解 説

遺伝子組換え植物の開発利用の現状と今後[#]

江 面 浩*

筑波大学遺伝子実験センター

(2013年6月15日受理)

Current status and perspective: Development and practical use of genetically modified plants

Hiroshi EZURA

*Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba,
Ten-nodai 1-1-1, Tsukuba 305-8572, Japan*

Keywords: GM crop, risk assessment, new plant breeding techniques, GM papaya, plant vaccine, GM flower, GM tomato.

は じ め に

従来の植物育種では、改良したい系統と有用形質を持っている系統間で交配したときに“種子”が採れることが必要である。つまり、種子が採れない組み合わせ間では、一般的に育種操作を行うことができない。遺伝子組換え技術は、このような従来の植物育種技術の壁を越えることができる技術として注目され、世界各国で研究開発が行われている。産業的には主に食料や飼料の改良に利用され、1996年からダイズ、トウモロコシ、ワタ、ナタネなど、いわゆる4大遺伝子組換え（GM）作物の商業栽培が本格化し、2012年時点で、世界の10%を超える農耕地で遺伝子組換え作物が栽培されている。現在、遺伝子組換え技術の利用に慎重論を唱える人々もある一方で、その利用が世界各地で急速に拡大している。

我が国は、人口がピークに達し、今後、高齢化と人口減

少が急速に進行し、それに伴う新社会システムの構築が喫緊の社会的課題となっている。一方、世界に目を移せば、今後も急速な人口増加は避けられず、それに伴う食料、エネルギー、水の確保が世界的課題として顕在化している。特に、食料に関しては、世界レベルでのフードセキュリティ（食料安全保障）の確立が喫緊の課題となっており、GM作物に慎重な姿勢であった国々も、GM作物は食料確保の手段として必要であるとの考えも広まりつつある。また、我が国がTPPに参加することの是非について議論が活発化するなか、日本にも多くのGM作物が流入してくる可能性に注目が集まっている。さらに、東日本大震災および福島原発事故を受け、バイオマスエネルギーや環境浄化に利用する遺伝子組換え植物の開発にも期待が高まっている。例えば、遺伝子組換え技術を活用することで、一般的に植物栽培が困難な非農耕地でも栽培できるバイオマス植物を開発し、生産したそのような植物バイオマスをエネルギーや高機能性プラスチックの素材とする研究開発が活発に行われている。このような植物が開発できれば、食料と競合しないエネルギー源になるとともに、人類が抱えている課題である二酸化炭素の削減（資源化）にも効果を発揮することになる。

[#] 日本農薬学会第38回大会特別講演に基づく解説

* 〒305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

E-mail: ezura@gene.tsukuba.ac.jp

© 日本農薬学会

本稿では、GM植物を取り巻く環境が様変わりする中、GM植物を巡る内外の状況、GM植物の評価の現状と課題、GM植物開発に関連した植物改良の新技术、我が国で商業利用や研究開発が進んでいる新たなGM作物の事例を紹介する。

1. 遺伝子組換え作物を巡る国内外の状況

1996年にアメリカで本格的な商業栽培が始まったGM作物は、その後、世界各国に広まり、2011年の栽培面積は1億6千万ヘクタールに達した¹⁾。これは我が国の耕地面積の35倍以上に相当する。世界の穀物生産量は、24億トン（2010）で米、小麦、大麦、トウモロコシが大部分を占める²⁾。世界人口を支える主要作物は、これら穀物にイモ類、豆類の10億トンを加えた34億トンであり、この中でGMトウモロコシとGM大豆の生産量は合計4.7億トンと推計でき、世界の作物生産においてGM作物の占める割合は1割を超えていると推定でき、栽培面積と同程度である³⁾。

商業化されたGM作物に導入されている形質は、除草剤耐性と害虫抵抗性が殆どである。除草剤耐性作物は、農作業の省力化、効率化につながることから普及が進んだ。この除草剤耐性は大豆、ナタネ、トウモロコシ、ワタ、テンサイ、アルファルファなどに導入されている。害虫抵抗性は、トウモロコシ、ワタで利用が進んでおり、殺虫性タンパク質（Btトキシン）の遺伝子が導入されている。最近では、これらの形質を併せ持つスタック品種が増えている。GM作物の農業への導入は、米国、カナダ、アルゼンチン、ブラジルなど南北アメリカで先行したが、2011年の統計をみるとインド、中国、パキスタン、南アフリカでも栽培が行われている。ヨーロッパは、総じてGM作物栽培に慎重であるが、スペイン、ポルトガル、ポーランドではGMトウモロコシが栽培されている。

日本で栽培されているGM作物は青いバラのみである。一方、日本はGM作物を大量に輸入・消費していると推定されるが、統計データは公表されていない³⁾。日本が輸入している作物輸入量、使用用途、輸入先から推定すると、トウモロコシは年間輸入量1600万トンの内1200万トン（75%）、大豆は年間輸入量350万トンの内220万トン（63%）、ナタネは年間輸入量230万トンの内190万トン（83%）、がGM品種と推定される。加えて、綿実、パパイヤ、カーネーションのGM品種が輸入されている。

日本でのGM作物の食品や飼料としての利用や一般栽培は法律のもとでの独立に審査・承認が必要である。現時点で食品利用が承認されたGM作物（平成25年5月2日現在）は、ジャガイモ（8件）、ダイズ（12件）、テンサイ（3件）、トウモロコシ（181件）、ナタネ（18件）、ワタ（27件）、アルファルファ（3件）、パパイヤ（1件）、あるいは一般栽培が承認されているGM作物（平成25年5月23日現在）は、

アルファルファ（3件）、カーネーション（8件）、ダイズ（7件）、テンサイ（1件）、トウモロコシ（54件）、セイヨウナタネ（9件）、バラ（2件）、パパイヤ（1件）である。開発者が申請に必要な実験データを準備し、所管官庁に申請を行い、食品安全委員会等の検討委員会による審査を経て、承認を受ける。GM作物の審査は、国際法を基盤としながらも国ごとに異なる評価の基準や枠組みをもっており、開発者は産業利用する国ごとにGM作物の利用申請を行う必要がある。産業利用をする国の増加により、申請・承認にかかる時間と費用が過去10年間で著しく増加しており、開発企業の負担増となっている。

GM食品の表示制度は、我が国では2001年より食品衛生法およびJAS法の下、始まった。表示対象となる食品は、導入した遺伝子やその産物であるタンパク質が検出可能で、GM原料を主成分とする33品目に限定されている。具体的には、豆腐、味噌、納豆、コーンスターチ、コーンフレーク、パパイヤなどである。植物油はダイズやナタネの主たる用途であるが、遺伝子やタンパク質が検出されないことから表示対象となっていない。コーンスターチを原料とする異性化糖は甘味料として飲料や食品に使われているが、植物油と同様の理由で対象外である。GM飼料を与えた家畜由来食品も同様の理由で対象外となっている。

GM食品の表示制度は国によりことなる。米国では、GM作物を原料に使用していることを理由とする表示義務はない。GM技術により食品そのものの性質に変化がある場合は表示義務が生ずる。例えば、高オレイン酸大豆由来の植物油などが該当する。日本でも同様である。一方、EUではトレサビリティを根拠に、0.9%を超えるGM原料が含まれている場合に表示義務が生ずる。そのため、日本でGM原料使用の表示がない製品に、EUではGM原料使用表示が必要となる場合がある。

2. 遺伝子組換え植物評価の現状と課題

GM作物の産業利用を行う場合、それらの環境への影響や食品の場合には食品としての安全性評価を法律に基づいて行い、承認されることが必要である。

2.1. 環境影響評価

我が国では、カルタヘナ議定書が2000年に採択されたことを受け、2003年に「遺伝子組換え生物等の規制による生物の多性の確保に関する法律」（通称：カルタヘナ法）が公布され、2004年から施行された。カルタヘナ法では、遺伝子組換え生物の使用を、一般圃場での栽培や食品原料としての流通等の「環境中への拡散を防止しないで行う使用（第一種使用等）」と、実験室内での研究等の「環境への拡散を防止する意図をもって行う使用（第二種使用等）」に区分し、規制している⁴⁾。

第一種使用等をする場合、遺伝子組換え生物の種類ごと、例えば、GM作物の場合は品種ごとに第一種使用規定を定め、生物多様性影響評価書を添付して担当官庁に申請・承認を受けなければならない。第二種使用等をする場合、拡散防止措置が省令で定められている場合は当該措置を、定められていない場合は担当省庁に申請し確認を受けた措置を、それぞれ執る必要がある。第一種使用において新規の申請をする場合、事前に「第一種使用規定」を定め主務大臣の承認を得る必要がある。大きく分けていえば、研究目的の組換え体の使用であれば文部科学省へ、実用化目的の組換え体の使用であれば農林水産省へ申請することになる。環境省は両者の申請に関することとなる。

我が国の生物多様性影響評価は、「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物多様性の確保に関する法律第三条の規定に基づく基本事項」および「遺伝子組換え生物等の第一種使用等による生物多様性影響評価実施要領」に基づいて行われる。そこでは、1) 競合における優位性：野生植物と栄養分、日照、生育場所等の資源を巡って競合し、それらの生育に支障を及ぼす性質、2) 有害物質の産生性：野生動植物又は微生物の生息又は生育に支障を及ぼす物質を産生する性質、3) 交雑性：近縁の野生生物と交雑し、法が対象とする技術により移入された核酸をそれらに伝達する性質、4) その他の性質：上に掲げる性質以外の性質であって、生態系の基盤を改変させることを通じて間接的に野生動植物等に影響を与える性質等生物多様性影響の評価を行うことが適切であると考えられるもの、に関して評価される。

遺伝子組換え作物は、当初、除草剤耐性や害虫抵抗性等限られた遺伝子を導入し、特定の形質を付与する開発が行われてきた。しかし、不良環境耐性遺伝子を導入したGM作物の開発にみられるように、導入形質は多様化する一途であり、これまでの環境影響評価法を見直す時期にきているといえる。

2.2. 食品安全性評価

我が国では、平成15年7月に食品安全基本法が施行され、食品の安全性を科学的にリスク評価する食品安全委員会が設置された。そして、遺伝子組換え食品の安全性評価の評価基準となる「遺伝子組換え食品（種子植物）の安全性評価基準」、「遺伝子組換え微生物を利用して製造された添加物の安全性評価基準」、「遺伝子組換え食品（微生物）の安全性評価基準」が食品安全委員会において決定された。科学的な安全性評価については、食品安全委員会の中の遺伝子組換え食品等専門調査会で行われている⁵⁾。これまでに安全性評価の終了したダイズ、ナタネ、ジャガイモ、ワタ、トマト、トウモロコシ、テンサイ、アルファルファ、パパイヤがあるが、その数は近年増加の一途をたどっている。これは、安全性の承認されたGM作物同士の交配で作成される交配品種（ス

タック品種）が開発され、これらも安全性評価の審査を受けることが義務づけられているためである。

除草剤耐性や害虫抵抗性を示すGM作物は、これらの形質に関わるタンパク質に対する遺伝子を付与しただけであり、植物の代謝系に影響を与えることのないものであり、第一世代のGM植物と呼ばれる。これら第一世代のGM植物の安全性評価の概念として世界的に用いられたのが「実質的同等性」である。つまり、既存の食品と比較して、品質特性、栄養素の種類と量、植物の持つ自然毒の種類と量、使用方法に変化がなく、導入された遺伝子由来のタンパク質にアレルギーなどの有害性がないことで、遺伝子組換えの宿主植物とGM植物とでは導入遺伝子から作られるタンパク質以外は同等であることを示すことで、安全性評価を行うという考え方である。

近年、栄養成分を改変、もしくは新規栄養成分の合成系を付与し、消費者メリットを狙った第二世代のGM作物が開発された。高オレイン酸ダイズが代表例である。このダイズ油はオリーブ油よりもオレイン酸含量が高くなり、健康志向の人にとっては有用である。この場合、本来のダイズ油の組成をオリーブ油に近いものに改変しており、実質的同等性を人為的に改変したことになり、第一世代のGM作物に対する安全性評価の基準が適用できなくなる。この場合、油成分については、オリーブ油を比較対象とし、その他の成分等については、非GMダイズを比較対象として評価している。

さらに、近年では、植物がもつ複雑な生理機能を改変することで、不良環境耐性を示すGM植物が開発され、第三世代のGM植物と呼ばれている。このような第三世代のGM植物の安全性評価では、宿主植物との栄養学的比較、毒性化合物の生産量と質の比較に加えて、導入遺伝子由来タンパク質の毒性およびアレルギー性の評価が行われる。

さまざまなGM植物が開発され、GM植物同士を交配し、複数の外来遺伝子を持たせた交配品種（スタック品種）の開発が加速している。これらスタック品種の食品安全性については、全く新規のGM植物として安全性評価が必要とされている。ただし、第一世代の除草剤耐性や害虫抵抗性を付与したGM植物同士の掛け合わせによって得られたスタック品種の場合、導入遺伝子同士の相互影響・干渉効果が考えられないものが多く、遺伝子組換え食品等専門調査会の審議を経ることなく、食品安全委員会で直接評価が行われる。

3. 植物改良の新技術

近年、従来の植物組換え技術に加え、新たな植物育種技術（New Plant Breeding Techniques; NBT）が開発されており、これらの技術によって開発される新たな植物が遺伝子組換え植物か否かについて、盛んに議論が行われている。特に、欧米を中心としたバイオテクノロジー企業や育種家達は、その判断如何によって開発する新作物の各種の評価に関わるコス

トとスピードが大幅に異なり、大きな関心を寄せている。以下に示すNBTによって作り出される新植物は、開発の過程で遺伝子組換え技術を使用することはあっても、最終産物の段階では遺伝子組換え技術を使用した痕跡が残らない場合が多い。このため、開発者から規制当局に新植物に関する情報提供が適正に行われなければ、組換え技術の使用の有無の検知は事実上困難であると考えられている。遺伝子組換え作物を含む「遺伝子組換え生物」の規制法であるカルタヘナ議定書では、遺伝子組換え生物は、「モダン・バイオテクノロジーを使って作り出された新しい遺伝的組み合わせをもった生物」と定義されており、多くのNBTで作成した新植物はこの定義の範疇に入ると考えられる。一方、事実上、組換え技術を使用したことが判別できない新植物に対して、カルタヘナ議定書を適用することの是非についても論点になっている。

このような背景からEU委員会 (Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies) は、2007年にNBTに関する調査を開始し、2011年に報告書“New plant breeding techniques: State-of-the-art and prospects for commercial development”を公開した (<http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC63971.pdf>)。その報告書では、NBTを8つのカテゴリー、すなわち、Zinc finger nuclease (ZFN) technology, Oligonucleotide directed mutagenesis (ODM), Cisgenesis and intragenesis, RNA-dependent DNA methylation (RdDM), Grafting on GM rootstock, Reverse breeding, Agro-infiltration, Synthetic genomicsに分類し、1) これらの技術の定義、2) NBTの研究開発の現状、3) NBTに関連した知財化の状況、3) 植物育種家による利用の現状と商業化の予測、4) NBTの技術的・経済的に有利な点及び制約要因、5) NBTを利用して開発された作物のゲノム上の変化、6) NBTによって開発された作物の検知、7) 今後必要とされる新しい技術などについて記述している。

誌面の関係で詳細には紹介できないので、報告書の要点のみ紹介する。1) では各技術について定義した後、Synthetic genomicsについては、微生物分野では発展が著しいものの植物分野の開発としては極初期段階であり、調査対象外とした。2) では、NBTの開発は、Grafting on GM rootstockの研究は20年の歴史があるが、その他の技術は10年以内の新しい技術であること、EU諸国が技術開発を先導し、米国が追随していること、3) では、NBTの知財化は米国が先導し、EU諸国が追随していること、技術開発及び知財化においては他の国々が後塵を拝していることが記述されている。3) では、すべてのNBTが育種家によって応用されていること、特に、ODM, Cisgenesis/Intragenesis, Agro-infiltrationは最もよく使われており、これらの方法で開発された作物が商業化の段階に達していること、ZFN technology, RdDM, Grafting on GM rootstock, reverse breedingはまだ研究段階

にあること、最後に開発の最も進んだ作物は、もし利用した技術がGMとされなければ、2から3年で商業化されると報告されている。4) では、NBT開発を推進する大きな理由は、従来育種技術に比べて、迅速かつ低コスト（経済的）で育種を行えるかもしれないという潜在的な優位性であること、一方で、依然、各技術の効率が低いこと、でき上がった作物がGM作物として扱われた場合、その評価に関わるコストが増加し、NBTの経済的メリットが失われることが報告されている。5) では、各NBTで開発される植物における予測されるもしくは予測されないゲノム上の変化について報告している。6) については、ZFN technology, ODM, Grafting on GM rootstock, RdDM, Reverse breedingおよびAgro-infiltrationを使用して作出した植物は従来の育種法や突然変異育種法で開発された植物と区別できないこと、ZFN technologyで開発された一部の植物、Cisgenesis/intragenesis, Agro-infiltrationで開発された一部の植物は開発者から事前情報が提供されれば検知できること（ない場合はできない）が報告されている。8) では、各NBTについて今後必要とされる開発や更に開発中のNBTがあることが報告されている。本報告書に記載はされていないが、TALEN (Transcription Activator-Like Effector Nuclease) が該当する技術である。

以上、NBTの開発・利用の現状と課題について、EU委員会の報告書をもとに紹介してきた。その結果、NBTの研究開発と知財化においては、欧米諸国が他国を大きく先導している現状が明らかになってきた。このような国際情勢の中で、我が国が今後NBT分野の研究開発をどのようなスタンスで進めて行くべきか早急な議論を進める時期に来ている。従来の遺伝子組換え技術は、遺伝子組換え作物開発の基盤技術であると共に、遺伝子機能解析の基礎研究ツールとしての重要性も備えていた。一方、NBTについては、紹介した報告書からも明らかなように、実用育種技術としての期待が非常に大きい。そのため、今後のNBTの開発に関する議論は、将来的な育種現場での利用を想定した場合、育種家や育種企業、育種学者を巻き込んだ活発な議論が必要となる。

4. 我が国で商業利用や研究開発が進んでいる 新たなGM作物の事例

除草剤耐性や害虫抵抗性のGM作物（トウモロコシ、ダイズ、ナタネ、ワタ）の栽培利用が世界的に拡大していることを紹介した。一方、新しいGM作物の商業利用の開始や商業化に向けた新しいGM作物開発が我が国でも進んでいる。ここでは、その事例を紹介する。

4.1. ウイルス抵抗性GMパパイヤ

ウイルス抵抗性GMパパイヤは、我が国では生で食べるGM作物第一号である。このGMパパイヤは、米国・ハワイでは1998年に商業利用が始まっており、現在までに栽培

面積を飛躍的に拡大し、普及率は80%を超えている。我が国への利用申請は、1999年に行われ、12年の歳月を経て、2011年に商業利用が承認された⁶⁾。まさに、我が国にとっては古くて新しいGM作物でもある。

パパイヤはメキシコ原産とされており、ハワイに導入され、重要作物として栽培が拡大した。1945年にオアフ島でパパイヤリングスポットウイルス（PRSV）の発生が確認されると、1960年頃にはオアフ島全体に拡大し、オアフ島のパパイヤ生産は壊滅的被害を受け、主産地はハワイ島へと移動した。RPSVの感染は、果実への環状スポット、葉のモザイク症状や落葉など植物生育を抑制し、果実肥大不良や糖度低下などを引き起こし、生産に大きな打撃を与える。通常は交雑育種が行われ、抵抗性品種の開発が行われるが、同時、既存の栽培種、それらと交雑可能な野生種、近縁種にはPRSVに有効な抵抗性素材が見出されておらず、遺伝子組換え技術を用いた抵抗性品種の作出が検討された。具体的には、PRSV HA-1株の外被タンパク質遺伝子を導入することで抵抗性を示すGMパパイヤが作出された。1992年から圃場試験を開始し、1997年には審査が終了し、商業利用が可能になった。そして、1998年にPRSV抵抗性パパイヤ55-1系統であるRainbowの種子の配布が開始された。このパパイヤの開発には、民間事業者、公的研究機関、大学が関わっているが関連のライセンス等はハワイパパイヤ生産者協会に寄付されている。

4.2. GM青紫カーネーションとGM青いバラ

花き類は、一品種あたりの売上げが小さいこと、品種の移り変わりが激しいこと、技術的に確立されている除草剤耐性や害虫抵抗性を付与する意義があまりないことなどから、遺伝子組換え技術の適応は遅れており、市販されている遺伝子組換え花きは、カーネーションとバラのみである⁷⁾。

植物がもっている能力は遺伝的に決定しており、一つの植物種がすべての色の品種を持つことはまれである。主要切り花であるバラ、カーネーション、ユリには青や紫の花色はない。そこで、これらの花色を作り出すには、遺伝子組換え技術が必要であった。花の色の成分にはフラボノイド、カロテノイド、ベタインがある。フラボノイドのうち、赤や青を呈する成分をアントシアニンと総称する。アントシアニンの中で紫から青色の花に多いのがデルフィニジンである。バラやカーネーションには、デルフィニジンが含まれていないが、それはデルフィニジン合成に必要な酵素遺伝子を欠いているためである。したがって、もしその酵素遺伝子をバラやカーネーションで発現できれば、デルフィニジンが合成され、青い花を咲かす品種ができると考えられる。サントリーの研究開発グループは、それらの遺伝子をカーネーションに導入・発現させ、青紫のカーネーションを作ること成功した。生物多様性影響評価の後、商業利用が承認され、国内

では「ムーンダスト」という商品名で6品種が販売されている。さらに、EUでも2品種、米国では10品種以上が販売されている。これらのカーネーションは、コロンビア、エクアドルで日米欧への輸出用として生産されている。同様にバラについても遺伝子導入が行われ、アントシアニン総量の90%がデルフィニジンとなり、青紫を呈したGMバラが開発された。生物多様性影響評価の後、2008年には商業栽培が承認され、2009年から商品名「アプローズ」として販売されている。アプローズは、国内の圃場で商業生産されている唯一のGM作物である。

花き植物の育種に遺伝子組換え技術が貢献して行くには、商業化に必要な認可コストを含め、開発コストが大幅に下がる必要がある。企業活動も市場もグローバル化するなかで、市場が縮小し、規制が厳しい国内で研究開発を行うよりも、市場が拡大し、規制も緩やかな海外での開発も選択肢の一つとの見解もある。

4.3. ミラクルフルーツの機能をもつGMトマト

ミラクルフルーツは、西アフリカ原産の小木で、小指の先ほどの赤い実をつける（図1-A）。この赤い実には、ミラクリンというタンパク質が多量に含まれている。ミラクリンは、食品の酸味を甘みに変える性質があり、現地では酸味のある食品を食する前に利用されている。ミラクリンは糖質でないで、カロリーの過剰摂取抑制や糖尿病の方の食事療法への活用が期待されている。これらの期待にも反して、内外ともにミラクリンの産業利用は殆ど行われていない。その理由は、ミラクリンの大量・安定供給が困難であることによる。そこでミラクリンの大量・安定供給を目的に大腸菌、酵母、タバコ培養細胞にミラクリン遺伝子を組み込んでミラクリンを生産する研究が行われたが、成功には至らなかった。筑波大学では、周年栽培技術が確立している園芸作物にミラクリン遺伝子を組み込んでミラクリンを大量・安定生産する研究に取り組み、レタス、トマト、イチゴでミラクリンを生産することに成功した⁸⁻¹⁰⁾。その後、筑波大学、（株）インプランターイノベーションズ、（社）植物物質情報研究センターの3者が、経済産業省が実施する研究開発プロジェクトとして支援を得て、トマトでミラクリンを大量生産する技術の開発を行った。その結果、トマト果実でミラクリンを高蓄積する技術、トマト果実で生産したミラクリンを精製する技術、ミラクリンを生産する遺伝子組換えトマトを植物工場で安定生産する技術が開発された。以上により、GMトマトと植物工場を活用してミラクリンを大量・安定生産する技術の基盤が完成した（図1-B, C）。現在、このGMトマトの産業利用を目指し、ミラクリンを産生するGMトマトの安全性評価と植物工場のスケールアップについて検討を行っている。これらの研究開発が進展し、ミラクリン蓄積GMトマトが国民生活の質の改善に役立つことを期待したい。

図1. ミラクリンを蓄積する機能性GMトマトの開発. A: ミラクルフルーツの果実, B: 植物工場栽培中のミラクリン蓄積GMトマト (播種28日後), C: 植物工場栽培中のミラクリン蓄積GMトマト (播種105日後).

4.4. ブタ浮腫病ワクチン生産GMレタス

出光興産(株)では、ブタ浮腫病を予防する植物ワクチンを生産するGMレタスの開発を行っている¹⁾。レタスを宿主としてワクチンタンパク質を生産させ、これを経口投与することで浮腫病を予防することを目的としている。

ブタ浮腫病は、志賀毒素を生産する腸管出血性大腸菌が回腸に定着・増殖し、産生される毒素により、微小血管およびリンパ管の循環障害を引き起こす。離乳直後の子豚で発症しやすく、全身の浮腫・神経症状が見られる。現場では、いくつかの予防措置がとられているが、完全ではなく、有効な予防法の開発が望まれている。

ブタ浮腫病ワクチン生産レタスの開発では、レタスに生産させるワクチンの選定、レタスの高効率形質転換技術の開発、ワクチンタンパク質の高生産技術の開発、ワクチンとしての性能及び安全性評価、植物工場でのレタス栽培条件の最適化を行った。これらの研究開発を通して、レタスでブタ浮腫病ワクチンを生産する基盤技術が確立された。現在、産業化に向けて、シードロットシステムの構築が進められている。

おわりに

本稿では、GM作物の開発と利用の現状、GM作物の環境影響及び食品としての安全性評価の現状と課題、GM技術の次世代技術として期待されて新しい植物育種技術、海外で開発されたGM作物の利用が主流となっている我が国で利用

と開発が進んでいる新しいGM作物の事例を紹介した。GM技術は、我々人類の科学的探求の結果生み出された技術であり、今後の人類の持続的発展に寄与できる一つの技術である。我々人類は、様々な科学技術を生み出し、“智慧”を使って、それを利用することで様々な社会的課題を解決してきた。GM技術を利用するにあたって“智慧”を十分に働かせ、有効に活用していくことが重要である。本稿を通して、皆様のGM植物に対する理解と期待が一層深まることを願います。

謝 辞

本稿は、日本農薬学会第38回大会(筑波大学)で行った講演を基に執筆した。講演の機会を与えていただいた松本宏(筑波大学)組織委員会委員長を始めとした学会関係者の皆様、講演に当たり情報提供をいただいた小泉 望氏(大阪府立大学)、大澤 良氏(筑波大学)、小関良宏氏(東京農工大学)金澤 章氏(北海道大学)、佐藤 卓氏(米国大使館)、田中良和氏(サントリービジネスエクスパート(株))、高根健一氏((株)インプランターイノベーションズ)、澤田和敏氏(出光興産(株))、に感謝する。

引用文献

- 1) 国際アグリ事業団(ISAAA) URL (<http://www.isaaa.org/>, Accessed by 29 July, 2013).

- 2) 総務省統計局, URL (<http://www.stat.go.jp/data/sekai/0116.htm#c04>, Accessed 29 July, 2013).
- 3) 小泉 望: バイオインダストリー **29**, 5–11 (2012).
- 4) 大澤 良・下野綾子: バイオインダストリー **29**, 12–18 (2012).
- 5) 小関良宏: バイオインダストリー **29**, 19–25 (2012).
- 6) 佐藤 卓: バイオインダストリー **29**, 35–41 (2012).
- 7) 田中良和: バイオインダストリー **29**, 42–47 (2012).
- 8) H. J. Sun, M. Cui, B. Ma and H. Ezura: *FEBS Lett.* **580**, 620–626 (2006).
- 9) H. J. Sun, H. Kataoka, M. Yano and H. Ezura: *Plant Biotechnol. J.* **5**, 768–777 (2007).
- 10) T. Sugaya, M. Yano, H. J. Sun, T. Hirai and H. Ezura: *Plant Biotechnol.* **25**, 329–333 (2008).
- 11) 澤田和敏・松井健史・瀧田英司: バイオインダストリー **29**, 53–58 (2012).

略 歴

江面 浩（えづら ひろし）

最終学歴：1982年筑波大学第二学群生物学類卒業，1986年筑波大学生物科学研究科中退，同年茨城県園芸試験場技師，1992年茨城県生物工学研究所技師，主任研究員，2000年筑波大学助教授，2005年同教授を経て現在。

研究テーマ：園芸作物の分子育種，分子生理学，ゲノム科学