総説

植物育種の新手法 ——バイオテクノロジーを使った新品種の開発——

八尋義輝*

New Tools for Plant Breeding

Yoshiteru YAHIRO

(Plantech Research Institute: 1000, Kamoshida-cho, Midori-ku,
Yokohama-City, Kanagawa, Japan)

1. はじめに

私達は実に多様な食品を毎日口にしている。最近“食ブーム”で世界各国の料理や地方の特色のある食べ物などが紹介され、一度は食べてみたいと言う気にさせられる。食が満ち足りていることは、平和で安定した世界情勢を反映したものと言えるであろう。一部の局地的な例外はあるものの、世界の食糧事情はここ20年ばかり極めて安定しており、むしろ生産過剰を背景とした問題の方が大きくなって来ている感さえある。

食品は私達人類の生活を支える基盤であり、関心が高いのは当然かもしれないが、その関心の対象はそれぞれ人により大きく違っている。ある人は飢餓問題を将来の人口増加と結びつけて深刻にとらえようとするであろうし、また、環境問題ともからめてその安全性に強い関心を持つ人もいる。あるいは現在のグルメブームを多に楽しみたいと考えている人もいよう。食品は単に栄養的、エネルギー的な充足だけでなく、嗜好性も強く、生活の潤いにも繋がる性質のもので、その関心の持ち方はどうであれ、私達は常に食品や食糧と言った身近な問題に強い関心を持って行きたと思う。

農業は食糧生産だけでなく、長期的にみれば人口問題や環境問題との関係も含め、多くの課題を抱えており、多方面からの関心が寄せられている分野でもある。ここでは世界の農業の実情とバイオテクノロジーを利用した最新の品種改良の技術開発状況について概観してみたいと思う。

2. 食糧生産の状況

主要食糧である穀物の生産高は1985年のFAO統計

では世界全体で18.4億トンにのぼる。作物別には表1に示したように、麦類7億トン、米とトウモロコシがそれぞれ5億トン弱で、この3作物で世界の人口を養っていると言っても過言ではない。この他にイモ類約5億トン、果物と野菜類が約2億トンづつ生産され、これらが私達人類の主要な食糧となっている。

一方、世界の人口は1988年に50億人を突破し、21世紀初めには60億人に達すると予測されている。図1にも示すように、人口は確実に増え続けているが、農地はほとんど増加する余地はないと見られている。従って食糧増産のためには、単位面積あたりの収量を増加させるしか方法がないことになる。単純計算で行けば、現在の収量レベルを20%増加させないと60億人の人口を養うことができないことになる。しかし単位収量を上げることは生易しいことではなく、例えば我が国の稲作を例として取り上げると、明治時代中期に育種が始まって以来一貫して10aあたりの収量は増加しているが、

表1. 世界の主要穀物生産状況(1985)

作物	生産高 (億トン)	作付面積 (億ha)	単位収量 (t/ha)
小麦	5.1	2.3	2.2
大麦	1.8	0.8	2.3
米	4.7	1.4	3.2
トウモロコシ	4.9	1.3	3.7
豆類	1.5	—	—
その他	0.4	—	—
計	18.4	—	—

(FAO 生産年鑑より)

* 植物工学研究所: 横浜市緑区鴨志田町 1000

図1. 世界の人口と農業の動向

図2. 我が国水稻の単位収量の推移

1900年代当初200～250 kgであったものが昭和の初期に300 kg前後に達し、現在は500 kgを越える収量となっている。(図2) 収量を2倍にするのに、実に100年近い歳月を要した訳である。単位収量を上げるための要因は、灌漑、排水などの栽培環境の整備、肥料、農薬などの農業資材、生産の源資となる優秀な種子など総合

的な農業技術のいずれもが重要な項目であり、これらの技術を着実に高めて行くことが食糧の安定供給のための確かな道程であると考えられる。

我が国の農業事情を見てみると、1986年の総生産高は約13兆円(林業、水産、畜産を含む)で、これはGNPの3.9%に相当する。その内訳は表2に示すとおりであ

る。我が国の農業の特徴は自給率が他に例を見ない程低いという点にある。食糧全体の自給率は約 50%，穀物の自給率は 30%という低い状況である。これは技術的な問題だけでなく、経済的背景や農業政策的な面が強く簡単に答えが見つかる問題ではないが、食糧という生活の基本物質にかかわる問題なので、慎重に無理のない解答を引き出すよう努力していくことが肝要だと思う。

ところで、世界の食糧の需給バランスを見てみると、表 3 に示したように主要生産国数か国で全生産高の約 70%を占めており、極めて偏った生産状況となっている。輸出入量は生産高の 12%にあたる約 2.2 億トンとなっており、主要輸出国 5 か国で全輸出量の 86%を占めている。最近、各国の農業生産性は非常に向上しており、特にアジア各国ではおおむね自給体制が整ってきている。主要な輸入国はソ連、EC 域内、日本と数か国にすぎない状況となっている。

以上述べてきたように、世界全体では現時点では食糧は過剰生産気味であるが、局地的にみると、気象条件や病虫害の発生などの農業環境の悪化、人口増加に対する食糧の増産、品質の向上など将来に対する課題もたくさん抱えている。農産物に対する要望は時代時代のニーズを反映して刻々と変化している。品種に対する要求もますます多岐にわたり、高度になってきている。技術的にも従来の交配法の壁を越えた新しい育種法が開発されて

表 2. 我が国の主要農作物の生産状況 (1986)

作物	生産高 (万トン)	作付面積 (万 ha)	単位収量 (t/ha)	自給率 (%)
米	1,165	228	5.1	108
麦 類	122	35	3.5	14
豆 類	25	24	1.0	8
野 菜	1,551	64	24.4	95

(昭和 62 年度版農業白書より)

表 3. 穀物の主要生産国と輸出入状況 (1985)

国 名	生産高 (億トン)	全生産高に対する 生産割合 (%)	輸出量 (億トン)	輸入量 (億トン)
ア メ リ カ	3.5	19	0.8	
中 国	3.4	18		
ソ 連	1.8	10		0.4
イ ン ド	1.6	9		
EC 諸 国	1.4	8	0.5	0.3
オーストラリア	0.26	1.4	0.2	
アルゼンチン	0.29	1.6	0.2	
カ ナ ダ	0.49	2.7	0.2	
日 本	0.16	0.1		0.25
そ の 他	5.5	30	0.3	1.05
計	18.4	100	2.2	2.2

(FAO 生産年鑑より)

きており、21 世紀に繋がる技術として大きな期待が掛けられている。農業問題の救世主となるかも知れない新育種法の個々の技術について以下に概説してみたい。

3. 新しい育種技術

従来の交配を主体とした育種法に対し、種々の培養技術を基盤にした品種改良の方法を新育種法と呼んで行く。この中には大きく分けて、組織・細胞培養、細胞融合、遺伝子操作の技術があり、それぞれは更に細かくいくつかの技術に分けて呼ばれることもある。表 4 にその代表的なものを示したが、これらは目的により、種々の選抜法と組合せて使用される場合もある。例えば、除草剤、病原菌毒素、アミノ酸アナログなどを培地に添加し、それぞれに耐性の植物を作り出すことも可能である。しかし、これらの新育種法はそれだけで独立に存在するものではなく、また従来の交配法にとって代わる技術でもない。これらは育種素材を拡大するための技術であり、

表 4. 新育種法

技 術	育種への応用
組織・細胞培養	
茎頂培養	大量増殖
成長点培養	ウイルスフリー植物
カルス培養	有用変異の選抜
プロトプラスト培養	有用変異の選抜
胚・子房培養	交雑範囲の拡大
葯・花粉培養	固定期間の短縮
細胞融合	
体細胞雑種 (ハイブリッド)	核遺伝子の導入
細胞質雑種 (サイブリッド)	細胞質遺伝子の導入
遺伝子操作	有用遺伝子の導入

種の壁を越えて有用な遺伝形質の導入を可能にしてくれるものである。新品種を生み出すには、交配技術と組合せて使用して始めて意味のある技術となってくる性質のものである。それでは、それぞれの技術ごとに、方法、目的及び実例を含めて説明する。

3.1 組織・細胞培養

植物の種々の器官や組織の一部あるいは細胞塊や単細胞（プロトプラストを含む）を培養するもので、この技術範ちゅうに入るものはバイオ技術の中でも比較的早い時期から検討されてきたもので、既に実用段階に達しているものも少なくない。この中には次のような技術があり、培養する組織や材料により名称が付いている。

3.1.1 茎頂・成長点培養

植物の成長点を含む部分を無菌的に切り出して、細胞の増殖に必要な栄養素を含んだ培地上で多数の芽を生育させる技術である。この方法で作出された植物はメリクローンと呼ばれ、同じ遺伝子組成なので品質がよく揃っているのが特徴である。優良な個体を短期間で増殖したり、種子にすると遺伝的に分離してしまうような形質を持った個体を増殖するときに有効な方法である。既にラン、ガーベラ、スターチスなどの多数の花や観葉植物などで実用化されており、花の品質向上や増殖率の低い植物の繁殖などに寄与している。

また、成長点にはウイルスが侵入していないので、成長点培養によりウイルスフリーの植物を作出することも可能である。栄養繁殖性の植物はウイルスに汚染されている場合が多く、収量低下や品質低下の原因になっている。カーネーション、カスミ草、イチゴ、ブドウなどの花や野菜から果樹まで多数の作物でウイルスフリー系統が作出され、技術的にはごく一般的な手法となっており、県農試や生産組合、種苗会社など数多くの機関で実施されている。更に、サツマイモ、ニンニク、ヤマイモなどでも成功しており、品質のよい農作物を生産できるようになって来ている。

3.1.2 カルス培養

植物の葉・根・茎などの組織の一部分を適当な培地の上に置くと、カルスと呼ばれる細胞塊を生じ増殖生長を続ける。このカルスを違った組成の再分化培地に移すと、また茎葉を分化し、根もできて健全な植物体となる。これらの再生植物の中には、いろいろな突然変異が生じることが知られており、有用な変異体は育種素材として利用できる。このような変異をソマクローナルバリエーション（体細胞変異）と呼び、種々の選抜法と組合せることにより効率のよい変異体の獲得が可能となり育種に利用されている。

例えば、疫病耐性のジャガイモ、メチオニン含量の高いトウモロコシ、除草剤耐性のトウモロコシ、黄色果実のトマト、フザリウム病耐性のトマトなど多数の有用系統が育成されている。これらの作物の他にも、カルス培

養はほとんどすべての作物で成功しており、イネ、ムギなどの主要穀物でも短稈系統や除草剤耐性系統などが選抜されており、新育種法の1つの柱となってきている。

3.1.3 プロトプラスト培養

植物の若い葉、胚軸、培養細胞などをペクチナーゼやセルラーゼなどの適当な酵素で処理すると細胞壁を持たない単細胞が調製できる。この単細胞はプロトプラストと呼ばれ細胞融合には必須のものである。このプロトプラストを培養しカルスを経由して植物体を再生させると、カルス培養の場合と同様にいろいろな変異体が出現し、育種に利用することができる。プロトプラスト培養の特長は、単細胞由来であるため、カルスの中の細胞はすべて同じ性質を示すことである。また1枚のシャーレの中で100万個もの細胞を培養することができるので、細胞レベルで有用変異を選抜するときには非常に効率のよい培養系であると言える。

プロトプラスト培養により生じる変異はプロトクローナルバリエーションとも呼ばれ、ソマクローナルバリエーションと区別して使われる場合もある。いずれにしても、カルス培養やプロトプラスト培養によって生じる変異は、培養中に植物ホルモンなどの影響で生じた突然変異や組織の中に隠れていた変異細胞が分裂・増殖して顕在化してくるなどの原因によるものと考えられている。また、積極的に突然変異を誘発するために、プロトプラストにエクス線や紫外線を照射したり、培地に突然変異誘発剤を添加することも効果がある。

このようにプロトプラスト培養はいろいろな特長を持っているが、技術的にはまだ比較的历史が新しく、1968年に建部らによりタバコの葉から酵素的に多量のプロトプラストが安定して採れるようになったのが研究の始まりである。その後数多くの研究が行われ、ナス科の作物を主体に成功例が続く、最近ではアブラナ科の作物などを含め、表5に示したように他の科の作物でも培養できる例が増えてきている。プロトプラスト培養での画期的なブレイクスルーは、従来困難であるとされていたイネ科の作物で培養に成功したことである。これは1985年の出来事で、我が国の数か所の研究機関でイネのプロト

表5. プロトプラストから植物体が再生された主な作物

ナ ス 科	タバコ、ペチュニア、トマト、ナス、ジャガイモ
セ リ 科	ニンジン、パセリ
アブラナ科	キャベツ、ナタネ、ハクラン、ブロッコリー、ケール
キ ク 科	レタス、ヒマワリ
マ メ 科	アルファルファ、クローバー
ユ リ 科	アスパラガス
イ ネ 科	イネ

表 6. プロトプラスト培養により育成された「初夢」の特性

品 種	出穂日 (月・日)	稈 長 (cm)	穂 長 (cm)	穂 数 (本/m ²)	収 量 (kg/10 a)	収量指数
初 夢	8.27	85	18.2	336	445	99
コシヒカリ	8.22	94	19.2	296	449	100
日 本 晴	8.29	84	19.8	311	422	94

(昭和 62, 63 二か年の平均値: 於横浜)

プラスト培養に成功し、世界に先がけて主要穀物で培養を可能にした。

この技術は稲の育種へと繋がり、プロトプラスト由来の再生稲の後代に、種々の変異体が出現することが確認されている。これらの変異の中には農業的に意義の大きい、短稈化、早生化、晩生化など、従来の放射線育種に比べ、変異の種類や発生頻度が比較にならない位大きくなっている。もちろん変異体の中には不稔個体や品質の低下など、好ましくない性質も現われるので、通常の育種の方法と同じに、収量性、品質、食味などの諸形質を調査する必要がある。

これまでササニシキを原品種とした短稈系統やコシヒカリを原品種とした短稈晩生系統の選抜が報告されている。これらは新品種として登録申請もなされており、培養に成功して3年間で新品種が作出できたことは、従来にはない画期的な方法であると言える。表6にコシヒカリを培養して作出した新品種「初夢」の特性を示した。初夢は原品種コシヒカリに比べ稈長が約10 cm短かく、出穂日が5日遅い特長を持っている。この特長は倒伏し難く、西日本でも栽培が可能な良食味品種として、栽培適地の拡大や労働力の分散も可能になるなどの点が期待されている。

我々はこの方法を「プロトプラスト育種」と名付け、新育種法の柱の一つとすべく、既存品種の改良を主体に検討を続けている。しかしまだムギ類、トウモロコシ、ダイズなど多くの主要穀類では、再現性のあるプロトプラスト培養法が確立されておらず、これが細胞育種の大きな障壁となっている。現在世界各国の研究機関で培養系の確立に向けて地道な努力が続けられているので、少しずつ成功例が増えて行くことが期待される。

3.1.4 胚・子房培養

交配により正常な種子を結実する組合せは、通常同一種内の植物間に限定される。しかし比較的近縁な異種植物の間では受精は成立するが、受精胚の発育が途中で止まり、完全な種子にまでは達しない組合せのあることが知られている。このような場合は、受精胚の発育が止まる前に植物体から取り出して、適当な培地上で培養してやると、胚はそのまま発達して雑種植物を得ることができる。この技術は培地に置く組織の部位により胚培養、胚珠培養、子房培養と呼ばれることがあるが、同じ範ち

ゅうに入る技術である。また、花粉管が花柱内で伸長することができないために受精が阻害されているような組合せの場合には、それぞれの植物から無菌的に胚珠と花粉を取り出して、試験管内で受精させそのまま培養して雑種植物を得ることが可能な例も知られている。

このような胚培養関連の技術を利用して作出された作物の中には既に市販されているものもある。ハクランは30年位前に、ハクサイとカンラン（キャベツ）の組合せで胚培養を行って作出された雑種である。その後品種化の努力が営々として続けられた結果5年程前より本格的な新野菜として登場してきたものである。一方、千宝菜はコマツナとキャベツの雑種で、3～4年で品種化してきた例として有名である。この他にもアブラナ科作物の中では種々の種間雑種や属間雑種が作出され、新野菜の作出や有用遺伝子の導入などが進められている。

3.1.5 葯(やく)・花粉培養

植物の場合には雄性生殖細胞である花粉（通常は未成熟の花粉を使う場合が多い）から適当な培養条件により植物体を再生させることが可能である。花粉は減数分裂を経て形成されているので、花粉由来の植物は通常の植物の半分の染色体しか持っていない。そのため半数体植物と呼ばれ、劣性遺伝子も表現型として現われるため劣性形質の選抜にも好適である。またコルヒチンなどの薬剤を使えば、通常の染色体数（二倍体）に戻すことができ、種子も採れるようになる。この倍化した二倍体植物は同一遺伝子組成を持っているので後代で分離することがなく、常に同じ形質を持つ子孫を維持することができる。これは純系植物とも呼ばれ、遺伝形質の固定した植物となっている。従来の育種法では遺伝形質の固定のために7～8回の交配が必要で長期間を要していたが、花粉由来の植物を利用すれば1回で固定できるので、大幅な時間短縮が可能となった。品種を作るためには固定は必須の過程であり、F₁種子（一代雑種）を採種する場合にも両親の形質は固定している必要がある。このように花粉由来の植物は育種にとって大幅なメリットであり、半数体育種法と呼ばれ数多くの育種の現場で採用されている。この技術も培養する雄性器官によって、葯培養（花粉の詰った袋を葯という）と花粉培養に分けられる。葯培養は比較的早い時期（1964年）に確立された技術で、現在では100種を超える植物で成功している。花粉

培養の方は技術的にはまだ難しく、タバコやナタネなどの一部の植物でしか成功していない。従って育種には蒔培養がよく使われており、我が国でもイネの育種に実用的に組込まれている。特に中国では盛んに利用されていて、イネ、トウモロコシ、ナスなどの品種が育成されている。

3.2 細胞融合

種の異なる植物から、有用な遺伝子を導入したいときに、胚培養などの方法によっても雑種植物が得られない場合には細胞融合が有力な手段となる。細胞融合を行うためには2種類の植物からプロトプラストを調製し、必要な前処理を施した後に両者をほぼ同じ割合で混合し融合処理を行う。融合処理は二つの方法があり、一つはポリエチレングリコール(PEG)やデキストランのような水溶性高分子物質で処理する方法、もう一つは電気的な処理によるものがある。薬剤で処理すると細胞同志が凝集し、同時に細胞膜の性質が一次的に変化することによって融合が起こる。電気融合では電極間に混合した2種の細胞を置き、高周波の電気を流すと細胞同志が付着して電極に対し直角に並んでくるので、その後で直流のパルス数を数回与えると細胞が融合する。いずれの方法でも余り強い処理を加えると細胞に損傷を与えるので、融合率が1~10%程度になるように処理を行う。また、融合は細胞間でランダムに起こるため、処理後には目的とする雑種細胞の他に、2種の同種融合細胞と融合していない多数の両親の細胞が存在している。これらの細胞の中から目的とする細胞だけを残すために選抜を行う必要がある。選抜は薬剤処理、培養条件、放射線照射、ピックアップなど両親の特性に応じ適当に組合せて行うことが

できる。培養を経て再生してきた植物が雑種であるか否かの確認は、その形態的な特徴、染色体の解析、アイソザイムの検定、DNAレベルの検定などを行って調べる。

前述の如く、プロトプラストは葉、胚軸、培養細胞などを酵素的に処理して調製するので、いつでも実験が可能である。また、生殖細胞を使わない無性的な雑種作出の方法なので、広い範囲の素材が使える、遺伝子導入の範囲が広がるのが大きな特長である。融合の場合も目的により二つに分けて考えることができる。一つは核にコードされている遺伝子に着目した場合で、通常の融合により作出される体細胞雑種(ハイブリッド)を作出する方法である。もう一つは、核以外の細胞小器官にコードされている遺伝子に着目する場合で、一方の核を除去あるいは不活化した後に融合して、片親の核と両親の細胞質を持った細胞質雑種(サイブリッド)を作出する方法である。

3.2.1 体細胞雑種

体細胞雑種作出の歴史は比較的新しく、1972年にタバコの野生種間で成功したのが最初である。それから20年足らずの間に、タバコやベチュニアなどのナス科植物の中で、種間雑種の作出が相ついで報告され、1978年には有名なポマト(ジャガイモとトマトの雑種)の作出が報告されている。最近ではアブラナ科やイネ科、更にはミカン科やウリ科の植物でも種間雑種や属間雑種が作出されており、細胞融合の技術は特に我が国で大幅に進展してきている。(表7)。

しかし、細胞融合でどのような組合せでも雑種植物が作れるかと言うと、まだそこまでは無理で、現在のところ同一科内の種間、属間、族間での雑種植物の作出例は

表7. 細胞融合により作出された体細胞雑種の例

科 名	種 間 雑 種		属 間 雑 種	
	アメリカチョウセンアサガオ	+その野生種	アメリカチョウセンアサガオ+ベラドンナ	
	タバコ	+その野生種	トマト	+ジャガイモ(ポマト)
ナス科	ベチュニア	+その野生種	タバコ	+ベチュニア
	ジャガイモ	+その野生種	タバコ	+ジャガイモ
			タバコ	+サルメンバナ
			トマト	+ペピーノ
セリ科	ニンジン	+その野生種	ニンジン	+パセリ
	キャベツ	+ハクサイ	シロイロナズナ	+アブラナ
アブラナ科	キャベツ	+コマナツ	キャベツ	+モリカンディア
	キャベツ	+カブ	キャベツ	+シロガラシ
ミカン科			オレング	+カラタチ(オレタチ)
ウリ科			メロン	+カボチャ
イネ科	イネ	+その野生種	イネ	+ヒネ(ヒネ)

あるが、科が異なった植物間での成功例はない。このような遠縁間の組合せでも細胞同志を融合させることは可能で、しかもカルスまで成長できる場合もあり、イネとダイズの雑種カルスの作出が報告されているが、植物体は得られていない。更に言えば、たとえ雑種植物が得られても稔性がなければ育種素材として使うことができない、前出のポマトも稔性がいないために有効に利用されるまでには至っていない。

この様に体細胞雑種を育種に利用して行くためには、各ステップごとにバリアーが存在している。しかし、最近ではこのような障壁を取り除くための試みも行われており、片方の細胞の染色体の一部だけを導入する融合法が検討されている。この方法は通常の全部の染色体を導入する対称融合に対し、非対称融合（または部分融合）と呼ばれている。片方の細胞の染色体の一部を取り除くために、エックス線やガンマー線などの放射線で細胞を照射した後に融合する方法がとられている。この方法でパセリの染色体を一本だけニンジンに導入した例やハクサイやカブの染色体の一部をキャベツに導入した例などが報告されている。将来的には、染色体を健全なままで細胞から取り出して、目的とする染色体だけを細胞に導入するような染色体工学の手法が開発されて行くものと期待されている。

3.2.2 細胞質雑種

植物細胞には葉緑体とミトコンドリアに光合成や呼吸に関連した遺伝情報が存在することが知られている。通常の交配では、このような細胞質遺伝子は母性遺伝するため、その性質を変えることができない。また特定の系統に細胞質遺伝子を導入するためには、戻し交配を7～8回繰返して核置換をする必要があり長期間を要する。このように細胞質遺伝形質の育種にはいくつかの制約があったが、融合により細胞質雑種を作出することができるようになり解決の見通しが出てきている。

細胞質遺伝子に着目した場合、核遺伝子は unnecessary になるため、除去したり不活化したりする必要がある。核を除去するためには、核と細胞質との比重差を利用して、40,000 回転位の超遠心分離により脱核した後の細胞（サイトプラストと呼ぶ）を融合に用いる。また核遺伝子の不活化には放射線の照射が有効である。照射線量は植物の種類によって差はあるが 40～80 KR 位が必要である。培養により得られた細胞質雑種は片親の染色体と両親の細胞質を持っているが、これまでの実験結果ではミトコンドリアは両者の間で組換えが起こり、葉緑体はどちらか一方の親由来だけになることが知られている。

この方法を用いて別々の個体で見つかった除草剤耐性（葉緑体にコード）と雄性不稔性（ミトコンドリアにコード）とを同一個体に集積できた例が報告されている。特に雄性不稔性は F_1 種子の採種に有効なため重要な農業形質で、融合により短時間で目的の系統を不稔化できる

ようになってきたために、数多くの報告が目立つようになった。タバコやナタネでの報告につづいて、我が国での研究成果が増加しており、ニンジンやイネでも雄性不稔が導入できた結果が報告されている。細胞質雑種は通常雌性稔性は高いので育種への応用の期待が大きく、実用品種の育成も間近いものと思われる。

3.3 遺伝子操作

細胞融合では種の壁を越えて遺伝子を導入することが可能であるが、雑種植物を得るには組合せ可能な範囲に自ずと限界があること、また雑種植物が作出できても稔性がなかったり、目的遺伝子だけを残すために多大の労力と時間を要するなどの問題点も残されている。有用遺伝子だけを植物に導入することができれば、育種法としては理想的な方法となる。そこで微生物に端を発した組換え DNA の技術が植物の分野にも導入され、欧米をはじめ我が国でも活発に研究が進められている。

遺伝子は 4 種類のデオキシリボ核酸 (DNA) の配列の仕方によって決定されており、これは細菌から高等動物まで基本的には同じ仕組みである。ウイルスの中にはリボ核酸 (RNA) によって遺伝情報を伝えているものもある。形態、花色、味、収量、病虫害抵抗性など作物のすべての特性は遺伝子によって決定されており、品種改良は DNA の配列を改変して行くことに他ならない。

組換え DNA の技術は種々の生物から切り出した有用遺伝子を含む DNA 断片や mRNA から作製した cDNA などベクターに組込んで、植物細胞に導入し培養と選抜により目的遺伝子が発現している植物体を得ることで、遺伝的にその性質を変えることを可能にしている。植物に遺伝子を導入する一般的な方法はアグロバクテリウムと呼ばれる土壌細菌の持っている Ti プラスミドを利用して行われる。この菌は自然界で Ti プラスミドの中の T-DNA と呼ばれる部分を植物の染色体に組み込み、クラウンゴールと言われる腫瘍を形成すると共に、本菌だけが利用できるオパインと総称される特殊なアミノ酸を植物に生産させて増殖している。この実に巧妙な自然界のからくりに着目し、T-DNA の中に有用遺伝子を入

表 8. 外来遺伝子が導入された主な作物

ナス科	タバコ、ベチュニア、トマト、ジャガイモ
セリ科	ニンジン、セロリ
マメ科	アルファルファ、エンドウ、白クローバー、ダイズ
ウリ科	キュウリ
キク科	レタス、ヒマワリ
アブラナ科	ナタネ、キャベツ、白イヌナズナ
イネ科	イネ、トウモロコシ
その他	アスパラガス、テンサイ、ワタ、ポプラ、クルミ

為的に組込んでおけば、植物にその遺伝子が導入されて植物の性質を変えることができると考えて実験が繰り返された。最初に用いられた遺伝子は大腸菌由来のカナマイシン耐性遺伝子である。そして1983年に始めてカナマイシン耐性遺伝子をベツユニアに導入し発現させて耐性の植物を作出することに成功した。

その後短期間の中に植物での遺伝子操作の技術は大幅に進展し、今ではナス科植物を始めとして20種以上の植物で外来遺伝子の導入に成功したことが報告されている(表8)。アグロバクテリウムが感染しないイネ科などの植物では、プロトプラストを用い電気処理(エレクトロポレーション)などによって直接ベクタープラスミドを細胞に導入し、形質転換植物を作出することに成功している。特にイネではプロトプラスト培養の効率が高いことから、再現性よく高頻度に外来遺伝子の発現ができるようになっており、ハイグロマイシン耐性遺伝子やβ-グルキュロニダーゼ(GUS)の遺伝子が導入され後代への伝達もされていることが報告されている。

遺伝子操作も実用段階を迎えており、農業的に重要な形質を決めているいくつかの遺伝子が導入され、アメリカを中心として野外試験が実施されている。現在のところその主な遺伝子は、種々の除草剤に対する耐性遺伝子、BT(バチルスチューリンゲンシスの殺虫性タンパク質)やCPTI(ササゲのトリプシンインヒビター)などの耐虫性遺伝子、各種ウイルスの外被タンパク質遺伝子(ウイルス耐性)などで、タバコ、トマト、ジャガイモなどに導入されて安全性評価のための詳細な試験が行われている。その他、種々のストレスにより誘導されるタンパク質、植物の生育段階に応じ器官特異的に発現するタンパク質、光などにより誘導されるタンパク質などの制御の機構と遺伝子発現の関係などが解明されてきており、徐々に分子レベルでの植物の機能解析が進んできている。今後は品質(色、味、成分など)や収量などに関

係する二次代謝産物の生合成遺伝子、光合成関連遺伝子、エネルギー代謝関連遺伝子、チッ素代謝関連遺伝子などの解明が待たれるところであるが、これらの生体の主要な機能には複数の遺伝子が関与しており技術的にも困難な点が多く、植物生理や生化学分野の研究と歩調を合わせて行くことが重要と思われる。

遺伝子操作法では植物由来の遺伝子だけでなく、ウイルス、バクテリア、動物などあらゆる生物の遺伝子が利用でき、遺伝子源が格段に広がることが期待できる。また目的遺伝子だけが導入できるため、以後の育種作業は比較的楽で、今後ますます育種技術としての位置付けが重要になってくるものと思われる。

4. おわりに

世界と我が国の食糧及び農業事情について概要を述べ、バイオテクノロジーを用いた新しい育種技術について現状と可能性について説明してきた。細胞融合や遺伝子操作などの技術が育種法として定着するまでには、まだまだ解明されなければならない課題も数多く残されているが、画期的な手法でもあり、今後の食糧問題を克服するための有力な手段として熱い期待がかけられている。しかし過大に期待することなく、過度に拒絶することなく、技術内容を正しく理解し、判断する力を養って行くことが、身近な食糧に関する技術であるだけに特に重要であると思う。

参考文献

- 1) (財)矢野恒太記念会編:“世界国勢図会”1988~1989年版, 国勢社.
- 2) 農林水産省編:農業白書 昭和62年度, 農林統計協会.
- 3) Vasil, I.K. ed.: “Cell Culture and Somatic Cell Genetics of Plants” (1984), Academic Press.
- 4) Shepard, J.F., et al.: Science **208**, 17~24 (1980).
- 5) Evans, D.A.: Trend in Genetics **5**, 46~50 (1989).
- 6) Ratner, M.: Biotechnology **7**, 337~341 (1989).