

植物育種とバイオテクノロジー (6)

| | |
|-------|------------|
| 誌名 | 農業技術 |
| ISSN | 03888479 |
| 著者 | 河合, 武 |
| 巻/号 | 40巻10号 |
| 掲載ページ | p. 438-442 |
| 発行年月 | 1985年10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



植物育種とバイオテクノロジー (6)

—現状と展望—

河 合 武

10 (つづき)

炭素代謝変異: *Nicotiana tabacum*-Glycerol 利用-ND-Chaleff, R. S. & Parsons, M. F. (1978) がえられ、カルスでのみ発現する。

プリンおよびピリミジン代謝変異: *Nicotiana tabacum*-Bromodeoxyuridine-ND-Marton, L. & Maliga, P. (1975); *Nicotiana tabacum*-Hydroxyurea-ND (2 遺伝子座)-Chaleff, R. S. & Keil, R. S. (1981), Keil, R. L. Chaleff, R. S. (1983)。動物ではこれらのプリン、ピリミジン代謝に関する突然変異は標識遺伝子として用いられている。上記の Hydroxyurea 抵抗性突然変異はカルスのみで発現する。

アミノ酸代謝変異: この群の突然変異の選抜はいろいろな狙いで行われ、研究も得られた突然変異も多い。*Triticum aestivum*-Lysine+Threonine・L+T-NR-Jacquemin, J. M. & Dubois, J. A. (1981); *Zea mays*-Lysine + Threonine・L+T-ND-Hibberd, K. A. & Green, C. E. (1982); *Zea mays*-Lysine+Threonine・L+T-ND または NPD-Bourgin, J. R. ら (1982); *Oryza sativa*-S-(2-aminoethyl-L-cysteine (S-AEC)-H-Schaeffer, G. W. & Sharpe, Jr. F. T. (1981); *Nicotiana tabacum*-S-AEC-Wakasa, K. & Widholm, J. M. (1982); *Nicotiana tabacum*-S-AEC-ND-Negrutiu, I. ら (1984); *Hordeum vulgare*-S-AEC-NR-Bright, S. W. J. ら (1979); *Nicotiana tabacum*-Valine-ND および NPD-Borgin, J. P. (1978, 1980); *Nicotiana tabacum* and *N. sylvestris*-Valine-H-Vunsh, R. ら (1983); *Oryza sativa*-DL-5-methyltryptophan 5 MT-H-Wakasa, K. & Widholm, J. M. (1983); *Nicotiana tabacum*-Threonine-H-Wakasa, K. & Widholm, J. M. (1983); *Nicotiana tabacum*-Isonicotianic acid hydrazide (INH)-ND-Berlyn, M. B. (1980); *Nicotiana tabacum*-Isonicotianic acid hydrazide (INH)-ND-Zelitsch, I. & Berlyn, M. B. (1982); *Nicotiana tabacum*-Glycine hydroxymate GH-ND-Lawyer, A. L. ら (1980) の突然変異がえられている。いずれの場合にも培地中の

高濃度のアミノ酸またはその類似体を選抜圧として用い、アミノ酸合成酵素の feedback inhibition への感受性の減少したものを選び、それらが自然に生産されるアミノ酸の overproduction を結果すると期待するものである。L+T および S-AEC の高濃度への耐性は Aspartate 経路の酵素 (遺伝子) の変化により、上述のトウモロコシ、イネでの例では種子中のスレオニンあるいはリジンの増加した個体を結果した。INH および GH は光呼吸の RuBP→Glycine→Serine+CO₂ の反応系を阻害するので、光呼吸の機作の解明を期待して細胞選抜が行われている。5 MT は Chorimate 系 (トリプトファン, チロシン, フェニールアラニンを合成) のトリプトファン合成の第一ステップの酵素の作用に阻害的に働き、5 MT 耐性の突然変異では遊離トリプトファン量の増加が期待されるが、上記のイネの突然変異ではフェニールアラニンの増加がみられた。タバコおよび *Datura innoxia* の 5 MT 抵抗性の細胞とそれからの再分化個体ではトリプトファン含量の増加は *D. innoxia* では細胞、再分化個体の両方でみられたが、タバコではカルス (再分化個体からの再誘導カルスを含む) でのみみられた。(Widholm, J. M. 1980)。タバコのバリン抵抗性突然変異はバリン (その他のアミノ酸も含めて) の吸収の低下によることが明らかにされている。Bourgin, J. P. (1983) はアミノ酸耐性 (aminoacid feedback resistance) への細胞選抜によって、表現型が同じでも、アミノ酸代謝経路の異なる変異体が生ずることを示している。

硝酸還元酵素欠失変異: この変異体は塩素酸ナトリウム (chlorate) への感受性によって選ばれ、標識遺伝子として使いやすい。*Nicotiana plumbaginifolia*-Chlorate-H-Marton, L. ら (1982, 1983); *Nicotiana tabacum*-Chlorate-NR-Müller, A. J. (1983); *Nicotiana plumbaginifolia*-Chlorate-NR-Negrutiu, I. R. ら (1983) がえられている。オオムギでは種子の突然変異誘発源処理によってこの突然変異が多数にえられている (Kleinhofs, A. ら 1983)。この遺伝子は複合遺伝子であり、構成遺伝子の変異によって、いくつかの群に分けられ、相補的なものは細胞融合のよい標識遺伝子として使われる。

栄養要求性: すべての *Nicotiana tabacum* で選抜され、Biotin, beta-Aminobenzoic acid および Arginine 要求性-NR-Carlson, P. S., (Chaleff, R. S. 1981 に

Takeshi KAWAI: Plant Breeding and Biotechnology —Present Status and Perspectives (6). 農業技術 40 (10), 1985.

よる); Hypoxanthine 要求性-NR-Chaleff, R. S. (1981) が得られている。

以上、これまでに細胞選抜によって得られた突然変異を示したが、(1) 用いた選抜圧からすれば、当然なことであるが、すべて生化学的突然変異であり、(2) 多くのものがタバコ属で得られており、(3) 優性の突然変異が稀でないことなどが特徴的である。これらの突然変異を得るために突然変異誘発源処理が必要であると強調している研究者はなく、上に示した例では突然変異誘発源処理なしで得られたものが処理して得られたものより多い。Flick, C. E. (1983) は後代への伝達が明らかにされていないものも含めて、報告された細胞選抜による突然変異のうち突然変異源処理後に得られたものは54例、処理なしで得られたものは70例であることを示している。生化学的形質以外の形質についても細胞選抜を行うか否かは分子、細胞レベルでの遺伝的操作による変異の利用による育種での最も大きい問題の一つである。Lane, W. D. & Looney, M. E. (1982) はリンゴの生長点培養で極端にコンパクトな(矮性の)遺伝子型、正常型、中間型が高濃度のベンジールアデニンへの反応により判別されたと報告している。試験管内で成熟に達した植物でみられる形態的特性を判別しえた唯一の例でないかと思われる。

11

分子・細胞の遺伝的操作による植物(体)の育種では植物体→細胞→再分化植物体の系はこれまでに述べた遺伝的操作のいずれを用いる場合にも共通した基幹系ともいえるものである。この節では培養細胞からの植物体の再分化と再分化個体の取り扱いについて述べる。この問題は、遺伝子作用の発現、個体発生など植物で研究の進んでいるとはいい難い分野に深くかかわっている。

再分化個体のそれぞれの育種法で果す役割はかなり異なっている。細胞融合法および染色体移入法では再分化個体での減数分裂と有性生殖によって遺伝質の組み換えがおこり、新しい遺伝子型の出現とその選抜の余地が充分に残されている。遺伝子組み換え法や突然変異法では細胞選抜の結果の確認、導入あるいは誘発された突然変異遺伝子の新しいあるいは与えられた遺伝的背景での発現、その表現型の調査とそれによる選抜が行われる。細胞選抜を有効に行いえない場合(分化した器官、組織、器官、植物体で遺伝子の作用が発現される場合)には再分化個体ではじめて選抜が可能となる。この場合、再分化個体が半数体であれば対立遺伝子に対し劣性な導入・誘発遺伝子も検出しうる。遺伝的にヘテロな栄養繁殖植物でも同様なことが期待される。

植物培養細胞は動物細胞と異なり、その細胞や組織がその種や品種のすべての組織や器官を分化して完全な個体を形成する能力、即ち全形成能(totipotency)をもつとされている。脱分化培養細胞のこの能力を植物の種類を問わず発揮させて、再分化個体を得ることは容易ではない。おしなべていえば、双子葉植物では単子葉植物より再分化個体が得やすく、双子葉植物の中では *Solanaceae*, *Leguminosae*, *Compositae*, *Cruciferae* で、単子葉植物では *Gramineae*, *Liliaceae* で再分化個体の報告例が多い。属のレベルでは *Nicotiana* 属の種での報告が最も多く、タバコ属植物がモデル植物と言われる所以である。これらの科、属では個体の再分化が容易であるために、あるいは農業的に重要なゆえに研究が多く行われ、個体再分化の報告が多いこともあるが、少なくとも科内または科間での再分化個体の得やすさの程度を示しているといえる。重要な農作物で培養細胞からの再分化個体を得られていないのはダイズであり、コムギ・オオムギ・イネなどの主要穀類は再分化個体の得にくいものに属する。

上述の結果はプロトプラストおよび植物組織に直接に誘導されたカルスからの植物体の再分化の結果を総括して示したものである。当然考えられるようにプロトプラストからの植物体の再分化はカルスからの植物体の再分化より困難である。特にイネ科植物ではプロトプラストからの植物体の再分化は困難であるが、Vasil, I. K. のグループはイネ科牧草でまずカルスを誘導し、それからプロトプラストを調製・分離し、このようにして得られたプロトプラストから再分化個体を得ている(後出)。イネにおいてもプロトプラスト→芽と根の分化、不完全な植物体の再分化が報告されており(大野清春ら, 1985)、更に植物体の分化にも成功したと聞かすが、その頻度、その再現性についての報告がまたれる。なお、最近カルスからの植物体の再分化率が品種・系統によって異なることを示す報告が多く(Sears, R. G. & Deckard, E. L. 1982, Yoshida, S. ら, 1983), Beckert, M. & Cao Ming Qing (1984) はトウモロコシでカルスからの植物体の再分化率が遺伝的なものであり、その向上への育種が可能であることを示している。プロトプラストからの個体の再分化には、供与体の生育条件、プロトプラストを単離した組織、単離の条件、培養条件、再分化誘導処理法(生長物質の濃度、異なる生長物質間の比など)などの多くの要因が関与する。Evans, D. A. & Bravo, J. E. (1983) はこれらの“関係する変数についての組織的な研究はどのような種、属についても行われておらず、分化を制御している1~2のキー・ファク

ターを特定できず、プロトプラストの分離と培養はいまだ経験的なものであり、科学的というより芸術的な方法のようにみえる”と述べている。プロトプラスト→再分化植物体の報告は次第に増しつつあるが、分化におけるキー・ファクターが特定されたとは、なお、いえないであろう。

カルスからの植物体の分化の過程はカルスでの仮導管状篩管細胞の分化・配列 (taacheid differentiation) とそれにつづく不定芽、不定根の形成 (organogenesis) の経路 (以下、ORと略す) と体細胞胚発生でみられる胚様体 (不定胚) の形成 (somatic embryogenesis) の経路 (以下、EMと略す) とのあることが明らかにされている。Sharp, W. R. ら (1980) は体細胞胚発生に2つの経路があり、その一方はカルス増殖を経ることなく、組織から直接に胚が発生する直接胚発生で、既に胚発生にくみこまれている細胞, “pre-embryonic determined cell” (前-胚決定細胞, PEDC) が “release” されることにより、他方の経路は細胞の増殖が必要で, “differentiated, non-embryonic cell” または “induced embryonic determined cell” (誘導胚決定細胞, IEDC) でおこる間接胚発生によるものとしている (Ammiroto, P. V., 1983 による)。この考えによれば、EMはPEDCに相当するようである。動物発生学で主として発展した概念であるが、個体発生は反応能 (competence) の確立、決定 (determination)、分化 (differentiation) の段階を経て行われるとされ、それぞれは形式的刺激に対して一定の形態形成過程をもって反応する状態、胚の部分の発生的運命の決定、個体発生での形態的・機能的な特殊化の進行と確立とされている。Wareing, P. W. & Graham, C. F. (1984) は植物の場合には反応能の確立と決定は実験的に分離し難いとし、McDaniel, C. N. ら (1982) は決定は特定の分化に対する細胞または組織のプログラミングであり、反応能とはこのプログラムと発生シグナル (おそらくホルモン) がリンクすることであるとこの考えを提案している。Wareing & Graham は体細胞胚の発達は非常に plastic であるとしているが、これは植物の特性のようにみられる。なお、植物における決定の具体的かつ明瞭な例として低温処理、日長処理による光成誘導があげられている。以上、植物における発生についての考え方の一端を示した。動物でのそれによっているが、分化・脱分化の機構、それに対するホルモンの作用機作、動物と比較した場合に、より長時間にわたる器官分化、その間の外部情報を取りこんでの遺伝子の作用発現 (例えば花芽形成の決定) など植物に特有な現象と考えられ、基本的には反応能、決定、分化の

考え方によるとしても、植物固有の考え方や近接法が必要と考えられる。

培養細胞からの植物体の分化には前述のようにORとEMの2つの経路があるが、いずれの経路によって再分化個体がえられたかの判定には詳しい組織学的研究が必要とされる。これまでの報告をまとめると双子葉植物では28属の31以上の種で、単子葉植物では16属17以上の種でEMによる再分化個体が得られている。イネ科では7属8種 (トウモロコシ, ソルガム, イネ牧草類) でEMによる再分化個体が得られている。Vasil, I. K. ら (1982) の綜説および彼のグループの *Panicum maximum*, *Pennisetum americanum*, *Pennisetum purpureum*, *Zea mays* での研究結果を要約すると次のようになる。(1) 未熟胚, 若い花, 若い葉を2,4-Dなどのホルモンを高い濃度 (2,4-Dでは10mg/l程度) で含む培地で数日培養し、ついでホルモン濃度の低い (2,4-D, 0.1mg/l) 培地に移すと、カルスとともに胚様体の形成がおこり (embryonic competence を獲得して、embryonic callus—以下EMCと略記—が形成される)、胚様体の発達によって再分化個体が得られる。(2) EMCの形成には置床する組織とその発育のステージが重要であり、適期 (若い花では原基の形成期, 若い葉では生長点を囲む極く若い葉) を逸するとカルスのみが形成される。(3) EMCは胚盤, 花の原基と幼穂の軸, 葉脈近くの葉などで形成される。(4) EMCおよびそれからの遊離細胞の継代培養 (3~10か月) でも胚発生成は失われなし、EMC由来のプロトプラストも胚形成能を持つ (前述のように、これによって植物→EMC→プロトプラスト→植物体の系が完成した)。(5) EMC細胞は小さく、細胞質に富み、澱粉を含み、液体培養ではこのような細胞を篩別し、EMCを高頻度で形成する細胞集団を作ることができた。(6) EMCでは胚, 根鞘, 胚盤などの分化が認められ、再分化個体は正常の染色体数を示す。(7) *Pennisetum purpureum*, トウモロコシではEMC形成率の遺伝子型による差は認められなかった。Vasil, I. K. らとは別に、Hanning, G. E. & Conger B. V. (1982) はオーチャードグラスの若い葉を同様な方法で培養し、胚様体が形成されることを認め、Conger, B. V. (1983) は胚様体を形成しやすい個体を選抜し、葉片から直接に胚様体が形成されるのを観察し、若い葉の基部に近い葉片ほどEMCを形成する率が高く、一枚の葉の中に分化能について勾配 (differentiation gradient) があると報告している。

以上のような結果が得られているが、オオムギ, コムギではこの方法は成功していない (Deambrobia, E. &

Dale, P. J., 1980, Thomas, E. ら, 1982, Vasil, I. K. ら, 1982)。一方, Abe, T. & Futsuhara, Y. (1984), 阿部利徳 (1985) は印度型イネカルスで高頻度で EMC が形成されるのを観察している。日本型イネカルスでは EMC のみを形成するものではなく, OR と EM の両方式がともに行われる品種の存在を認めている。また, 品種間で再分化能に著しい差のあることを報告している。

EM による胚は, OR では根と芽が独立に分化してゆくものに対して, 根と芽が同時に分化する 2 極分化であり, 一般に単細胞起源で, 染色体変異は少なく, 突然変異も少ないとされているが, なお厳密な検討が必要であろう。EMC による場合も含めて, EM による個体の再分化の報告は増加している。

EMC の経路では特定の器官の特定の発育ステージの組織を高濃度の 2・4-D 培地に比較的短期間 (10 日前後) おき, ついで低濃度の 2・4-D 培地で培養することによって不定胚の形成と発達がおこることになる。Vasil, I. K. はこの過程を高濃度 2・4-D 培地でのカルス形成→胚形成反応能の獲得→EC の形成→低濃度 2・4-D での EMC の“発芽”としているが, これは脱分化→反応能の獲得→胚としての決定→個体としての発生と読みかえてよいであろう。この決定が非常に強固なものであることは継代液体培養, プロトプラスト化によっても維持されることからうかがわれる。また EMC の経路をとりうる組織は EMC 誘導処理に対して反応することができる (competent である) 点で非常に特異であり, 更に分化能に勾配のあることは competence が全・無の現象でなく, その反応能に全から無にわたっての連続的変異がありうること示している。Vasil, I. K. は embryonic competence の異なる組織で内生植物ホルモンの量とスペクトラムに差のあることを報告している (国際原子力機構主催のシンポジウム, 1985 年 8 月)。植物ホルモンが分化・脱分化に関係していることは明らかであり, 生体内 (カルス内) でのその時間的, 空間的な分布, 胚様体の発育過程, 遺伝子の活性化 (mRNA の合成, その量と質の変化) の組織, 細胞レベルでの追跡 (組織・細胞化学的方法などによる) などが分化・脱分化の問題を解くための重要な近接方法と考えられる。mRNA の動態の追跡には発生を同調化した液体培養胚様体が好適であり, ニンジンなどを材料として研究が行われているが, *in vivo* の材料でない点でその結論の一般化にはなお制約のありうることを考慮に入れるべきであろう。

ニンジンなどでみられる胚様体の形成と EMC とが同質のものであるか, EMC の経路を広く他の植物でも誘導しうるかなどは今後の研究課題である。

OR の経路による培養細胞からの植物体再分化はまた, 長期間培養でも培養細胞における遺伝的変異が制御され, 培養細胞がその全形成能を失わない限り, EMC より広く適用しうるもので, その効率の向上が求められる。培養細胞からの植物体の再分化に関係する要因は多く, 個々には示さないが, 培養を開始する外植片の起源 (組織, 器官, 発育ステージなど) が重視される傾向にある。なお, 継代培養を長くつづけるとカルスの再分化は低下して, 遂には失われるものとされているが, Sacristén, M. D. (1981) は 3 年間にわたり unorganized として継代培養をつづけてきた *Brassica napus* のカルスを 2 種の培地で交互に培養することによって再分化個体を得られたと報告している。このことは分化・脱分化の問題が単純なものでないことを示している。

分子・細胞の遺伝的操作を受けた培養細胞からの再分化個体は (半数性細胞処理の場合には染色体の倍加後に) 当代および後代での希望型の選抜が行われる。再分化個体は培地上での発育条件が十分に整わないため非遺伝的な異常を示すことがあり, また epigenesis によるものを含む後代での変異の確認と選抜が必要となる。

細胞融合による雑種細胞では両親のゲノム, 葉緑体ゲノム, ミトコンドリアゲノムなど 6 コ以上のゲノムが共存し, それぞれのゲノム内およびゲノム間の遺伝的な不和合性のため, 体細胞不和合性 (somatic incompatibility) (Harms, C. T., 1982, 1983) が生ずる。雑種細胞の染色体行動の異常, 細胞質オルガネレの行動については既に述べたようである。交雑可能な組み合わせでは F₁ 個体および雑種細胞からの再分化個体の比較によって細胞質雑種の効果を明らかにすることができる (培養中に生じた変異の作用を除くことが必要) (Evans, D. A. ら, 1982)。遠縁の親の組み合わせでの体細胞不和合性, 特に得られた雑種個体での著しい遺伝的形態的異常のため (ポメト, アラビドブラシカなど), 細胞雑種法を片親の遺伝質の一部を他の親に導入する方法として考える傾向が強くなりつつある。この場合には遺伝子組み換え法との優劣が問題とされるが, 遺伝子 (特に農業的に重要な形質) のクローニングに制限がある現状では, 上記のような細胞雑種法の利用の意義が認められてよいであろう。一方, 導入する遺伝子 (群) を特定しえないこと, 導入しようとする遺伝子 (DNA) の受容体の染色体への組み込みのメカニズムが明らかでないなどの難点がある。

染色体移入法, 遺伝子組み換え法, 突然変異法の順に導入される遺伝質の量が少なくなり体細胞不和合性は小さくなるが, 新しい遺伝子型 (細胞質遺伝子を含む) で,

構成する個々の遺伝子が時間的（発生の時期）、空間的（組織、器官）に調和をもってその作用を発現するか否かの重要な問題がある。現在、この問題と関連して考えるのは遺伝子組み換えなどでの導入遺伝子の受容体ゲノムへの導入の部位（現在のところ導入部位を制御しえない）の問題のみである。Goldberg, R.（国際原子力機構シンポジウム、1985年8月）はダイズの種子貯蔵蛋白遺伝子をタバコに導入したところ、この遺伝子がタバコでも種子でのみ発現し、この形質転換個体は正常なものと変わらないことを報告している。即ち、この遺伝子の発現にかかわるプログラム機構（ブラックボックス中にあるが）はダイズとタバコで共通であり、進化的にみれば高度に“conservative”であることになる。

植物の発生は段階的にしかも外部情報を取り込んで行われる。それぞれの段階で遺伝子作用のオン・オフが行われるが、遺伝子作用発現のオン・オフ機構、プログラム機構およびそれらの分化、脱分化機構との関係についての知見は極めて乏しい。今後に残された解明さるべき大きな問題である。また、その結果は遺伝子のクローニングにとっても不可欠といえるほど重要な情報である。

12

葯、花粉、胚珠培養については多くの綜説があり、また葯培養は既に実際に育種に適用されているので、ここでは葯培養について残された問題の一部についてのみ触れることにする。主要穀類の育種で葯培養が広く用いられないのはその半数体作出の効率が低いことによるであろう。イネ、ムギなどで交雑育種のF₂で2,000個体を扱うとして、それに相当する数の半数体（倍加個体が望ましい）を得るために置床すべき葯の数を概算すると100,000となる。葯培養の効率を低くしている他の要因として、再分化個体に染色体変異や突然変異が高い率で誘発されていることおよび再分化個体のかなりの割合のもの（10%のオーダーで示される）がアルビノであることがあげられる。以下では葯培養での半数体の獲得率自体を高めようとした研究と葯培養で高い頻度で生ずるアルビノについての研究の結果の概要を紹介しておく。

葯培養は、元来、花粉となるべきものを体細胞（胚細胞）として分裂、発達させようとするものであり、花粉となるべく決定または前決定（pre-determined）された小孢子細胞を決定から“release”し、胚様体形成（EM）または器官分化（OR）の方向に決定しようとする操作である。Nitsch, C., ら（1982）はイネ科植物ではこのような切り替え操作に反応しうる（Competent）小孢子的発育のステージは非常に限定されたものであると考え、葯培養法の詳しい点検を行い、花粉の発育ステ

ジ、葯の培養前低温処理の温度と時間、培地のホルモン濃度、培地の組成を適切に選ぶことにより、トウモロコシで置床した葯の3~10%から44個体を得て、その中から42個体の半数体を得ている。なお、この場合の個体再分化はEM（またはEMC）の経路によっている。

葯培養で出現するアルビノ分化個体の研究は Day, A. and Eillis, T. H. N. (1984) に行われた。コムギの葯培養で出現したアルビノ分化個体の葉緑体DNAを抽出し、その制限酵素切断パターンを種子から生じた緑色個体のそれと比較し、アルビノ個体のDNAに大きな領域の欠失のあること、またアルビノ個体によって葉緑体DNAの変異のタイプの異なることを示す結果を得る。

おわりに

この綜説では、育種家に新技術のあらましを紹介することを主とし、他方では専門化した先端の分子生物・遺伝学研究者に育種の立場から考えた新技術の全体像と問題点を提示しようとした。両者のいずれでもない筆者の綜説であり、誤った点、不足な点はそれぞれ、叱正、訂正、補足をいただきたい。

植物育種におけるこの新技術の適用にはなお多くの問題がある。遺伝子組み換えを例にとれば、微生物と比較してみると、顕花植物のゲノムの大きさ（微生物の10⁴倍、生物中最も大きい）、イントロンや高度に反復したDNA塩基配列の存在などの遺伝子構造の差、House-Keeping gene（生物の全ライフサイクルを通じて発現している遺伝子）とLuxury gene（組織・器官に特異的に発現する遺伝子）の比率、全遺伝子の数の差（2~5倍）植物で特異な分化・脱分化の問題、発育にともなう遺伝子発現とそのプログラムの複雑さ、農業的に重要な遺伝子のクローニングの困難さなどを考えに入れなくてはならない。

おそらくDNAを切ったり、つないだりする技術は、現在の生長点培養と同様に、遠くはない将来にかなりの程度までルーチン化されるであろう。農業的に重要な形質、例えば耐寒性、耐塩性、耐乾性は細胞レベル、個体レベルでの耐性の機作（それぞれ複数）があり、最終的な耐性にいたる経路と関与する遺伝子（酵素）とそれらの段階的作用発現の解析が必要である。このような解析は生理学者、生化学者、生物物理学、遺伝学者の密接な共同研究、協力が必要である。新技術を育種へ適用するためには多分野での基礎的研究の蓄積が必要であり、DNA組換え技術のみでは、散発的な成果はえられても、その適用場面は限定されるであろう。研究の体制もこれに応じたものでなくてはならないと考えられる。〈完〉

（三和生薬株式会社）