

シリーズ ■ 果樹の生育調節剤研究の現状(19)

発根の制御

(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 果樹研究所 リンゴ研究チーム長 別所英男

1. 果樹の繁殖法

1年生の作物が主として種子繁殖されるのに対し、果樹では遺伝関係が雑ばくで種子繁殖では親と形質の異なる実生が得られるため、一般には栄養繁殖が行われる(表-1)。また、ブドウ、ブルーベリー、イチジクなどでは穂品種をそのまま挿し木を行って増殖が可能であるのに対し、多くの果樹では穂品種の挿し木繁殖が困難であるため、穂品種の根の役目を果たす台木を用い、接ぎ木によって繁殖が行われる。台木についても挿し木繁殖が可能なものはリンゴ台木のマルバカイドウ、JM系台木、セイヨウナシ台木のクインスA、クインスC、オウトウ台木のアオバザクラ、コルトなどに限られている。取り木で経済的な繁殖が行われているのはリンゴのM系台木などに限られる。このため、多くの

樹種では、同じ作物の種子を台木に用いる共台、またはその近縁種などの種子実生を台木として用いている。このことは、多くの樹種で品種または台木の挿し木による発根が困難であり、苗木の斉一性や繁殖労力の点で問題が多いことを示している。したがって、植物生長調節剤などを効果的に用いて、これらの樹種の挿し木繁殖性を改善することが必要である。

2. 発根のメカニズム

挿し木繁殖において新しい根を形成させることが重要である。果樹の挿し木発根は、ブドウ、イチジクのように枝の組織内に根源体が発達して枝の節や節間から発根するものと、リンゴのマルバカイドウのように挿し穂の基部にカルスが形成されカルスから根が形成されるものがある。

表-1 果樹の台木または品種の繁殖方法

作物名	挿し木	取り木	実生
カンキツ			カラタチ、ユズ、ナツミカン
リンゴ	マルバカイドウ、JM系台木、青台3	M系台木	ミツバカイドウ
ブドウ	テレキ5BB、テレキ5C、モンペリエ、自根苗		
ナシ			ホクシマメナシ、マメナシ、ニホンヤマナシ
セイヨウナシ	クインスA、クインスC		共台、ホクシマメナシ、マメナシ、ニホンヤマナシ
モモ			オハツモモ、野生モモ、ニワウメ、筑波5号、筑波10号
オウトウ	アオバザクラ、コルト		マメザクラ
ビワ	アンジェー(マルメロ)		共台
カキ			共台、マメガキ
クリ			共台
ウメ			共台、アンズ
スモモ	ミロバランスモモ、ニホンスモモ		共台、オハツモモ
ブルーン			共台、筑波5号、オハツモモ、アンズ
キウイフルーツ	自根苗		共台
ブルーベリー	自根苗		
イチジク	自根苗		
ギンナン			共台

表-2 リンゴ台木 M.26, M.9 における遊離型及び結合型 IAA 含有量 (Alvarez et.al, 1989)

台木	葉条	IAA含有量 (ng/g FW)		結合型/遊離型
		遊離型	結合型	
M.26	頂部	298.0±4.4	995.9±22.0	3.3
		280.0±9.1		
	基部	477.1±6.5	910.0±10.6	1.9
M.9	頂部	470.8±8.1		
		263.7±9.3	1346.0±91.4	5.1
	基部	166.6±7.6	1023.4±65.4	6.2
		162.2±8.7		

根以外の器官から新根が発生する場合を不定根という。不定根は枝の内部の内鞘細胞が分裂能力を回復し、細胞分裂を繰り返して根端分裂組織に発達し、内皮を破って出る。オーキシンは主根の伸長は抑制するが、細胞分裂を促進し、側根と不定根の形成を促し、細胞活性を維持するために必要とされる。他のホルモンも発根に関与していると考えられるが、オーキシンの役割が決定的である。サイトカイニンは側根の形成を阻害することが知られており、サイトカイニンを過剰生産した植物変異体は発根や根の成長率が劣る。また、サイトカイニンに対するオーキシンの比率が高いことが根の形成のために必要とされる。一方、サイトカイニンの受容が側根形成を誘導するための茎頂から主根へのオーキシン輸送に必要であり、正常な根系の形成に重要な働きをしていることがモデル植物を用いて明らかにされた (黒羽・佐藤, 2006)。また、エチレンやアブシシン酸も根の発達に関与しているとされる。

このように発根の過程は極めて複雑であり、最近その遺伝的な背景がシロイヌナズナなどのモデル植物を使用した研究によって明らかにされつつあり、オーキシンの輸送システムや維管束系の発達におけるオーキシンの役割、発根促進に用いられる合成オーキシンである IBA の役割に関する研究も行われている。

新根の形成におけるオーキシンの役割が組織培養を用いた手法で明らかにされつつある。リンゴ台木の中で発根の比較的容易な M.26 と困難な M.9 を用いて比較した結果、M.26 の葉条基部の遊離型 IAA 含有量は M.9 の 2.8 倍程度高く、このことが発根の容易さと関係していると考えられた (表-2)。発根の困難な M.9 は結合型の不活性化した IAA が高い割合であった (Alvarez, et.al, 1989)。また、リンゴ台木 M.9 には繁殖の過程でわい化性や発根性の異なる変異系統が選抜されている。発根の困難な M.9 EMLA や Lancep は、発根の比較的容易な Cepiland と比べて、新しい細胞を根源基に発達させる能力やオーキシンによる誘導後ただちに細胞を分化させる能力が優れていると考えられた。

また、外から与えられた IBA は挿し穂内に取り込まれた後で、IAA に転換されることが放射性同位元素を用いた実験でオリーブ及びブドウ (Epstein and Lavee, 1984) やリンゴ (Van der Krieken, et al., 1992) で報告されている。2 品種のオリーブを用いた実験では、IBA の処理 3 日後には、IAA の比率が 20~30% であったのに対し、27 日後には逆転し 70-80% が IAA となった (図-1)。

リンゴの不定根形成に関与する遺伝子 ARRO-1 の発現解析により、内生オーキシンの IAA や合成オーキシンの IBA をリンゴ実生に処理した際

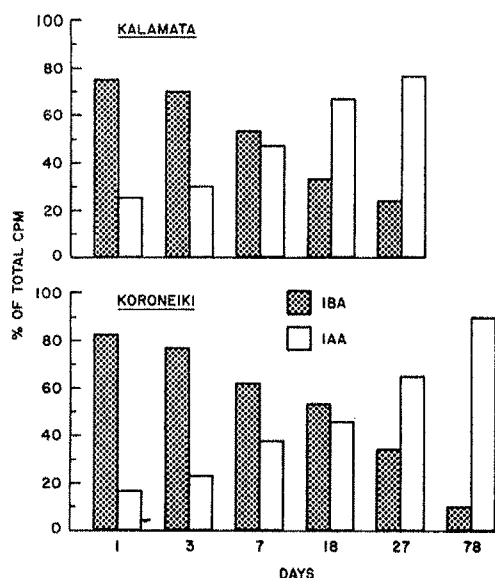


図-1 オリーブ切り枝における放射性 IBA と IAA の分配(Epstein and Lavee, 1984)

にはこの遺伝子が発現するが、合成オーキシンの 2-4D, ジベレリン(GA₃), エチレンの前駆体である ACC を処理しても発根が起こらなかった。(Butler and Gallagher, 2000)。しかし、2-4D の処理によっても不定根や側根の形成が起こるので、IBA や IAA とは異なる発根の促進経路が関与している可能性がある。

オーキシンは不定根の発生を促進するだけでなく、一度形成された根源基からの根の発生も促進する。挿し穂の基部に対するオーキシンの

処理は内生オーキシンを明らかに増大させるものである。一方、取り木や挿し木の基部を遮光することは、組織を軟らかく保ち、木質化を抑えることによって、発根を促進させる。

3. 発根に及ぼす要因

1) 休眠枝挿し

休眠枝挿しの発根率を高めるためには、挿し穂が充実していることが重要であり、枝が太いほど発根しやすく、枝の基部は先端部に比較して発根が良好である。充実した穂木を得るためには、挿し穂を採取するための母株を植えつけ、施肥を十分に行い、冬の剪定では強い枝が出るように強く刈り込むことが重要である。また、母株はウイルスや根頭がんしゅ病菌に汚染されていないことが前提となる。

リンゴの挿し木におけるオーキシン処理はいくつかの台木で異なる効果が認められている。福田ら(1988)は M 系台木及びマルバカイドウ台木の底面加温処理を用いた休眠枝挿しにおいて、MM.106 及び M.26 では IBA2000ppm 溶液の浸漬により発根率が高まったが、M.9 及びマルバカイドウでは処理効果が認められなかった(表-3)。また、M.27 台の休眠枝挿しでは、IBA 処理を行っても無処理区と同様に発根が認められ

表-3 各種リンゴ台木の休眠枝挿しの発根率に及ぼす IBA 処理の影響 (Fukuda et al, 1988)

台木	IBA 処理	発根率(%)	
		1982	1983
M.26	有	12.6	4.1
	無	0	0
MM.106	有	63.9	83.9
	無	6.8	15.0
M.9	有	0	-
	無	0	-
マルバカイドウ 'MO84'	有	-	86.7
	無	-	93.5

注) 25℃で20日間の底面加温処理後に、IB2000ppm 溶液を挿し穂の基部に7秒間浸漬処理。



図-2 JM1 台木の休眠枝挿しによる挿し木苗の生育状況

なかった（菊地・川原田，1991）。

果樹研究所は世界で初めて挿し木繁殖性のあるリンゴわい性台木のJM系台木を育成した（図-2）。リンゴ台木については、挿し木の発根促進及び発生根数の増加を目的としてインドール酪酸(IBA)の使用が認可されているが、挿し穂の基部をオキシベロン液剤4倍液(IBA1,000ppm溶液)に数秒間浸漬処理を行うことによって発根性が向上する。盛岡では以下のようにJM系台木の休眠枝挿しを行っている。①休眠期（12月下旬～2月下旬）に穂木を採取し、乾燥しないようにビニール袋に包み冷蔵庫（1～4℃）で貯蔵する。②挿し穂の調整は挿し木の1ヶ月前までに行う。枝を15cm程度に切り、基部をくさび形に削り、冷蔵庫で再貯蔵する。枝の先端は繁殖性が劣るので使用しない。③雪解け後（4月上旬）に土をできるだけ細かく耕起し挿し木床を作り、鎮圧後に黒マルチをはる。④挿し木は4月上中旬に行う。挿し木直前にさし穂の基部をオキシベロン液剤4倍液(IBA1,000ppm)に数秒程度漬ける。ナイフでマルチに穴を開けた後、1芽をマルチの上に出すように株間15cmで挿す。マルチが風であおられないように軽く覆土する。④挿し木後6月末までは土壌が乾かないように

灌水を行う。発根したら、尿素の葉面散布（水10L当たり尿素20g）を数回にわたり行う。

ブドウでは、‘ノースレッド’、‘ノースブラック’の休眠枝挿しにおいて、ロックウールを挿し木床とした場合、IBA濃度50～100ppmの24時間浸漬処理が発根促進に有効であった（久保・中川原，1997）。ヤマブドウではIBA及びNAAの100ppm溶液の浸漬処理によって発根が促進され、その効果はNAAよりIBAの方が大きかった（河合ら，2001）。

キウイフルーツでは、‘ヘイワード’及び‘モンティ’の休眠枝に採取直後にIBA処理と3週間の床面加温処理を行い、その後挿し木時まで貯蔵する方法によって休眠枝挿しを行ったところ、慣行の穂木を貯蔵後にIBA処理を行い挿し木を行う方法に比べて、発根が著しく良好となった。IBAの処理濃度については、IBA80ppmの20時間浸漬処理が20ppmや40ppmに比べて根量の点で優れていた（町田ら，1980）。

2) 緑枝挿し

当年の葉が付いた状態の新梢を用い、ミスト挿しやポリエチレンの容器内での密閉挿しを行う。ブルーベリー、オリーブなどでは自根苗の繁殖のために良く用いられる方法である。

緑枝挿しの穂木は春や夏の初めに採取される若い新梢である。緑枝苗を遅い時期に移植すると寒害の発生を助長する。1日のうちでいつ採穂するかも重要であり、早朝が最も良く、しおれを防ぐためには速やかに挿し木を行う必要がある。必要があれば、水に差して移動するのが良い。挿し穂の発根能力は母樹に対する剪定が強いほど、基部に近い位置から採取した挿し穂ほど高い傾向がある。また、組織培養由来の母樹は通常の母樹に比べて発根しやすい。

ウメの緑枝挿しはIBA4000ppm溶液に挿し

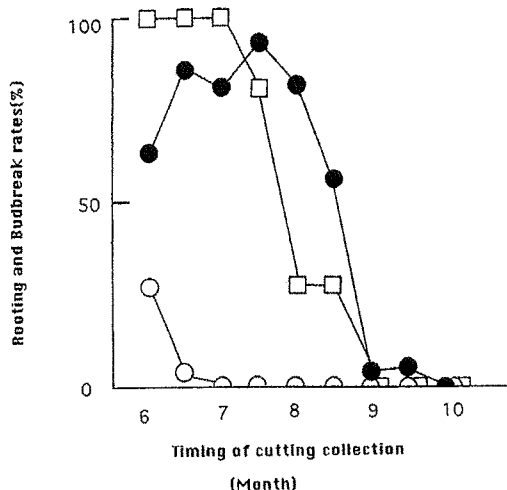


図-3 ウメ「南香」の緑枝挿し時期と発根及び発芽との関係 (村井ら, 1999)

● : IBA 処理区の発根率
○ : 無発根率 処理区の発根率
□ : 発芽率

穂を10秒間浸漬することによって6月上旬～8月上旬の挿し木で高い発根率が得られ、発根能は自発休眠が誘導されるにつれて低下した(図-3)。また、枝梢中のソルビトール含量が高い時期に発根能が高く、IBA処理によってもソルビトール含量が増加した(村井ら, 1999)。また、猪野ら(1981)はウメの緑枝を用いた密閉挿しについて挿し木の適期は6月であり、IBA30ppmの1昼夜浸漬処理とキレート鉄の併用処理がIBAの単独処理に比べて発根に効果があることを報告している。

モモの緑枝挿しにおいては、挿し木の時期は6月頃が良好であった(弦間ら, 1977)。また、発根促進剤の処理については、無処理区が全く発根しなかったのに対してIBA25ppm溶液に24時間浸漬することによって発根率が著しく高くなった(弦間ら, 1988)。挿し穂内の炭水化物はIBA処理区で顕著に減少したが、スクロースやソルビトールは増加した。また、 ^{14}C 標識同化産物の転流を調査した結果、IBA処理は挿し木

当初より同化産物の基部転流を促すのではなく、カルス形成期及び発根の1週間前頃から挿し穂基部でのラベル比が高くなった。このことから、IBAは直接的に同化産物の転流蓄積には関与しておらず、挿し穂基部でのカルス形成や発根に伴い代謝活性が高まった結果と考えられた。

リンゴのミスト装置を利用した緑枝挿しでは無処理ではほとんどの台木でまったく発根が認められず、IBA処理によって初めて発根が得られた。IBA濃度は高濃度短時間処理(4,000ppm5秒間)が低濃度長時間処理(5ppm, 1昼夜)に比べて優れていた。また、IBA4000ppmに2%のスクロースを添加することによって発根率が高まった(阿部・山家, 1973)。一方、リンゴの緑枝挿しについては、挿し穂基部のアルミホイルなどの遮光資材を使用した黄化処理が有効であり、IBA20ppmの20時間浸漬処理は無処理区に比べて発根が促進された(菊地・川原田, 1991)。町田(1979)は黄化処理が発根を促進する理由について、挿し穂の黄化部分にオーキシンが集積されることや柔細胞が大きく、組織が若い状態で分裂能力が高く維持される点をあげている。

ブドウのミスト下における緑枝挿しでは、挿し木の時期として6月は9月に比べて優れており、IBA25ppmの24時間処理によって発根が促進された(弦間, 1977)。

カンキツでは台木に使用されるカラタチの春枝を8月に採取し密閉挿しを行った結果、カラタチの系統によって発根性は異なるが、IBA150ppm溶液の5秒間浸漬することによって発根が促進された(堀江ら, 1993)。

3) 根ざし

台木の根を挿すことによってそこから芽及び新根の発生を促す方法である。リンゴ、カキ、オ

ウトウの台木等で試みられている。根ざしは枝挿しの困難な台木で検討されてきたが、繁殖効率は低い。

4. 終わりに

発根のメカニズムについてはモデル植物の突然変異体を用いて分子生物学的な研究が進み、根の形成と制御について新しい知見が得られている。これらの基礎的な知見を果樹の発根制御に生かしていくことが重要である。また、挿し木の発根促進剤としてはIBA処理が有効であるが、IBA処理によっても発根が促進されない樹種もあるので、新規の発根促進剤の探索も必要である。一方、リンゴのJM台木のように育種に期待するところも大きい。特に、発根性の低いカキ等では挿し木繁殖性をもつ栄養繁殖系台木の開発が急務である。今後、これらの分野の研究を推進し、繁殖コストの低減など果樹産業の基盤強化につなげていく必要がある。

参考文献

- 阿部薫・山家弘士. 1973. ミスト利用によるリンゴわい性台木繁殖に関する試験. 福島園試報. 4:1-9.
- Alvarez, R., S.J. Nissen and E.G. Sutter. 1989. Relationship between indole-3-acetic acid levels in apple (*Malus pumila* Mill) rootstocks cultured in vitro and adventitious root formation in the presence of indole-3-butyric acid. *Plant Physiol.* 89:439-443.
- Butler, E.D. and T.F. Gallagher, 2000. Characterization of auxin-induced ARRO-1 expression in the primary root of *Malus domestica*. *Journal of Experimental Botany.* 51:1765-1766.
- Epstein, E. and S. Lavee. 1984. Conversion of indole-3-butyric acid to indole-3-acetic acid by cuttings of grapevine (*Vitis vinifera*) and olive (*Olea europea*). *Plant & Cell Physiol.* 25(5):697-703.
- Fukuda, H., K. Ohnuma and Y. Nishiyama. 1988. Rooting behavior of hard wood cuttings of several apple rootstocks in relation to root primordia. 果樹試報 C15: 29-40
- 弦間洋. 1977. ブドウ・デラウエアの緑枝ざしにおける葉の有用性. 農及園. 52(9):91-92.
- 弦間洋・氏本喜隆・傍島善次. 1977. モモの挿し木繁殖に関する基礎的研究 I 体内養分と発根との関係. 京府大学報・農. 29:8-16.
- 弦間洋・中川洋子・傍島善次. 1978. モモの挿し木繁殖に関する基礎的研究. II 緑枝ざしにおけるIBAの発根促進効果. 京府大学報・農. 30: 14-21..
- 堀江裕一郎・草野成夫・野口保弘. 1993. カンキツ苗木生産における好適接ぎ木条件の解明. 第2報. カラタチ挿し木の発根条件. 福岡農総試研報. B-12:53-56.
- 猪野洋子・曾良久男・渡辺茂雄. 1981. ウメの挿し木繁殖に関する研究. 第1報. 緑枝ざしにおけるIBAとキレート鉄の発根効果と密閉さし木繁殖法. 千葉原農研報. 3:13-19.
- 河合義隆・前川豊孝・河瀬幸浩・平塚伸. 2001. ヤマブドウの挿し木発根におけるオーキシンの影響. 三重大生資農場研報. 12:44-47.
- 菊地秀喜・川原田忠信. 1991. リンゴわい性台木 M.27 の黄化処理による挿木繁殖. 宮城園試報. 8:1-14.
- 久保隆・中川原郁也. 1997. ブドウ 'ノースレッ

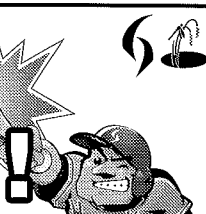
ド', 'ノースブラック' の苗木養成法. 第1報
IBA 濃度と挿し木床の種類. 東北農業研究.
50:131-32.
黒羽剛・佐藤忍. 2006. 不定根・側根形成におけ
るサイトカイニンの役割. 根の研究. 15(2):47-
53.
町田英夫. 1975. さし木のすべて. 誠文堂新光社.
東京.
町田英夫・大石惇・三浦務・細井寅三. 1980. キ
ウイフルーツの休眠枝さしにおける発根促進
の方法について. 静岡大学農学部研究報告. 30:

29-34.

村井泰広・原田久・望岡亮介・尾形凡生・塩崎
修志・堀内昭作・向井啓雄・高木敏彦. ウメ
の緑枝挿し発根と枝梢中のソルビトールと
の関係. 園学雑. 68(3):648-654.
Van der Krieken, W. M., H. Breteler d M. H.
M. Visser. The effect of conversion of
indolebutyric acid into indoleacetic
acid on root formation on microcuttings
of *Malus*. Plant & Cell Physiol. 33(6):
709-713.



水田除草は ホームラン剤でキメる!



**頑固な雑草を
クリーンに
キメる!!**

ミスター・ホームラン

一撃で
キメる。



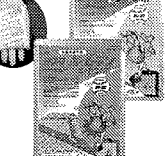
1キロ粒剤75/1キロ粒剤51

一撃で
キメる。



フロアブル/Lフロアブル

バグアで
キメる。



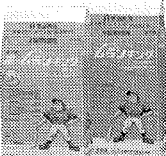
ジャンボ/JLジャンボ

**SU抵抗性 ホクコー
雑草防除の
切り札!!**

ホームランキング

新登場!

一撃で
キメる。



1キロ粒剤75/1キロ粒剤51

一撃で
キメる。



フロアブル/Lフロアブル

バグアで
キメる。



ジャンボ/JLジャンボ

「低コスト」「省力」「安全」ニーズに応えるホームラン剤

●ノビエ2.5葉期まで効果がある(ジャンボ剤は2葉期まで)

●ノビエに対する効果がなが〜く続く

●稲への安全性が高い



JAグループ
農 協 | 全 農 | 経済連



北興化学工業株式会社
〒103-8341 東京都中央区日本橋本町4-4-20
ホームページアドレス <http://www.hakkochem.co.jp>

©は発粉夜郎