

除草剤抵抗性（雑草の抵抗性と遺伝子組換え作物）

松中 昭一

1. 作物における除草剤の選択性と雑草の除草剤抵抗性

除草剤は雑草を枯死させるものであるから、雑草の重要な生化学的作用点を攻撃する。この攻撃方法は除草剤の作用機構とよばれる。昔は効けば良いと言う考えで、好氣的生物のエネルギー獲得機構である酸化的磷酸化を阻害する PCP など使われ、これが大雨の時に流出して湖や浅海で魚貝類に害を与えたこともあったが、現在の除草剤は植物（雑草もそのひとつ）独特の作用点を選び、動物毒性の極めて低いものが活用されている。光合成阻害、植物ホルモン作用攪乱、光の助けを借りた活性酸素生成、必須アミノ酸生合成阻害などが、植物に固有の作用機構として考えられている。

この時点で、動物と植物（雑草）との間の選択性が与えられていると言えよう。現在の主な除草剤の試験動物（マウスやラット）に対する急性経口毒性は LD₅₀ として、5,000 mg/kg 以上というのが多い。天然物の毒性、フグ毒 (0.0085)、ニコチン (24)、カフェイン (180)、それに食塩 (3,000) などの値と比較すると除草剤の低毒性の程度を伺うことができる。

さて、一転して作物と雑草との間の関係を眺める必要がある。最近の除草剤は、「植物独特の作用点を狙っている」と書いたが、それでは「作物も植物ではないか」という考え方が浮上してくる。除草剤によって雑草は枯れてもそれが作物に害を与えてはならない。すなわち、除草剤は作物と雑草との間で選択性を示す必要がある。

ある除草剤が、ある作物に影響無く周囲の雑草だけを枯死させる機構は、その除草剤の選択性機構と呼ばれ、その作物用の除草剤として重要な特性のひとつである。現在では、植物独特の作用点を持ちながら、ある特定作物には効かない選択性除草剤が活躍している。別の言葉でいえば、ある除草剤に本来、抵抗性をもつ植物が作物であるときに、その作物がこれを選択性（的）除草剤として利用できる。

2. 除草剤の選択性機構

雑草には効いて作物には効かないカラクリ（選択性機構）にはどんなものがあるだろうか。大きくわけて次の3種類に分けられる。

(1) 作用する場やタイミングの違い（生態的選択性） PCP 粒剤の例が一番解りやすい。かつて100万

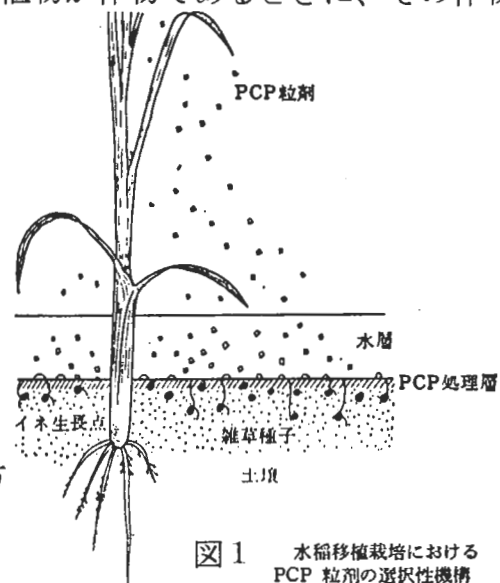


図1 水稲移植栽培における PCP 粒剤の選択性機構

h a 以上も使用された PCP 粒剤は、イネ移植後、粒剤の形で施用されたためイネの葉に留まることなく田面に落下し、水層を通過して土壌表面に達し、ここで吸水・崩壊して土壌表面に PCP 処理層を形成した。イネの生長点は土壌中に隠れていて安全。土壌中からの雑草は発芽し、出芽する際に処理層より PCP を受け取って害を受けることになった。多少の水縦浸透があっても、PCP は土壌にかかるく結合しているため、イネ生長点までは達しないのでその害を受けることはなかった (図 1)。

ここに生態的な選択性が機能したわけである。従って、PCP を液剤でイネに散布すれば、イネに薬害を出す (大雨があって PCP の結合した土壌が河川や湖に流出することによって魚貝類に被害が発生した)。

一方、オキサジアゾン乳剤は、代掻きのあと土壌粒子が田面水中に浮遊している間に施用されるので、除草剤成分が土壌粒子と結合し、沈降し、土壌表面にやはり処理層を形成した。このため、PCP 粒剤同様の選択性が発揮された。オキサジアゾン粒剤そのものではかなりの薬害が発生した。

これらのほか、雑草・作物間の出芽のタイミングの差を狙うものもあった。

いずれも、その除草剤の本質的な選択性ではなかったもので、現在では、(2) の生理的、とくに (3) の生化学的選択性を持つ除草剤が多く使用されている。

(2) 生理的選択性機構

これは、雑草と作物との間に、除草剤の吸収能力やそれぞれの体の中の移動性に差があるといったいわゆる生理的な違いを活用するものである。

かつては、広葉の雑草は枯死させるが、イネ科の作物には影響の少なかった 2,4-D などは、組織構造の差や体内移動性の差でその選択性が説明された。

アミベンという除草剤は、カボチャ抵抗性・キュウリ感受性と言う特性を持つが、放射性 C ラベルのアミベンに接木実験をからませて、台木がカボチャであれば接ぎ穂がキュウリであっても葉に放射能が分布していないことが解り、この選択性はカボチャの根がアミベンを吸収しないことに起因することとされた。

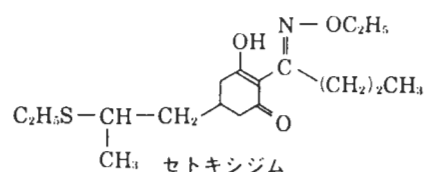
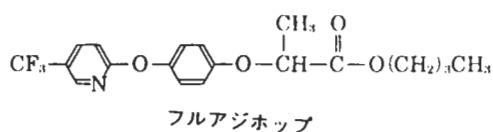
(3) 生化学的選択性

これは、大きく 2 つに分けられる。

(a) 除草剤の雑草作用点への親和力が、目的作物と雑草とで違う場合

ある作物のもつ作用点への除草剤の親和力が雑草のそれよりも弱い (その作用点と結合しにくい) 場合には、作物には効きにくくて雑草だけが枯れることになる。

イネ科の雑草によく効いて、広葉のダイズやワタには安全なフェノキシプロピオン酸系 (フルアジホップなど) やシクロヘキセンジオン系 (セトキシジムなど) の各除草剤は、脂肪酸代謝の入口で働くアセチル CoA カルボキシラーゼを阻害するが、イネ科雑草では



これら除草剤に対するこの酵素感受性が広葉作物のそれよりもずっと高いためにこれは枯れるが、広葉作物は枯れないと言う生化学的選択性が発揮される。

後述する遺伝子組換えによる除草剤抵抗性作物作出のひとつの方法は、作用点のタンパク質のアミノ酸組成の一部を改変してその除草剤感受性を低下させるものである。

(b) 作物の除草剤解毒分解・抱合反応によるもの

ある除草剤を分解したり、抱合したりする解毒能力を作物だけが持っているとき、作物はこの機構で助かり、雑草には効いてここにも選択性が成立することになる。

ほとんどの明確な選択性はこの解毒反応に依存している。

主な例を2つ挙げておくことにする。

そのひとつは、s-トリアジン系のアトラジンやシマジンに対するトウモロコシ、ソルガムあるいはサトウキビの抵抗性の例で、図2に示すように3つの解毒ルートがある。

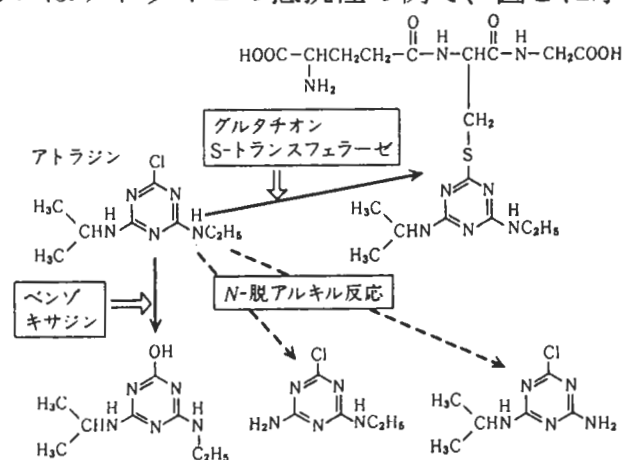


図2 トウモロコシ等に見られる除草剤アトラジンの解毒反応

- ① 右上のアミノ酸が3個結合したペプチド、グルタチオンが、グルタチオン-S-トランスフェラーゼという解毒酵素によって、除草剤の頭の塩素と結合して無毒化（グルタチオン抱合）する。
- ② トウモロコシ体内に存在するベンゾキサジン系化合物によって、アトラジンの頭の塩素がOHに変えられ、無毒化される。これには酵素が関与しない（非酵素反応）。
- ③ は、N-脱アルキル反応で、アトラジンの両脇のNについているエチル基（右）やイソプロピル基（左）、ともにアルキル基といわれるグループを窒素（N）から外して解毒する。

以上の解毒反応は、同類のシマジン等の頭に塩素のついているものには有効であるが、頭が-SCH₃のシメトリンや-OCH₃のアトラトンなどには通用しない。

もうひとつは、筆者自身もかなり研究を行った除草剤プロパニル（登録上の種類名はDCPA）に対するイネの選択性である。これは、イネがもっているアリルアシルアミダーゼIによってDCPAを図3のように加水分解するために生ずる選択性である。

DCPAは、イネ直播用の選択性除草剤で、ランダムに播かれ、ランダムに発生するイネと同じく雑草に散布すると、雑草だけを枯死させる働きがある非常に便利な除草剤で、直播栽培の盛んな国では賞用されている。図4に示すように、DCPA散布後、イネはその光合成が回復するが、タイヌビエでは阻害されっぱなしで枯死する。

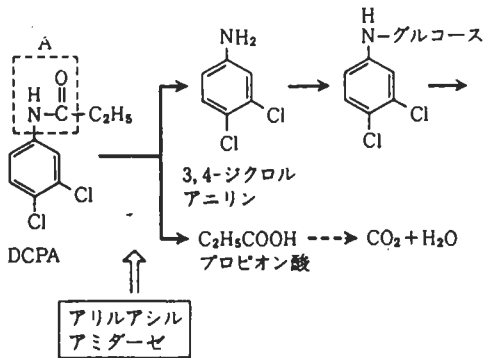


図3 イネにみられる除草剤プロパニル (DCPA) の解毒反応

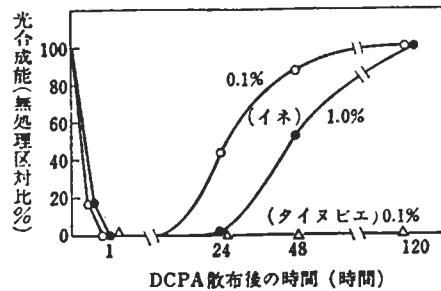


図4 DCPA散布後の光合成能力の消長 ●○イネ、△タイヌビエ

筆者は、700以上のイネ（農林8号）突然変異株の中から、DCPA感受性のものを見出し、これと元の抵抗性株との交配あるいはバッククロスにより、この酵素生合成が単一優性の遺伝子によって支配されていることを明らかにした。この遺伝子は、後述の遺伝子組換えによる抵抗性作物（イネ以外の）の作出にも使えそうであるが、未だその試みはなされていない。

一方、この抵抗性遺伝子が野生イネや雑草イネを含めてどこまで維持されているかも筆者等によって検討されたが、イネ（オリザ属）の中で、ゲノム AA, BB, CC, BBCC あるいは葉の幅の狭い CCDD を持つものにはかなりの強さで存在するが、ゲノム EE をもつ *Oryza australiensis* および FF の *Angustifoliae brancyantha* にはこの遺伝子が欠損していることを見出している。また、ゲノム未同定のものでは、オリザ節より離れるにしたがってその活性が極めて低いか、皆無のものも多くみられるようになる。

ゲノム EE を持つ *Oryza australiensis* は、オーストラリアにしか分布しないが、これは大陸移動説をもとにして考えると、カンガルーやカモノハシなど有袋類がこの大陸にしかないという独自性と相通ずるものがある。

3. 除草剤抵抗性雑草の増加

(1) 世界的にみた除草剤抵抗性バイオタイプの例

農業全般を見渡すと、すでに、殺虫剤に対する害虫の、また殺菌剤にたいする病原菌の抵抗性（耐性）の発現は、それらの連用によってかなり以前から問題になってきているが、今まで有効であった除草剤が効かない雑草も長年月（比較的短期間のものもある）の使用によって出現してきている。

次の表1は、アメリカ雑草学会のホームページ (<http://weedscience.com/>) に示された各種除草剤群に対する抵抗性雑草バイオタイプの出現例数である。第2欄と第3欄とは、各除草剤群の分類番号で前者はアメリカ雑草学会 (WSSA)、後者は除草剤抵抗性活動委員会 (HRAC) のものである。これは、ある除草剤にたいして抵抗性が発現したとき、そのものの連用は勿論のこと、それと作用機構等を同じくする同一グループの連用が、その抵抗性を益々強化することになるので、代替除草剤が同一グループかどうかを知るための指標としてグループ分けしたものである (Dicots は双子葉、Monocots は単子葉の雑草である)。

1970年にトリアジン系のシマジンに対する抵抗性雑草が見つかって以来、増加し出

した除草剤抵抗性雑草は、1980年以降毎年平均9バイオタイプずつ出現し、現場でも大きな問題となっている。

表1 世界における除草剤抵抗性雑草発現 (アメリカ雑草学会ホームページより)

Herbicide Group	WSSA Code	HRAC Code	Example	Dicots	Monocots	Total
Triazines and others	5	C1	Atrazine	41	19	60
ALS inhibitors	2	B	Chlorsulfuron	38	18	56
Bipyridiliums	22	D	Paraquat	19	7	26
ACCase inhibitors	1	A	Diclofop-methyl	0	19	19
Synthetic Auxins	4	O	2,4-D	14	3	17
Ureas and amides	7	C2	Chlorotoluron	6	11	17
Dinitroanilines and others	3	K1	Trifluralin	1	6	7
Triazoles	11/13	F3	Amitrole	1	3	4
Thiocarbamates and others	8	N	Triallate	0	3	3
Chloroacetamides and others	15	K3	Metalochlor	0	3	3
Benzoflurans	16	N	Ethofumesate	0	1	1
Chloro-Carbonic Acids	26	N	Dalapon	0	1	1
Nitriles and others	6	C3	Bromoxynil	1	0	1
Organoarsenicals	17	Z	MSMA	1	0	1
Pyrazoliums	8	Z	Difenzoquat	0	1	1
Glycines	9	G	Glyphosate	0	1	1
Totals				122	96	218

この表は、全体で16除草剤グループにたいして218の抵抗性バイオタイプの出現のあることを示している。

多いのは、前記シマジン等のs-トリアジン、わが国でも問題になってきているアセト乳酸合成酵素(ALS,後述)阻害剤、パラコートなどのビピリジリウム系、或いは尿素・アミド系、合成オーキシシン系(2,4-D等いわゆるホルモン剤)、それに選択性機構の項で述べたアセチルCoAカルボキシラーゼ阻害剤などである。

前述の選択性除草剤DCPA(アミド系のプロパニル)に対するイネの抵抗性機構がノビエやコヒメビエに対して、中米、北米、そしてギリシャで発現している。

また、後述する遺伝子組換え除草剤抵抗性ダイズ(Roundup Ready Soybean)の対象となっているグリホサート(表1の一番下)はアミノ酸とリン酸との化合物で、土壤中での分解が速いので抵抗性は出にくいとされていたが1996年にオーストラリアで*Lolium rigidum*(rigid ryegrass)および*Lolium multiflorum*(Italian ryegrass)で抵抗性バイオタイプが見出されている。これは組換え体の抵抗性遺伝子の雑草への伝播問題との関係で注目されている。

(2) わが国における除草剤抵抗性雑草バイオタイプの出現

いままでに、わが国では3種類の除草剤にたいして抵抗性の発現が報告されている。

まず、ゴルフ場で1982年にトリアジン系シマジンに対するスズメノカタビラの抵抗性が報告されている。シマジン自身が広範囲に用いられ、残効性が長いので、ゴルフ場排水口等で数多く検出され、環境庁の設定した基準を超えるものがあったので、この除草剤は水質汚濁性農薬の指定をうけた（この指定と実行とは、非科学的なものとは筆者は考えている）。このため、現在、ゴルフ場ではあまり使用されないため、この抵抗性問題は終息したと考えている。

表2 わが国において除草剤パラコートに抵抗性を示す雑草

雑草名	発生確認年	発生府県
ハルジオオン	1980	埼玉、茨城、群馬、神奈川、岐阜
ヒメムカシヨモギ	1980	大阪、和歌山、兵庫、埼玉、群馬、三重、奈良、岡山、広島、福岡、宮崎
オオアレチノギク	1986	埼玉、茨城、神奈川、愛知、大阪、和歌山、広島、宮崎
オニタビラコ	1986	埼玉、茨城、群馬
アレチノギク	1989	
チチコグサモドキ	1991	神奈川、埼玉

(埴岡靖男(1998)による)

2番目に挙げられるのは、ビピリジリウム系のパラコートに対する抵抗性雑草である。この除草剤は、大きくなった植物体にも有効で茎葉処理・非選択性のもので、桑園や果樹園あるいは非農耕地に広く使用されてきた。とくに関東の桑園では、長年繰り返し使用されてきたので表2のような結果が得られている。

いずれもキク科の雑草である。ハルジオオンの例は詳しく調べられているが、毎年2-3回施用したところで多く見出され、放棄された桑園では見つかっていない。ヒメムカシヨモギの例は、筆者のいた神戸大学構内でも見出されたが、パラコートを散布しなくなつてから2、3年後には抵抗性の個体は見つかっていない。

ハルジオオンとヒメムカシヨモギについては(優性)1遺伝子支配であることが解っている。感受性と抵抗性とのパラコート非存在下でのヒメムカシヨモギ競争試験では、感受性の方が優位に立つことを筆者等は認めている。一方、佐藤らはハルジオオンでは、パラコートを施用しない実験区個体群での抵抗性バイオタイプの構成比は減少せず、ほぼ一定の割合で推移することを報告している。

3番目に挙げられるものは、ALS阻害型の除草剤スルホニルウレア(SU)系に抵抗性の水田雑草である。スルホニルウレア系除草剤は、数多くの化学構造をとりうるために、数多くの選択的水稲用除草剤(イネが抵抗性)が得られ、動物への低毒性、極低薬量(5-50g/ha)、残留性少等の特性で賞用されてきたが、現在のところ、わが国の北半分表3に示すように9種類の雑草でその抵抗性が見出されており、増加する傾向にある。

1997年度の水田作付面積は、194.4万haであるが、そのうちSU剤を含む除草剤を施用された水田は、筆者の計算による183.3haで、実にその94%にのぼる。

また、古原（1998）によれば、北海道で1991-1998年の8年間で水田に施用された除草剤の使用面積上位3剤（3 x 8 = 24）のうち、SU剤を含まないものは僅かに2剤であり、残りの22剤はSU剤を含んでいた。このような使用実績によって表3に示すように雑草がSU剤に抵抗性になったと考えられる。

また、渡邊寛明（1998）は「SU剤を構成成分とする一発処理型除草剤は、各種のヒエ剤との組み合わせによって様々な混合剤が開発・利用されているが、その中のごく一部の組み合わせで構成される一発処理剤が連用されてきた場合に限ってSU剤抵抗性雑草が出現している。」と考察している。この点の更なる追求が必要である。

表3 わが国の水田におけるALS阻害型除草剤に対する抵抗性雑草の出現

雑草名	発生確認年	発生道府県
ミズアオイ	1994	北海道
タケトアゼナ	1995	山形、埼玉（アメリカアゼナRタイプ）
アゼナ	1995	埼玉
ミゾハコベ	1996	秋田
キクモ	1996	山形
アメリカアゼナ	1996	青森、秋田、宮城、埼玉（同上Cタイプ）
アゼトウガラシ	1996	山形、埼玉
キカシグサ	1997	秋田
イヌホタルイ	1997	北海道

（渡邊寛明（1998）による）

前に掲げた世界の抵抗性雑草の表1でも、ALS阻害型除草剤では、全体で第2位を占める56草種が知られているぐらいであるから、これは抵抗性の出やすい除草剤グループといえよう。

（3）雑草による除草剤抵抗性発現の機構

雑草がある除草剤に抵抗性を発現する機構は、普通、その雑草のバイオタイプ群の中にもともと除草剤抵抗性の突然変異株が少しながら存在し、ここに除草剤と言うプレッシャーがかかって感受性バイオタイプが激減し、最後は抵抗性のものだけが残るという術式は、殺虫剤（害虫）、殺菌剤（病原菌）の場合と類似しているが、雑草の世代交番には、多少時間がかかったために、殺虫剤や殺菌剤よりは遅れて問題となったと思われる。

抵抗性の突然変異体にはどんな変化が生じたのか。細胞内移動性の変化などの生理的な例も考えられるが、一応、はっきりしているのは、生化学的な次の3つである。

（a）作用点（酵素あるいはレセプター）のアミノ酸組成の変化による除草剤感受性の低下

アトラジン抵抗性の例は、光合成電子伝達系IIのB-1タンパクの264番目のセリンが

グリシンに変わったものである。SU 抵抗性の生物でもアミノ酸組成の変化によるものが数多くみられる。

(b) 作用点タンパクの増加

筆者等が検討したグリホサート耐性のニンジンカルス（この除草剤共存下で選抜した）に場合は、グリホサートの標的酵素である EPSP 合成酵素の感受性は変わらず、その量が増大したものであった。

(c) 当該除草剤解毒反応の新生

前述のアトラジンに対するトウモロコシ等、あるいは DCPA に対するイネの例のような解毒反応系を新生する場合である。中米等で発生している DCPA（プロパニル）へのヒエの抵抗性発現はこの例のようである。

4. 除草剤抵抗性作物の生物工学的作出

普通、選択的除草剤の開発にあたっては、多くの除草剤の選抜試験の過程でその除草剤に耐性の作物を見出し、その方向を強めると言う手段で目的作物と選択的除草剤との組み合わせを開発するわけであるが、ここでは、そう言ったいわば偶然性には支配されない方法で除草剤抵抗性作物を見出そうとするものである。

この問題について、筆者は次の4つの総説を書いている。

- (1) 「除草剤抵抗性作物の育種」農業および園芸、60 (1) 187-192 (1985)
- (2) 「作物への除草剤耐性賦与」日本雑草学会第11回夏期研究会テキスト、57-65(1987)
- (3) 「バイオテクノロジーによる除草剤抵抗性作物の作出」関西大学工業技術研究所『技苑』78, 40-45 (1994)
- (4) 「遺伝子組換え農作物の実用化に当たって」『技苑』94, 48-53 (1998)

筆者が英国オックスフォードの Weed Research Organization に留学中知り得た情報として、除草剤抵抗性作物を育種的手段で作出しようとする分野が発達しなかった理由に同研究所では次の5項目を挙げていた。

- ① 耐病虫性育種の法が優先されること。
- ② 抵抗性雑草があまり出現しないこと。
- ③ 除草剤の市場期間が短いと予測されたこと。
- ④ 抵抗性遺伝の様式が単純でないことと予測されたこと。
- ⑤ 抵抗性品種が少ないことなど。

これは、上記(1)(2)の論文に引用されたものであるが、出典自身は1972年のものである。従って、現在では状況が大きく変わり、抵抗性雑草は数多く見出され、また50年近く使用されている除草剤もある。一方、抵抗性遺伝様式も単純(1遺伝子支配)なものもあり、高度の選択性(作物側は抵抗性)をもつ除草剤も開発されている。なによりも大きな進展は、最近の遺伝子組換え等バイオテクノロジーの変貌である。これは、除草剤抵抗性作物を作出する方法を大きく進歩させたといえる。

1987年の(2)の論文ではその方法として、(a) Whole plant を用いる方法(抵抗性種との交配法)、(b) 遺伝子導入、(c) 細胞融合、(d) 選抜法 を列挙しそれぞれの実例を挙げている。これらのうち、現在、実用化しているものは(b)が主体である。

当時はこの4つの方法に等しく期待が懸かっていたのを思い出す。

ここでは、(b)の遺伝子導入について説明を加えたい。

(1) 除草剤抵抗性遺伝子を探す。

遺伝子導入(組換え)を行うためには、まずその遺伝子を手に入れなければならない。これには、本来ある除草剤に抵抗性の植物を対象にする場合と、かつて坂口謹一郎先生が言われた「微生物に頼んで断られたことが無い」と言う名言を信じてその除草剤存在下で多くの微生物の生き残りを選抜する場合とがある。前者は植物同士の仕事になるので、遺伝子導入に当たって少し便利などころがあるが、遺伝子の候補の数からいえば微生物の方が圧倒的に有利である。

(2) 遺伝子導入の手法

選抜された遺伝子を目的の作物に導入する方法もいくつか提案されたが、現在では

(a) *Agrobacterium tumefaciens* と言う土壌細菌で根頭癌腫病(植物の瘤を作る病気)の病原菌を使う方法がある。本来、この細菌は、瘤をつくるための植物ホルモン生合成遺伝子を宿主植物に導入し、これをその植物のDNAに組み込む力をもっている。従ってその植物内でその細菌が死んでもこの植物ホルモンをつくる遺伝子は発現・機能し続ける。この細菌の遺伝子(Tiプラスミド)に目的の除草剤抵抗性遺伝子を結合させてやれば、この細菌が目的の作物へ運んでくれるわけである。現在では、本来の瘤をつくる遺伝子は発現しないように(disarmed)なっているので瘤に関しては問題がない。

初期には双子葉植物しか感染せず、単子葉植物には応用できなかったが、現在ではこの方も可能になってきている。高価な装置は不要である。

(b) パーティクル ガンを用いる方法

これは、直径4 μ mの金またはタングステン的小球を目的のDNAでカバーして鉄砲(ガン)で目的作物の細胞内へ打ちこむものがある。火薬を使って打ちこむのはいろいろと問題があるので高圧のヘリウムガスを使うものが多い。

(3) 遺伝子の種類

除草剤抵抗性を発現させるための遺伝子の種類としては、先に雑草による除草剤抵抗性発現の機構のところでも述べた生化学的な3つが考えられる。すなわち

(a) 作用点のアミノ酸組成の変化

(b) 作用点タンパクの増加(Over production)

(c) 当該除草剤解毒反応の賦与・新生

である。

(a) は一番普通の方法で、過去の例でも作用点タンパクのひとつのアミノ酸が別のものに変化するだけで可能である。これは作用点の生合成を指令するDNAの塩基組成のひとつの変化で求めることができる。

(b) は、効率のよいプロモーターの導入で可能となる場合がある。

(c) は、その働きをする解毒酵素生合成を指令するDNAを求めることで始まる。

(a) はグリフォサートの作用点ではあるが非感受性のEPSP合成酵素生合成を指令する

変異 DNA を、(c) はグルフォシネートのアセチル化酵素（解毒酵素）を指令する DNA を導入することで実用レベルの遺伝子組換え体を作成している。

(4) 遺伝子組換えによる除草剤抵抗性作物の商品化および生産状況

次に与語（1998）の纏めた現状を表にして示す。グリホサートおよびグルホシネートは上述の通りであるが、プロモキシニルは解毒酵素の遺伝子を導入している。

表4 世界における除草剤抵抗性作物の商品化および生産状況（与語靖洋、1998）

作物	除草剤	開発企業	商品年	生産開始年(国)	日本における状況(注1)
ダイズ	グリホサート	モンサント	1996	1996(アメリカ) 1996(カナダ)	④1996
	グルホシネート	アグレボ	-	1997(アメリカ) 1998(EC)	③1998
ナタネ	グリホサート	モンサント	1995	1996(カナダ)	④1996-1998
	グルホシネート	アグレボ	1995	1996(カナダ)	④1996-1997
		プラント・ジェネティック・システムズ(*1)	1996	1995(カナダ)	④1996-1998
プロモキシニル	ロ・ネ・ブ・ラン	予定	-	④1998	
トウモロコシ	グリホサート	モンサント	予定	-	④1997-1998
	グルホシネート	アグレボ	1996	1997(アメリカ)	④1997-1998
		プラント・ジェネティック・システムズ(*2)	予定	-	③1997
ワタ	グリホサート	モンサント	予定	-	④1997
	プロモキシニル	カルジーン	1996	-	④1998
	スルコメット系	デュボン	予定	-	-
タバコ	プロモキシニル	ロ・ネ・ブ・ラン	予定	-	-

注)：番号は日本における開発段階、右側の数値はその年を示す。①閉鎖系温室実験(科学技術庁)、②非閉鎖系温室試験(科学技術庁)、③隔離圃場試験(農林水産省)、および④一般圃場栽培または輸入可能

(5) Public Acceptance 問題

遺伝子組換え除草剤抵抗性作物は、数々の便利さや環境の改善をもたらす。例えば、グリホサート抵抗性ダイズの開発・普及によって除草剤使用量を減少させ、不耕起栽培が可能となり、土壌流亡(アメリカでは年間27-31億トン)が激減し、耕起に必要な機械エネルギー(石油の消費)の節約も可能となった。

しかし、遺伝子組換え食品については、その安全性や生態系への影響をめぐっていろいろの論議が起こっている。表示の問題も提出されている。筆者は、古典的な交配法による品種改良作物でも遺伝子組換えが起こっているし、微生物に医薬品を作らせている時代であってみれば、感情的な拒否反応から脱却して、安全性評価と食料供給とに対して冷静な判断を下す必要があると思う。21世紀の食料生産を救うものはバイオテクノロジーであると言うならば、消費者も考えを新たにすることが必要である。

除草剤を使わない稲作を提唱するグループもあるが、水田の除草剤利用で約9,000万円の経済効果があり。泥田の中の非人間的な手取り除草では60日間毎日200万人が必要である。食品や環境への残留検査体制の更なる整備とともに、外因性内分泌攪乱物質(いわゆる環境ホルモン)的考察をもふくめ、安全使用をめぐって監視の眼を緩めてはならない。