意見、ご感想をお寄せ下さい。



U.S. GRAINS COUNCIL アメリカ穀物協会

〒105-0001 東京都港区虎ノ門1丁目2番20号
第3虎の門電気ビル11階

Tel: 03-6206-1041 Fax: 03-6205-4960

E-mail: Japan@grains.org

本部ホームページ (英語) :<https://www.grains.org>
日本事務所ホームページ (日本語) :<https://grainsjp.org/>