

形質転換法によるウイルス抵抗性植物の作出

誌名	農業技術
ISSN	03888479
著者	宇垣, 正志
巻/号	46巻4号
掲載ページ	p. 153-159
発行年月	1991年4月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



形質転換法によるウイルス抵抗性植物の作出

—現状と展望—

宇垣 正志

1. はじめに

ウイルス病は、農作物の重要な病害である。ウイルス病の防除は現在、①感染植物、媒介昆虫などウイルスの感染源を除く、②植物の持つウイルス抵抗性遺伝子をかけ合せによる従来の育種法を用いて他の植物に導入する、③弱毒ウイルスの強毒ウイルスに対する干渉作用を利用する、などの方法で行われている。しかし、これらの方法の問題点として、多くの時間や労力を必要とする、すべてのウイルスに適用することが難しい、などが挙げられている。

そこで近年、ウイルス病を防除するまったく新しい方法の研究が始められた。それは遺伝子組換えの手法を用い、人工的にデザインしたウイルス抵抗性遺伝子を植物のDNAに組みこんで植物にウイルス抵抗性を与えるというものである。このようにして作られたウイルス抵抗性植物には次のような利点がある。①植物自身が抵抗性を持っているので、薬剤散布などの労力がいらず、環境を汚染することもない。②すでに完成している優良品種にウイルス抵抗性遺伝子だけをあとから付加するので、従来の育種にかかった時間と労力がいらず、優良形質を失うこともない。③原理的にはすべてのウイルスの防除に応用できる。

このような研究の結果、1986年にタバコモザイクウイルス(TMV)抵抗性の組換えタバコが報告された¹⁾のを皮切りに、現在までに10種類以上のウイルス病に対して抵抗性組換え植物が報告され、そのいくつかは野外試験を終えて実用段階に入ろうとしている。今やこの技術は新しい防除法としての地位を築きつつある。

そこで本稿では、ウイルス抵抗性組換え植物の研究の現状と将来の展望を、われわれの研究グループによって行われた研究を含めて紹介したい。なお、さらに詳しくは最近の総説^{2, 3)}を見ていただきたい。

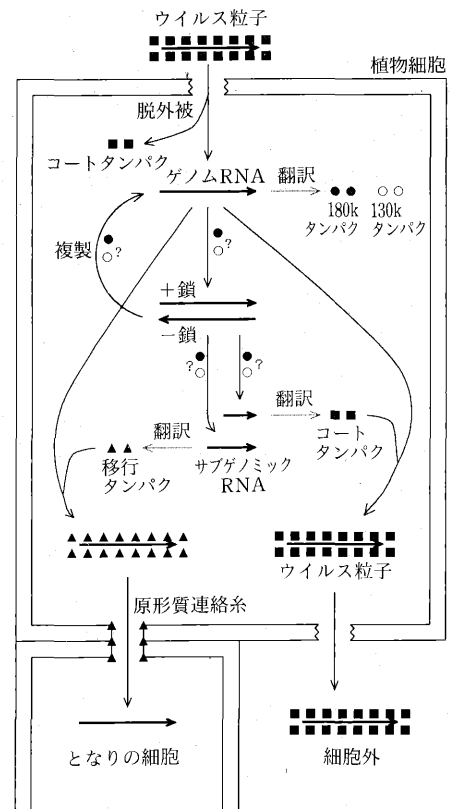
2. ウイルスはどのようにして増えるか

ウイルス抵抗性植物を遺伝子組換えによって作る方

Masashi UGAKI: Plant Gene Engineering for Virus Resistance. 農業技術 46(4), 1991.

法の原理は、①ウイルスがどのようにして植物の中で増え、病気を起こすかを分子のレベルで明らかにし、②それをじゃまするような人工の遺伝子をデザインし、③それを植物の核DNAに組み込んではたらかせることである。従って、はじめに、ウイルスが植物でどのようにして増えるかを簡単にふりかえっておきたい。

第1図に、代表的な植物ウイルスのひとつTMVが増える過程を模式的に示した(なお、これと異なる増えかたをするさまざまなウイルスがある)。TMVのウイルス粒子は、遺伝情報を持つ1本鎖のゲノムRNAと、それをおおうコートタンパクから成る。TMV粒



第1図 TMVが植物の中で増える過程

本文では以下の略語が使われている。

cDNA→相補的DNA DNA→デオキシリボ核酸

kb→キロベース、千塩基 PCR→polymerase chain reaction

RNA→リボ核酸 TMV→タバコモザイクウイルス

子は植物の細胞に入ると、コートタンパクを脱いで裸のゲノムRNAとなり、ゲノムRNAは翻訳されて130K, 180Kの2種類のタンパクを作る。これらのタンパクは、ウイルスを植物細胞の中で大量に複製するはたらきをする。すなわち、これらは宿主植物のタンパクと協同して、ゲノムRNA(プラス鎖)からその相補的なRNA(マイナス鎖)を合成し、そのマイナス鎖から再びプラス鎖を合成し、これをくりかえしてゲノムRNAのコピー類をどんどん増やす。

これらのタンパクはさらに、マイナス鎖からサブゲノミックRNAという2種類の短いRNAを合成する。これらのサブゲノミックRNAは、翻訳されて移行タンパクとコートタンパクを作る。移行タンパクは、宿主植物のタンパクと協同し、原形質連絡糸を通してゲノムRNAを感染細胞からとなりの細胞へ、さらにとりなりの細胞へと移行させる。その結果、ウイルスはひとつの葉の全体に広がる。コートタンパクは、ゲノムRNAをおおってウイルス粒子を形成し、ウイルスRNAを保護する。その結果、ウイルスは細胞外に出て、維管束組織を通り別の葉へ移行することが可能になり、ついには植物の全身へ広がっていく。

3. ウイルス抵抗性組換え植物の作り方

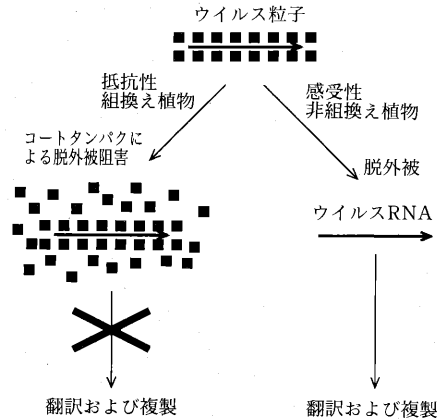
上に述べたウイルス増殖の過程は、決してばらばらに進むのではなく、互いに関連しながら、決められた時期に決められた速さで進むよう巧妙に調節されている。そこで、これらの過程のいずれかを人為的に阻害あるいはかく乱することにより、ウイルスの正常な増殖を妨げ、ウイルス抵抗性の植物を作れると考えられる。以下、今までに報告されたウイルス抵抗性組換え植物作出の戦略を紹介する。

3-1 コートタンパク法

(1) 原理

ウイルス粒子は、植物細胞にはいるとコートタンパクを脱ぎ(脱外被)、ゲノムRNAを露出させることによって、ゲノムRNAを翻訳、複製させる。そこで、ウイルスのコートタンパク遺伝子を植物核DNAに組み込み、植物細胞に前もってコートタンパクをたくさん作らせておくと、あとから入ったウイルス粒子はうまくコートを手放すことができず、複製が妨げられ、植物はウイルス抵抗性となる(第2図)。

なお、コートタンパクが植物にウイルス抵抗性を与える機構は、これひとつではないらしいが、それらはまだ不明である。



第2図 コートタンパク法によるウイルス抵抗性組換え植物とウイルス感受性非組換え植物の比較

(2) 実際の例

1986年、Beachyらのグループは、TMVのコートタンパクをタバコに作らせると、タバコにTMVを接種しても病徴が現れなくなったり、遅くなることを報告した¹⁾。これは、遺伝子工学によって作られた最初の病害抵抗性植物であり、新しい時代を拓くものであった。

われわれも同様に、TMVのコートタンパク遺伝子をトマトに入れることにより、TMV抵抗性の組換えトマトを作った²⁾。その手順を簡単に紹介する。

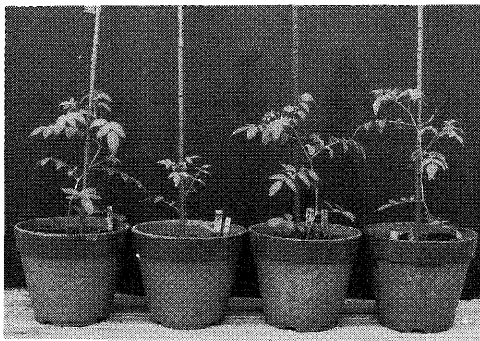
はじめにTMVのゲノムRNAからcDNAを合成し、そこからコートタンパク遺伝子を単離した。次に、植物細胞の中で遺伝子がはたらくのに必要な配列(遺伝子DNAからメッセンジャーRNAへの転写が始まるのに必要なプロモータ配列と、転写が終わるのに必要なターミネータ配列)をこの遺伝子につないだ。次に、土壌細菌アグロバクテリウムのTiプラスミドベクターを用いて、このコートタンパク遺伝子をトマトの核

第1表 TMVコートタンパク遺伝子を導入した組換えトマトの小葉切片に接種したTMVの増殖

トマト個体	導入された外来遺伝子	小葉に接種したTMVの増殖量*
8805 n	なし	100
8804-76 b	カナマイシン耐性(NPTII)遺伝子	169
8804-102	NPTII 遺伝子および コートタンパク遺伝子	16.9
8804-116 a		48.1
8804-133		51.9
8804-134		13.0
8804-141		11.7
8804-145		15.6
8804-150		2.6

* 小葉の抽出液を検定植物に接種して観察された病斑の数を相対的に表したもの。

DNA に組み込んで、組換え植物を得た。そのウイルス抵抗性を検定するため、組換え植物およびコントロールの非組換え植物から小葉を切りとり、TMV を接種して一定期間培養し、葉片中で増えた TMV を定量した(第1表)。その結果、コートタンパク遺伝子を入れた組換え植物の小葉中では、非組換え植物に比べ TMV が増えにくいことがわかった。これらの組換え植物のうち、強い抵抗性を示したものに TMV を接種したところ、病徴が現れなかった(第3図)。現在、これらの組換えトマトが野外でも抵抗性を示すかを調べる野外試験が計画されている。



第3図 TMV コートタンパクを入れた組換えトマトのウイルス抵抗性

- A：非組換え体。
- B：非組換え体に TMV を接種したもの。病徴が現れている。
- C：コートタンパクを作る組換え体に TMV を接種したもの。病徴が現れない。
- D：コートタンパクを作る組換え体。

第2表 コートタンパク遺伝子の導入によるウイルス抵抗性植物の例(文献³⁾に追加)

ウイルス群	ウイルス	植物
アルファルファモザイクウイルス群	アルファルファモザイクウイルス	タバコ、トマト、アルファルファ
イラルウイルス群	tobacco streak virus	タバコ
カルラウイルス群	ジャガイモ S ウイルス ¹⁶⁾	タバコ
ククモウイルス群	キュウリモザイクウイルス	タバコ
タバモウイルス群	タバコモザイクウイルス	タバコ、トマト
テニューウイルス群	イネ縞葉枯ウイルス ^{17,18)}	イネ
トブラウイルス群	タバコ茎えそウイルス	タバコ
ポテックスウイルス群	ジャガイモ X ウイルス	タバコ、ジャガイモ
ポティウイルス群	ジャガイモ Y ウイルス	ジャガイモ
	ダイズモザイクウイルス	タバコ*
ルテオウイルス群	ジャガイモ葉巻ウイルス ¹⁹⁾	ジャガイモ

* タバコはダイズモザイクウイルスの宿主ではないが、この組換え植物は、ダイズモザイクウイルスに近縁の tobacco etch virus およびジャガイモ Y ウイルスに抵抗性を示した。

コートタンパクによって植物をウイルス抵抗性にするこの戦略は、他の多くのウイルスや植物でも成功している(第2表)。これらのいくつかは、すでに野外試験が行われ、アメリカでは TMV 抵抗性のトマト、アルファルファモザイクウイルス抵抗性のタバコ、ジャガイモ X ウイルスとジャガイモ Y ウイルス抵抗性のジャガイモが、野外でも室内と同様の抵抗性を示した。またこれら組換え植物の収量、品質などは非組換え植物と差がなかった。

この方法によるウイルス抵抗性は、あまり強いものではなく、高い濃度のウイルスを人為的に接種すると病徴をあらわしてしまふ。また、ウイルス粒子の代わりに、コートタンパクのない裸のウイルス RNA を接種すると、ウイルスの増殖を許してしまうことが多い。この方法は、もっとも多くの成功例が報告されているが、それらはいずれも、プラスセンスの1本鎖 RNA をゲノムとするウイルスを標的としており、他の複製様式を持つウイルスにもこの戦略が適用できるか、興味深い。

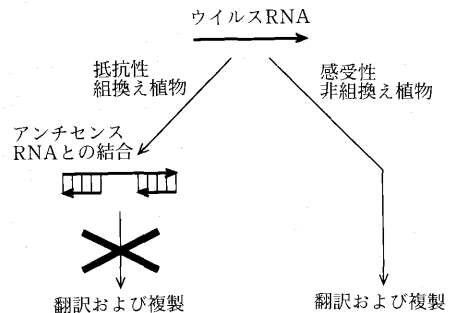
3-2 アンチセンス RNA 法

(1) 原理

アンチセンス RNA 法は、1984年ごろから使われるようになった遺伝子工学のテクニックのひとつで、特定の遺伝子のはたらきを人為的に抑える方法である⁵⁾。

アンチセンス RNA とは、遺伝子のメッセンジャー RNA と相補的な(すなわち A に対して U, C に対して G というように対を作る)配列を持った RNA のことであり、メッセンジャー RNA とくっついてその正常なはたらきを妨げる性質を持つ。

そこで、特定の核遺伝子のアンチセンス RNA を細胞に作らせ、それによって遺伝子のメッセン



第4図 アンチセンス RNA 法によるウイルス抵抗性組換え植物とウイルス感受性の非組換え植物の比較

ジャー RNA を不活化し、その遺伝子の発現を抑えることができる。たとえば、花の色の合成に関わるカルコン合成酵素遺伝子のアンチセンス RNA をペチュニアに作らせたところ、花の色が消え、白い花となったことが報告されている。

同様に、ウイルス RNA に対するアンチセンス RNA を植物に作らせると、アンチセンス RNA がウイルス RNA と結合してその正常なはたらきを妨げるため、植物をウイルス抵抗性にする事ができる(第4図)。

(2) 実際の例

TMV のゲノム RNA の 3' 端に相補的なアンチセンス RNA をタバコに作らせたところ、タバコは TMV に対し抵抗性となった⁶⁾。同様の結果は、キュウリモザイクウイルスおよびジャガイモ X ウイルスでも報告された。これらの抵抗性の機構は、アンチセンス RNA がゲノム RNA (プラス鎖) の 3' 端にあるマイナス鎖の合成酵素の結合部位に結合し、マイナス鎖の合成をじゃましたことと考えられる。ただし、これらの植物の抵抗性の強さは、コートタンパクを作らせた組換え植物に比べ、ずっと弱かった。

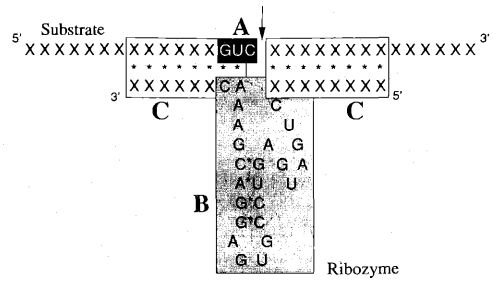
また、キュウリモザイクウイルスの移行タンパク遺伝子のアンチセンス RNA をタバコに作らせたところ、タバコはこのウイルスに対して抵抗性となった^{7,8)}。この抵抗性の機構は、アンチセンス RNA が移行タンパク遺伝子 RNA の翻訳を阻害し、ウイルス RNA の細胞から細胞への移行を妨げたことと考えられる。

この方法によるウイルス抵抗性は、あまり強いものは報告されていない。これは、アンチセンス RNA が核遺伝子のメッセンジャー RNA を効率的に不活性化する場合と異なり、不活化を免れたウイルス RNA がどんどん複製してしまうことが一因であろう。また、核遺伝子のメッセンジャー RNA が、アンチセンス RNA と同じく核内で合成され細胞質に移行するのに対し、ウイルス RNA は始めから細胞質で合成されるため、アンチセンス RNA と出会う機会が少ないのであろう。したがって、この方法を用いる際には、ターゲットとするウイルス RNA の種類や、不活化する RNA の部位を工夫する、アンチセンス RNA の生産量上げる、などが必要である。

3-3 リボザイム法

(1) 原理

1988年に開発されたリボザイム法は、アンチセンス RNA 法と同じように特定の遺伝子のはたらきを抑える技術であるが、アンチセンス RNA より強力である



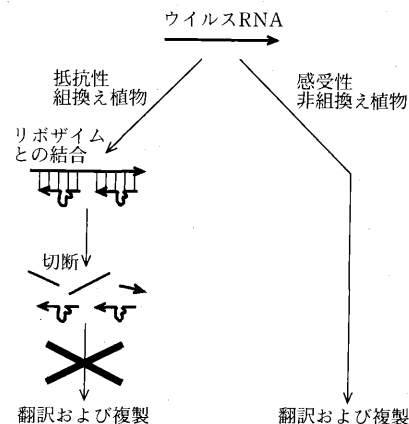
第5図 特定の RNA を切断するリボザイムのデザイン
 A 切られる標的 RNA に必要な GUC 配列。矢印は切断箇所
 B リボザイム活性を持つ領域
 C リボザイム RNA が標的 RNA と結合するために必要な相補的な 2 本鎖の部分

といわれる。

リボザイムとは1982年に初めて発見された「酵素活性を持つ RNA」の総称である。地球上に初めて現れた原始生命は RNA であった。それら原始の RNA は、自らを複製する酵素活性を持っていた。リボザイムはそれら原始 RNA の名残(分子化石)と考えられ、いくつかの生物で見つかっている。

植物病原体でも、ウイロイド(ウイルスのように複製し、病徴を現すが、タンパクをコードしていない RNA) やサテライト RNA (ウイルスに依存して複製する寄生的な RNA) にはこのリボザイム配列を持つものがあり、たくさんのユニットがつながった複製中間体から、リボザイム配列のはたらきによる自己切断で個々のユニットが切り出される。

1988年、Gerlach ら⁹⁾ は、タバコ輪点ウイルスのサテライト RNA の持つリボザイム配列をもとに、特定の RNA を



第6図 リボザイム法によるウイルス抵抗性組換え植物とウイルス感受性の非組換え植物の比較

の RNA を選択的に切断する人工のリボザイムをデザインした(第5図)。このリボザイムは、GUC という配列を含む RNA の特定の配列に結合し、そこで RNA を切

断して完全に不活化する。リボザイムは、アンチセンスRNAと違い、同じ分子が繰り返したくさんのメッセンジャーRNAを不活化できるため、ずっと効率的に特定の遺伝子の発現を抑えることができる。

そこで、ウイルスRNAと結合し、それを切断するようなりボザイムをデザインし、それを植物に作らせることにより、ウイルスRNAを不活化し、植物をウイルス抵抗性にすることができる(第6図)。

(2) 実際の例

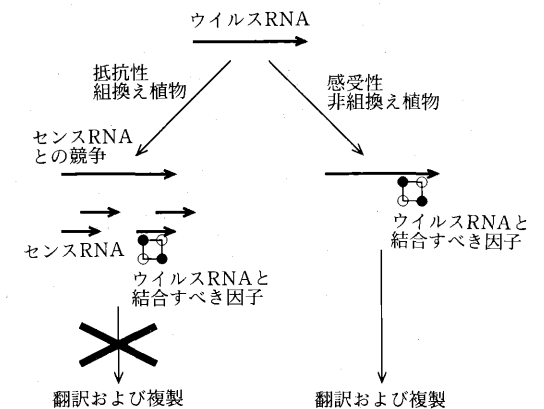
1990年、Gerlachらは、TMVのRNAに結合してそれを数カ所で切断するようなりボザイムをデザインし、タバコに作らせたところ、そのタバコはTMVに抵抗性となり、その強さは、コントロールとして用いたアンチセンスRNAより強かったことを報告した¹⁰⁾。植物ウイルスでの報告は、まだこれ1つのみであるが、他のウイルスでは、ヒト免疫不全ウイルス(エイズウイルス)のgag遺伝子を不活化するリボザイムをヒト細胞に作らせたところ、ウイルスの複製効率が低下したという。

この方法は、まだ報告例は少ないものの、有望な戦略といえよう。

3-4 センスRNA法

(1) 原理

センスRNAとは、本来のウイルスRNAの一部と同じ配列を持ったRNAのことである。このようなセンスRNAは、細胞の中でウイルスRNAと競合してウイルスRNAが結合すべき分子と結合してしまうため、ウイルスRNAの正常なはたらきを妨げる(第7図)。また、センスRNAが不完全なウイルスタンパクを作る場合もありうる。その場合には、その不完全なタン



第7図 センスRNA法によるウイルス抵抗性組換え植物とウイルス感受性の非組換え植物の比較

パクが正常なタンパクと競合してその機能をじゃまする。その結果、植物はウイルス抵抗性となる。

(2) 実際の例

1990年、Zaitlinらのグループは、TMVの複製に関与する180kタンパク遺伝子の3'端の約1.5kbに相当するセンスRNAをタバコに作らせたところ、TMVに抵抗性になったことを報告した¹¹⁾。この抵抗性はきわめて強力なもので、高濃度のウイルスの接種によっても破られなかった。180kタンパクのこの部分には、180kタンパクの活性に必須であると思われる Gly-Asp-Asp というアミノ酸配列があることから、このセンスRNAはゲノムRNAの複製を阻害していると考えられるが、しかし、どのような機構によって抵抗性になったのかはまだ不明である。

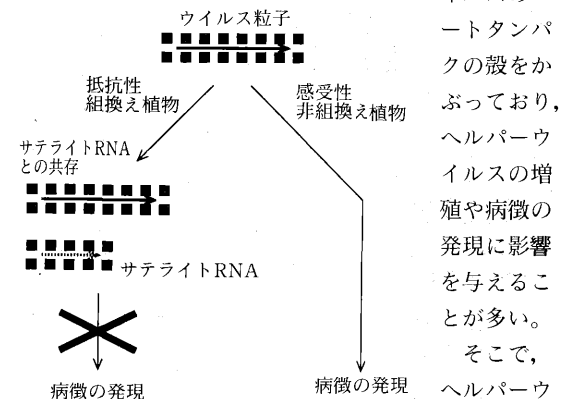
この方法によるウイルス抵抗性は、今までに報告されたウイルス抵抗性の中でもっとも強い。しかし、センスRNAと防除されるウイルスRNAとのあいだには非常に高い特異性があり、TMVのU1系のセンスRNAを作る植物は、U1系に強い抵抗性を示したものの、おなじTMVのU2系やトマト系には、抵抗性を示さなかった。

この方法は、まだ報告例が1つしかないものの、高い抵抗性が得られるという点で注目を集めている。

3-5 サテライトRNA法

(1) 原理

サテライトRNAとは、自分では複製することができず、他のウイルス(ヘルパーウイルスという)の助けを借りて複製する寄生的なRNAであり、いくつかのウイルスで見つかっている。多くの場合、ヘルパーウ



第8図 サテライトRNA法によるウイルス抵抗性組換え植物とウイルス感受性の非組換え植物の比較

イルスのコートタンパクの殻をかぶっており、ヘルパーウイルスの増殖や病徴の発現に影響を与えることが多い。そこで、ヘルパーウイルスの増殖を抑える性質を持つ

たサテライト RNA を植物に作らせておくと、ヘルパーウイルスが感染してもその病徴が軽減され、植物は抵抗性となる(第8図)。

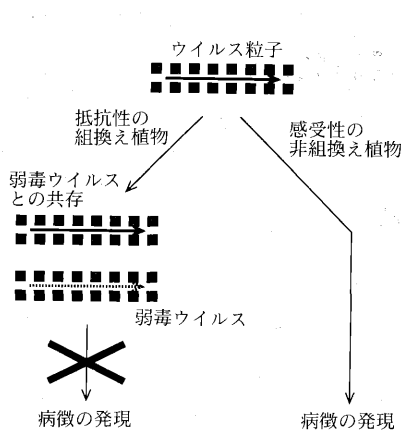
(2) 実際の例

1987年, Harrison らは, キュウリモザイクウイルスの病徴を軽減するサテライト RNA をタバコに作らせた。このサテライト RNA はそのままでは増えないが、ヘルパーであるキュウリモザイクウイルスを感染させたところ、増殖して期待通りヘルパーウイルスの病徴を抑えた¹²⁾。同様に Garlach らはタバコ輪点ウイルスのサテライト RNA をタバコに作らせた後、タバコ輪点ウイルスを感染させた結果、病徴が抑えられた¹³⁾。

この方法では、自然界に存在するサテライト RNA をそのまま使うわけであるから、期待されるとおりの強さの抵抗性が得られる。ただし、この戦略は、サテライト RNA の見いだされているウイルスにしか応用できない。また、植物で作られたサテライト RNA は、ヘルパーウイルスとともに、ほかの植物に移ってしまう。これは、この戦略によるウイルス抵抗性植物を実用化するとき、大きな問題点となる。例えば、キュウリモザイクウイルスのサテライト RNA のひとつは、多くの植物では病徴を抑えるが、トマトでは逆に病徴を激化させ、枯死させてしまう。すなわち、サテライト RNA はそれを生産している組換え植物を病害から守るであろうが、他の無関係な植物に、さらに激しい病害をひきおこす可能性がある。

3-6 弱毒ウイルス法

(1) 原理



第9図 弱毒ウイルス法によるウイルス抵抗性組換え植物とウイルス感受性の非組換え植物の比較

植物に近縁のウイルスが2種類感染すると、後から感染したウイルスは良く増えないという現象があり、干渉作用と呼ばれる。一方ウイルスの中には、植物に感染

し増殖するものの、病徴を出すほどは増えない弱毒株という変異株が知られている。そこで、弱毒株をあらかじめ植物に接種することにより、野生株が感染してもその複製と病徴の発現を抑えることができる。このような弱毒ウイルスは、いくつかのウイルスで実用化されている。

そこで、植物に弱毒ウイルス RNA そのものを作らせることにより、ウイルス抵抗性の植物を作ることができる(第9図)。

(2) 実際の例

1988年, Yamaya らは, TMV トマト系の弱毒株 L₁₁A のゲノム RNA そのものをタバコに作らせた。するとタバコは弱毒ウイルスを人為的に接種せずとも、はじめから弱毒ウイルスに感染した状態になった。これに野生株を接種したところ、期待されるような干渉作用が見られ、病徴は全く現れなかった¹⁴⁾。

この方法では自然界に存在する弱毒ウイルスをそのまま使うわけであるから、期待される強さの抵抗性が得られる。

この方法は今までに弱毒ウイルスが見いだされているウイルスにしか適用できないが、ウイルスの複製に関与する5'端および3'端に人為的に欠失を作るなどにより、人工的に弱毒ウイルスを作れる可能性もある。ただし、弱毒ウイルスとはいえ、ウイルスが増えているわけであるから、植物の生育には悪い影響がありうる。また、弱毒ウイルスとはいえ、周囲に伝搬しうる「生きた」ウイルスを生産することは問題となりうる。弱毒株が強毒株に復帰突然変異する可能性もあるし、またある植物には弱毒であっても、他の植物には病徴をあらわす例があるからである。

以上、6つの戦略を簡単にふりかえったが、これらを要約すると、アンチセンス RNA 法は効果が低いため、またサテライト RNA 法と弱毒ウイルス法は周囲への影響が懸念されるため、その応用範囲は狭いと考えられる。

コートタンパク法は、抵抗性の程度は余り高くないものの、多くの成功例があり、確実な方法であるといえる。リボザイム法とセンス RNA 法は、どのウイルス遺伝子のどの部分を標的とするかによって、きわめて強力な抵抗性を得られる可能性があり、今後ますます盛んに研究されていくものと思われる。

ウイルスと植物の分子生物学はめざましい速さで進んでおり、将来、さらに効果的な戦略が現れることが期待される。

4. 終わりに

本稿では触れなかったが、これらの戦略を実行に移すときに使われる分子生物学の技術の進歩も、めざましい。たとえば、ウイルス遺伝子を操作するためにウイルス RNA から cDNA を合成するとき、および遺伝子を切ったりつないだりするときには、それぞれ、RNA-PCR、組換え PCR と呼ばれる方法がきわめて迅速である。遺伝子を大量に発現したいときには、強いプロモータを選ぶことのほかに、エンハンサ、イントロンなどを付け加えることが有効である。また、われわれが最近開発したジェミニウイルスベクターを使えば、外来遺伝子のコピー数を細胞あたり数百コピーに上げることができ、従来の形質転換法に比べてはるかに大量の外来遺伝子を発現できる¹⁵⁾。

遺伝子組換えを使った植物育種の歴史はまだ始まったばかりであるが、諸外国では早くも実用化の段階に入った組換え植物も多い。われわれはそれらのすばらしい成果ばかりについて目を奪われがちであるが、それらを生んだものは、生命の仕組みを一つひとつ解きあかしていく地味な基礎研究であったことを忘れてはならないだろう。(農業生物資源研究所分子育種部主研)

引用文献

- 1) Powell-Abel, P.A. et al. (1986) Science 232, 738-743.

- 2) Buck, K.W. (1991) In "Plant Genetic Engineering", Grierson, D. ed., p. 136-178, Blackie & Son, Glasgow, UK.
 3) Beachy, R.N. et al. (1990) Ann. Rev. Phytopathol. 28, 451-474.
 4) Motoyoshi, F. et al. (1988) Symposium II, 2-2, 5th Intntl. Congress. Plant Pathol., Kyoto, Japan.
 5) van der Krol, A.R. et al. (1988) Biotechniques 6, 958-974.
 6) Powell, P.A. et al. (1989) Proc. Natl. Acad. Sci. USA 86, 6949-6952.
 7) 吉田孝子ら (1990) 日本植物病理学報 56, 412.
 8) 早川孝彦ら (1990) 日本植物病理学報 56, 413.
 9) Haseloff, J.P. and Gerlach, W.L. (1988) Nature 334, 585-591.
 10) Gerlach, W.L. et al. (1989) In "Viral Genes and Plant Pathogenesis", Pirone, T.P. and Shaw, J.G. eds, p. 177-186, Springer-Verlag, New York, USA.
 11) Golemboski, D.B. (1990) Proc. Natl. Acad. Sci. USA 87, 6311-6315.
 12) Harrison, B.D. et al. (1987) Nature 328, 799-802.
 13) Gerlach, W.L. et al. (1987) Nature 328, 802-805.
 14) Yamaya, J. et al. (1988) Mol. Gen. Genet. 215, 173-175.
 15) Ugaki et al. (1991) Nucl. Acid. Res. 19: 371-377.
 16) Mackenzie and Tremaine (1990) J. Gen. Virol. 71, 2167-2170.
 17) 早川孝彦ら (1990) 第13回日本分子生物学会講演要旨 p. 296.
 18) 大槻義昭ら (1990) 第13回日本分子生物学会講演要旨 p. 296.
 19) Kawchuk et al. (1990) Mol. Plant Microb. Interact. 3, in press.

農 界 人 事

* 草地区学会 学会賞 名久井忠(北海道農業試験場)／トウモロコシホールクロープサイレージの飼料特性解明と飼料価値向上に関する研究 津川兵衛(神戸大学)／被覆作物クズ群落構造と茎葉生産特性に関する研究 研究奨励賞 澤田 均(静岡大学)／放牧草地におけるチモシーの生態遺伝学的研究

* 雑草学会 業績賞 石嶺行男(琉球大学)／琉球列島におけるサトウキビ畑の雑草植生の実態と強害草の生態・生理学的研究

* 日本植物病理学会 学会賞 浅賀宏一(四国農業試験場)／イネ品種のいもち病に対する圃場抵抗性に関する研究 久能 均(三重大学)／うどんこ病菌感染過程の細胞学的研究 松山宣明(九州大学)／イネいもち病に関する生理・生化学的研究 学術奨励賞 石黒 潔(農業研究センター)／F₁稲いもち病の発生子察技術の研究 岩井 久(鹿児島大学)／ダイズモザイクウイルスに関する研究 高橋義行(日本植物防疫協会研究所)／植物ウイルスの血清学的診断法に関する研究

* 日本応用動物昆虫学会賞 安居院宣昭(国立予防衛生研究所)／昆虫の器官培養による内分泌機構の解明に関する一連の研究 北野日出男(東京学芸大学)／寄生蜂の寄生に対する寄生昆虫の生体防御反応に関する一連の研究

* 日本農薬学会 業績賞(研究) 米山勝美(明治大学)・安西弘行(明治製菓)／病原菌毒素不活化酵素遺伝子導入による植物病害制御に関する研究 中田 昭・橋本 章・井倉勝弥太・勝浦喜代志(日本曹達)／殺菌剤トリフルミゾールの開発 坂田五常・猪飼 隆・平田博明・鈴木宏一(日産化学)／除草剤キサロホップエチルの開発 関口幹夫・高橋 巖・榊井昭夫・小島敏克(日本化薬)／水面浮上性粒状製剤技術の開発 奨励賞 塩月孝博(九州大学)／有機リン剤抵抗性イエバエに対するサリゲニン環状リン酸エステル類の作用機構 津田重典(住友化学)／エーロゾル製剤の物理特性と殺虫効力 吉田 充(農業環境技術研究所)／NMR を利用した殺菌剤の作用機構の解明