

総合考察

本研究ではリンゴの‘ふじ’と‘つがる’に適する授粉専用品種を選抜するとともに現地での栽培に参考となる園地への導入条件について解明を行った。本章ではこれらの研究で明らかになった点を総合的に考察し、リンゴの授粉専用品種の利用技術について、今後の展望を述べる。

授粉専用品種を利用する目的は、従来の経済品種同士の混植に代わるリンゴの単植化を実現し、近年問題となっている農薬のドリフトを回避するとともに、農薬散布や各種作業の効率化を図ることでリンゴの低コスト栽培を目指すものである。

このためには、国内で保存する数多くのリンゴ属遺伝資源の中から主要経済品種に適する授粉専用品種を選抜する必要がある。Way(1978)は授粉専用品種に備えるべき特性として、果実が小さいこと、ウイルス抵抗性を有すること、開花量が豊富で毎年安定的に咲くこと、花粉量が多いこと、二倍体品種であること、花粉の発芽率が高いこと、栽培品種と開花の同調性があること、火傷病抵抗性であることをあげている。本試験ではクラブアップルやリンゴ属野生種を材料として開花期、開花量、主要品種との交雑和合性に着目して授粉専用品種の選抜を行った。

授粉専用品種の選抜において開花期の同調性は重要であり、栽培品種の頂芽開花期間全体にわたって花粉が供給されることが重要であるが、特に高品質の果実生産が期待できる栽培品種の頂芽中心花を結実させることが最優先される。授粉品種の花粉の放出期間と雌ずいの寿命との関係から、受粉有効期間は品種や年次によって異なるが、不良条件下での開花後1～2日程度と短い場合を除き、平均的には3～4日程度とされる(福島, 1956)。すなわち、クラブアップルの開花は栽培品種よ

り数日早いことが栽培品種の頂芽中心花の受粉に好都合である。

数年間にわたる開花期に関する解析の結果、‘ふじ’及び‘つがる’よりも開花が数日早い品種は、‘Makamik’、‘Sentinel’、*M. baccata* 79091等の品種であった。Nepal Apple Col. No. 85-134-2、西府海棠、ナガサキズミ、Mandshurica-1等は、開花期の早い品種であるが、開花期の年次変動が大きく、年によって開花期が前進し、‘ふじ’の開花期と合わない可能性が認められた。一方、Mayer et al.(1989)は、栽培品種の開花期に比べて満開日が同等または遅い品種は授粉樹としては適さないと判断している。本試験においても‘Snowdrift’等の開花始め日がやや遅い品種は、‘ふじ’及び‘つがる’の頂芽中心花の結実に対して授粉樹としての効果が劣る可能性が示唆された。したがって、開花の早い品種と‘Snowdrift’等の開花が数日遅い品種と組み合わせて植栽することにより、‘ふじ’及び‘つがる’の頂芽開花期間を通して花粉の供給が可能になるものと思われる。

また、*M. baccata* 79091等の開花が早い品種は、‘ふじ’より開花が早い‘王林’等の授粉に適し、‘Snowdrift’や‘Redbud’は‘ふじ’より開花が数日遅い‘シナノゴールド’や‘スターキング・デリシャス’の授粉樹に利用できると考えられた。

落葉果樹の開花期を左右する要因として、自発休眠を覚醒させるための冬期の低温と自発休眠後の高温要求性が関係するとされる(Gianfagna・Mehlenbacher, 1985)。リンゴの低温要求性は品種や種レベルで大きく異なることが知られている(Ghariani and Stebbins, 1994; Hauagge and Cummins, 1991)。本試験では青森県、岩手県、宮城県、秋田県の数年間のデータを利用してクラブアップルの開花期に及ぼす気温の影響について解析した。その結果、クラブアップルの開花は栽培品種と同様に自発休眠後の3月中旬～4月下旬頃の温度変化、特に自発休眠終了後の高温の影

響を受けやすいことが明らかになった。また、クラブアップルの開花期に及ぼす地域性の影響について検討し、同様な気象条件を有する北東北の青森県、岩手県、秋田県では開花期の差があまり認められなかったのに対して、南東北の宮城県では北東北の各県と開花パターンが異なっていた。一例として、宮城県では‘ふじ’と‘Snowdrift’の開花期に差は見られなかったのに対して、北東北の各県では‘Snowdrift’の開花が‘ふじ’より1日程度遅い傾向が認められた。Kronenberg(1985)は‘Boskoop’と‘ゴールデン・デリシャス’の開花期を比較した際に、北部及び中部ヨーロッパでは‘Boskoop’の開花期が‘ゴールデン・デリシャス’に比べて早い、南部ヨーロッパではほぼ同時期であったことを報告している。このように、品種によって低温要求性や自発休眠後の高温要求性が異なるため、地域による気象条件の違いが品種の発芽や開花パターンに影響を及ぼす可能性がある。これらのことは、クラブアップル品種の授粉樹としての評価が地域によって分かれる可能性があることを示している。本研究では北東北と南東北という比較的狭い範囲の比較を行ったが、今後は、北海道の寒地から本州の温暖なリンゴ産地まで広い範囲でクラブアップルの開花期や栽培品種との開花期の同調性について検討する必要がある。

リンゴの開花期に影響を与える要因として、気象条件の他に樹体の栄養条件も重要である。本研究では隔年結果による開花量の多少、台木、樹齢が開花期の早晩に影響することが明らかとなった。それぞれの要因は1日程度の影響であってもこれらの要因が重なった場合にはさらに開花期のずれが大きくなる可能性がある。基本的には隔年着花性の低い品種を授粉樹として選択することが重要である。また、台木を選択する際には台木による開花期の違いも考慮に入れるべきである。台木の違いによって開花期に差が生じる原因について、モモの例では秋に休眠に入るのが早

く、穂品種の低温要求性が高まり、結果として貯蔵養分の利用が遅くなり、開花期が遅れることが原因とされている(Durner and Goffreda, 1992)。今後、休眠に関与する遺伝子の動態解析等の基礎的な研究が必要と考えられる。また、リンゴの開花期に及ぼす台木の影響については、我が国で利用されている主要な台木について比較検討するとともに、地域による気象条件の影響についても検討する必要がある。一方、リンゴの若木では開花期が遅れるだけでなく、授粉樹として絶対的な開花量が少ないという問題点もある。樹勢の強い品種や肥沃な土壌条件では、わい性台木を使用することによって早期成園化を図ることが重要である。また、授粉樹の開花量が少ない場合には補助的に人工授粉を行うことも必要である。また、若木で開花が遅れるという現象はリンゴの幼若性と関連があると考えられる。近年、リンゴの早期開花に関する遺伝子研究が飛躍的な進歩を遂げ、花成に関与する遺伝子が明らかになった(Kotoda and Wada, 2005)。今後、リンゴ樹の幼弱性と開花期の関係についても、花芽形成や花芽発達に関与する遺伝子の解析を行うことにより、メカニズムの解明が進むことが期待される。

供試したクラブアップル品種の多くは栽培品種に比べて開花量が多かった。一方、頂芽花及び腋芽花が受粉に役立つかどうかは開花時期と密接な関係がある。すなわち、‘ふじ’及び‘つがる’より開花の早い品種では頂芽花及び腋芽花両方の花粉が授粉に利用可能である。一方、‘ふじ’及び‘つがる’と開花期が同じまたは遅いクラブアップル品種では、頂芽花の利用が主体となり、腋芽花の受粉効果は限定的である。むしろ、開花の遅い授粉品種では栽培品種の生産に不要な腋花芽の結実が増え、摘果作業を増やす可能性がある。一方、開花の早い品種では頂芽の開花量に加えて、腋芽開花量の多いことが重要である。‘Sentinel’、西府海棠、‘Makamik’、

山定子-1、*M. baccata* 79091、ナガサキズミ、Mandshurica-1、‘Red Splendor’は開花が早く、かつ腋花芽量も比較的多いため、‘ふじ’及び‘つがる’の頂芽花の受粉に役立つと考えられる。さらに、開花期が早く、これら栽培品種の腋芽花の開花期にはほぼ開花が終わっている授粉専用品種を用いることで栽培品種の腋芽花の結実を低下できる可能性がある。この点については、摘果剤を用いないことによる化学農薬の削減や摘果コストの低減の観点から重要と考えられ、今後、開花の早い品種を現地に導入し、その効果について実証していく必要がある。

一方、リンゴの栽培品種と同様に野生種やクラブアップルの中にも隔年着花性を有するものがある(Williams, 1975)。本試験で頂芽または腋芽で隔年着花性が認められた品種は Nepal Apple Col. No. 85-134-2、‘Peachleaf’、‘Jack’、‘メイポール’であったが、このような品種は授粉専用品種として適さない。また、クラブアップルの隔年着花性は若木には現れにくいですが、接ぎ木後5～6年を過ぎて花芽が十分に着生した成木で顕著に現れるとされる(Wilson and Elfving, 2004)。Makamik は若木では花芽の着生が良好であるが、樹勢が低下し新梢が伸びなくなると、隔年着花を起こしやすい。このような品種では、冬期剪定時に切り返し剪定を主体に行い、毎年新梢を発生させ樹勢が低下しないように栽培管理を行うことが重要である。

リンゴの自家不和合性は、雌ずいの柱頭内の阻害物質によって引き起こされる配偶体型不和合であり、今までに不和合性に関与するS遺伝子が同定された(Broothaerts et al., 1995; Janssens et al., 1995; Matsumoto et al. 2003, 2007)。このような遺伝子診断による和合性の判定に加えて実際に人工授粉を行って交雑和合性の判定を行う必要がある。本試験では授粉専用品種の条件として結実率80%以上を和合性の基準としたが、クラブアップル品種の粗花粉による‘ふじ’及び‘つがる’の

2年間の平均結実率は概ね80%以上であり、クラブアップルで結実率が問題となる品種は認められなかった。

我が国のリンゴ栽培においては果実を贈答に用いる慣習があり、諸外国と比べて高い外観品質が求められている。このため、着色等に加えて果実が大きいことや果形が豊満で均一なことが求められる。上村ら(2000)は‘ふじ’に対する人工授粉の試験において種子数と果実重や果実横径との間には正の相関があることを明らかにし、種子が8個以上形成されると300g以上の果実となり、しかも種子が均等に心室に形成されると果形が商品価値の高い正形になるとした。このことから、外観が重視される日本のリンゴ栽培において、栽培品種の種子を多く形成させる花粉親を選抜することが重要である。本試験では、‘ふじ’に対しては*M. baccata* 79091の授粉で種子が多く、‘つがる’に対しては‘Snowdrift’の花粉を交雑した場合に種子が多かった。

交雑親によってなぜ種子数の違いが生じるのかについて花粉特性との関係から検討した。その結果、花粉の発芽率、1葯当たりの花粉粒数、小粒花粉の多少が、種子数や結実率に影響していることが明らかになった。一方、‘メイポール’は花粉の発芽率が低く、かつ小粒花粉の割合が多かったにもかかわらず、交雑和合性は高かった。このことは花粉管の伸長速度等その他の要因も交雑和合性に関与していると考えられ、今後さらに検討していく必要がある。

リンゴ品種のS遺伝子型の解析が進むにつれて、交雑組み合わせでS遺伝子を共有しない完全和合の組み合わせとS遺伝子を1個共有する半和合の組み合わせがあることが明らかになった。Goldway et al. (1999)は、圃場条件において半和合の交雑組み合わせは、完全和合の組み合わせより結実率や収量が劣ることを報告してい

る。本研究では‘ふじ’、‘スターキング・デリシャス’、‘国光’を種子親として、各種栽培品種を花粉親に用いて、完全和合と半和合の交雑組み合わせにおける結実率及び種子数の違いを明らかにしようとした。その結果、粗花粉を使用した場合には完全和合と半和合の組み合わせ間で結実率に違いは認められなかったが、4倍以上に花粉を希釈した場合は、半和合は完全和合に比べて結実率が劣った。

また、人工授粉における花粉の発芽率と希釈倍率は重要な問題であり、完全和合と半和合について花粉の希釈限界及び花粉発芽率の限界値を明らかにすることが重要である。栽培品種は晩霜害等の障害が無い正常な花粉の発芽率は80%程度あるものと考えられる。‘ふじ’を種子親とした試験において、半和合の組み合わせでは4倍希釈で顕著に結実率が低下した。粗花粉の発芽率が80%であっても、半和合であることから実際の利用可能な花粉の発芽率はその1/2の40%となる。さらに4倍に希釈すると10%となる。長野県の果樹指導指針では、花粉の発芽率が60%以上あれば、花粉を4～5倍に希釈して使用が可能であるとしている（長野県・全国農業協同組合連合会長野県本部, 2006）。これらの点から人工授粉に使用する花粉としては最終的な計算上の花粉発芽率が10%以上あることが最低ラインになるものと考えられる。これまで授粉樹を選ぶ基準として、粗花粉による結実率が60%以上を示すものとされてきたが、今後は交雑組み合わせにおけるS遺伝子の共有程度についても考慮し、授粉樹として適当な経済品種が無い場合を除き、完全和合の品種を授粉樹として選ぶ必要がある。また、人工授粉用の花粉として‘祝’の花粉を用いることがあるが、‘ふじ’とは半和合の組み合わせになるので花粉の希釈倍率には注意する必要がある。

授粉専用品種は授粉のみを目的としているため、栽培品種とは栽培管理や園地へ

の導入条件が異なることが予想される。毎年安定的に花を咲かせるためには、花芽着生が良好であるとともに一定の栄養生長があることが望ましい。リンゴではわい性台木から強勢台木まで穂品種の樹勢調節が可能な台木を利用できるため、花芽着生が良好なクラブアップルでも適当な台木を選択することによって樹勢衰弱を防ぐことができる。わい化程度の強い JM1 台を使用した場合、花芽の着生過多により樹勢が衰弱しやすいため、自根条件では授粉専用品種の台木として適さない。樹勢の強いクラブアップル品種には JM7 程度のわい性台木を使用し、*M. X atrosanguinea* 20004522 や 'Sentinel' 等樹勢の弱い品種ではマルバカイドウ等の強勢台木、あるいは JM2 等の半わい性台木が適していると考えられる。Williams・Church(1983)は MM.106 よりわい化程度の強い台木は穂品種の樹勢が弱くなるため、クラブアップルの台木としては適さないとしている。しかし、我が国の温暖多雨な気象条件ではリンゴ樹の生育が強くなる傾向があるので、JM7 台程度のわい性台木も樹勢の強い品種との組み合わせで利用が可能であろう。

既存樹へクラブアップルを高接ぎする場合には、ACLSV、ASPV、ASGV 等の潜在ウイルスに感染して枯死する危険性がある(Williams・Church, 1983; Parish, 1982)。現地において高接ぎを行った品種のうち、*M. X atrosanguinea* 20004522、'Sentinel'、'Jack' は高接ぎ後に枯死または極端に樹勢が衰弱した。本試験では、*M. baccata* 79091、'Snowdrift'、ナガサキズミが 3 種のウイルスに対して抵抗性であった。現地試験で高接ぎして枯死または樹勢が衰弱した 2 品種について接種試験を行った結果、*M. X atrosanguinea* 20004522 は ACLSV、ASPV、ASGV の 3 種すべてに対して感受性であり、'Sentinel' は ACLSV (普通系、潜在系) 及び ASPV に対して感受性であることが明らかになった。

このように、クラブアップルを園地に導入する場合、高接ぎの場合には潜在ウイルスの感染によって枯死する可能性があるので、苗木で導入することが推奨されている(Parish, 1982)。一方、高接ぎによる導入は、既存樹をそのまま活用できることや樹冠の拡大や着花が早いこと等の栽培上の利点がある。したがって、既存樹に高接ぎする場合は、*M. baccata* 79091、‘Snowdrift’、ナガサキズミ等の各種ウイルスに対して抵抗性の品種を用いることが一つの解決策と考えられる。また、ウイルスフリーのリンゴ樹に高接ぎすれば、ウイルス感染の危険性は無くなるため(Williams, 1975)、今後は栽培品種及びクラブアップルの双方についてウイルスフリー化を進めることが重要と考えられる。

授粉専用品種候補として選抜したクラブアップルを高接ぎまたは苗木で現地へ導入を図り、生育及び花芽着生性について検討した。高接ぎ一挙更新樹では‘Makamik’、‘Redbud’、‘Snowdrift’、ナガサキズミの生育及び花芽の着生が良好であり、授粉専用品種として利用が可能であった。また、樹冠頂部の先端に高接ぎした場合には、一挙更新樹に比べて樹高は半分以下であり、果実が大きい品種での着果過多や既存樹から発出する枝との競合による生育不良が問題となったが、供試品種の中では‘Snowdrift’が生育及び花芽着生性が良好で樹冠頂部の高接ぎに適していると考えられた。しかし、開花の早い品種については十分な検討がなされていないため、今後、開花が早く生育の良好な高接ぎ用品種を選抜する必要がある。樹冠頂部への接ぎ木は、樹冠の主要な結果部位を栽培品種が占め、栽培品種の収量を減らさずに結実率を高めることができる。しかし、競合枝の整理や剪定等栽培管理に技術と時間を要し、多くの樹に高接ぎする必要があるため、一挙更新に比べると普及技術としてのハードルが高いと考えられた。

苗木での導入については土壌条件、植栽条件、使用する品種・台木の組み合わせによって樹の生育が異なった。特に、地力が劣る土壌条件、わい化程度の強いJM1台の利用、既存の栽培品種の近傍への植栽、樹勢の弱い授粉専用品種の利用等によって十分な生育が得られない場合が認められた。台木別では多くの品種でマルバカイドウ台の生育が良好であったが、マルバカイドウ台の‘Snowdrift’はJM1 中間台使用樹に比べて生育が劣っていた。リンゴの栽培品種では台木との接ぎ木親和性について検討されているが（小野田ら, 1994; 河田ら, 2002）、今後、クラブアップルの接ぎ木親和性についても明らかにする必要がある。

現地では植栽条件によるクラブアップルの生育への影響も大きかった。すなわち、既存樹の間にクラブアップルが植えられることが多かったため、栽培品種の枝とクラブアップルの枝が交叉する場合にはクラブアップルの芯枝の切り下げが行われることがしばしばあった。芯枝の切り下げを行うことによって、下部の枝の発出が促進されるが、結実の遅れや樹勢の衰弱が懸念される。また、クラブアップル樹の上部に栽培品種の側枝があるために、日照条件が劣り、クラブアップルの生育や花芽の着生に悪影響を及ぼす可能性がある。このように、生産者段階ではクラブアップルが既存樹の生育を妨げないように管理することや、できるだけ労力を掛けずに管理できることが重要視されると考えられた。従って、クラブアップル品種にとって花芽着生が良好であることは重要であるが、それに加えて環境的に不利な条件でも樹勢が保たれること、摘果しなくても隔年着花性が低いこと等がより重要になると考えられた。

クラブアップルの樹形については、できるだけ栽培品種の生育を妨げないようにコンパクトな樹形にする必要がある。このためには冬期剪定で太い側枝は段階的に

剪除して、細型の棒状仕立てとするのが基本である。栽培品種の側枝の下に株状にクラブアップルを置く植栽方法もあるが、樹勢の維持や花芽を安定的に着生させることが難しい。クラブアップルには‘Sentinel’や‘メイポール’のような直立性を示す品種や‘Makamik’や‘Red Splendor’のように開張性を示す品種がある。直立性の品種は頂部優勢性が強いので、繰り返し剪定を主体に行う。開張性の品種では間引き剪定を主体に行うが、太い側枝を剪除することで棒状に仕立てることが可能である。なお、開張性の品種は果実の重みで主幹が下垂しやすいので支柱を添えて主枝をまっすぐに生育させる必要がある。無剪定で樹勢が弱ってしまうと樹勢の回復が困難であるので、若木から間引き主体に剪定を行うことが必要である。

リンゴ園の生産性を高めるためには適正な密度で授粉専用品種を混植する必要がある。授粉専用品種の割合が少ないと経済品種の結実率の低下や扁形果の発生による商品化率の低下等が懸念される。一方、必要以上に授粉専用品種の面積割合を高くした場合は、経済品種の面積比率が低下し、減収につながる。本試験ではリンゴ単植園における授粉専用品種の導入効果について、授粉樹からの距離、授粉樹の花量、開花期との関係について明らかにした。しかし、本試験では授粉専用品種がまだ若木であったため、授粉樹の適正な混植密度を決定するには至らなかった。Kron et al. (2001)は授粉樹からの距離が15mを超えると結実率が低下することを報告しているが、同様に Soltesz(1997)は授粉樹からの距離は最大でも25mであり、わい化栽培では10~15m以内が望ましいとしている。今後、より高い品質水準が求められる我が国のリンゴ園での適正な授粉専用品種の混植密度を明らかにする必要がある。

生産者への授粉専用品種に関するアンケートでは、‘ふじ’の授粉樹として、高

接ぎ条件では‘ふじ’より数日開花の早い‘Makamik’の評価が最も高く、開花期は同時期であるが花芽の着生が安定している‘Snowdrift’の評価も比較的高かった。また、ナガサキズミや*M. baccata* 79091は導入後数年しか経っていないが、生育及び花芽着生が良好であるため、高接ぎ条件での利用が可能と考えられた。苗木では、‘Makamik’、‘メイポール’、ナガサキズミ、‘Snowdrift’、*M. X atrosanguinea* 20004522、‘Redbud’の評価が高かった。‘メイポール’は開花時期が‘ふじ’より数日早く開花期の同調性は高いが、隔年結果しやすいので授粉専用品種としては向かないと考えられる。しかし、‘メイポール’の果実は赤肉で酸味が強く、ジャムやジュースなどの加工に適するため、授粉加工兼用品種に適している。

これらの結果から、開花の早い品種では、*M. baccata* 79091、‘Makamik’及び‘Sentinel’が、開花期が中程度の品種では、*M. X atrosanguinea* 20004522、‘Redbud’、‘Snowdrift’が‘ふじ’及び‘つがる’の授粉専用品種として適していると考えられた(Fig. 7-1)。*M. baccata* 79091は開花がやや早く、*M. X atrosanguinea* 20004522、‘Redbud’、‘Snowdrift’は開花がやや遅い。‘Sentinel’は‘ふじ’や‘つがる’より開花が1日早く、開花期間も長く、開花量も多いことから、開花特性の点からは両品種の授粉樹に最適であると考えられた。しかし、‘ふじ’に対しては交雑試験における1果当たりの種子数がやや少ない傾向があり、この点についてはさらに検討していく必要がある。これらのことから、単独品種では‘ふじ’及び‘つがる’の開花期間を通じて十分に花粉を供給することは難しいと考えられた。このため、開花の早い品種と数日開花が遅い品種を組み合わせる園地に導入するのが安全である。複数の品種を導入することによって、単一品種による隔年着花性のリスクを分散させることができる。‘Makamik’は赤花品種であり、ミツバチを訪花昆虫として放飼し



M. baccata 79091



'Makamik'



'Sentinel'



M. X atrosanguinea
20004522



'Redbud'



'Snowdrift'

Fig. 7-1 Selected crabapple pollinizers suited for 'Fuji' and 'Tsugaru'.

ている園地では白花の経済品種との間で正常な訪花行動が得られない可能性がある。しかし、主要品種との開花期の同調性、開花量が安定して多いこと、交雑親和性も比較的高いことから、マメコバチの放飼園では利用が可能と思われる。

クラブアップルを授粉専用品種として園地に導入し、栽培品種との間に植栽した場合、病害虫の発生や農薬による薬害の発生等が問題になることがある。クラブアップルの多くが、野生種を材料としているので、栽培品種と比べて耐病性が強い場合が多い。伴(2004)は、クラブアップルの中で‘Sentinel’は黒星病と斑点落葉病に対して抵抗性であったことを報告している。また、今ら(2008)は、‘Red Splendor’、‘Red Jade’、‘Redbud’、‘Sentinel’、‘Snowdrift’は斑点落葉病に対して抵抗性であることを報告している。また、海外ではクラブアップルの火傷病抵抗性についても検討されており、新梢への接種試験によって‘Golden Hornet’及び‘Manchurian’は‘Snowdrift’に比べて罹病性が低いことが明らかにされている(Bonn and Elfving, 1990)。一方、農薬によるクラブアップル品種の薬害の発生は今のところ認められていない。このように、授粉専用品種を既存園に導入し、通常の防除を行っても病害虫や薬害の発生等の問題は生じないと考えられる。

リンゴの単植園では栽培管理の単純化による省力化、農薬のドリフトの回避等の点で多くの経営上の利点がある。我が国の生産者は1カ所にまとまった園地を所有している生産者は少なく、複数の園地を所有している場合が多く、それぞれの小面積の園地でも単植化することによって栽培管理の効率化が達成できる。リンゴの単植化は、近い将来、環境に優しく、低コストの高品質生産にとって欠かせないリンゴ栽培の革新技術になることが期待される。今後は、授粉樹の混植密度の決定、授粉専用品種の導入による結実向上効果、単植化による作業の効率化等について実証

的な研究を行い、リンゴの単植化を推進していく必要がある。

総 摘 要

リンゴは一般に自家不和合性を有し、経済品種を結実させるためには授粉樹を混植する必要がある。無登録農薬の使用を端緒に農薬取締法が改正され、栽培品種同士を相互に授粉樹として植栽するリンゴの混植園では農薬のドリフト（飛散）が問題となっている。このため、単一の品種を栽植し、異なる品種の混植を行わない「単植化」に対する生産者の要望が強まっている。リンゴ単植園で結実を確保するためには、授粉専用品種の植栽と訪花昆虫の導入が不可欠であるが、単植化は病害虫防除、収穫等の作業の効率化、栽培品種の結実率や果実品質の向上が期待されている。

そこで本研究では、我が国の主要品種である‘ふじ’と‘つがる’に適する授粉専用品種を選抜するとともに、それらの現地への適応条件を解明するための、以下の試験を行った。

1. 授粉専用品種の開花特性の解明

我が国におけるリンゴの主要品種である‘ふじ’及び‘つがる’に適する授粉専用品種を選抜するため、果樹研究所で保存するクラブアップルやリンゴ属野生種を用いて授粉樹としての特性を調査した。大部分のクラブアップル品種は白花であったが、一部に赤花の品種が含まれていた。クラブアップルの果実重は、10g未満の品種が多かった。開花の早い品種としては、*M. baccata* 79091、ナガサキズミ、‘Red Splendor’、山定子-1、‘Makamik’、‘Sentinel’、‘メイポール’等があり、中心花開花始め日が‘ふじ’及び‘つがる’と比べて1日～4日程度早かった。開花期が同時期の品種としては、*M. turesii*、*M. X atrosanguinea* 20004522、‘Snowdrift’、‘Redbud’

等があった。過去5年間の開花期の変化について比較した結果、供試したクラブアップルの中には開花始め日で最大15日間の年次間差が認められた品種があったが、品種毎の開花順位が大きく変わることはなかった。頂芽開花量は‘Makamik’及び‘Sentinel’で多く、腋芽開花量は、‘Snowdrift’、‘Redbud’、*M. X atrosanguinea* 20004522等で多かった。頂芽の隔年着花性は‘Makamik’、‘Sentinel’、‘Carmine’、‘Snowdrift’等で低く、腋芽の隔年着花性は、‘Carmine’、‘Makamik’、Profusion 91039で低かった。‘メイポール’において前年の着果数と翌年の花芽数には高い負の相関が得られたが、10cmに1果または2果そうに1果程度の摘果を行うことによって、花芽の着生を向上させることができると考えられた。

2. 授粉専用品種と栽培品種の交雑親和性

授粉専用品種と栽培品種との交雑試験を行い、結実率や種子数について調査した。‘ふじ’に各種栽培品種及びクラブアップルの花粉を交雑した結果、すべての品種で70%以上の高い結実率が得られ、1果当たりの種子数は、*M. baccata* 79091で多かった。一方、‘つがる’との交雑試験では、いずれの品種においても70%以上の結実率が得られたが、1果当たりの種子数は、‘Snowdrift’及び‘Redbud’で多かった。花粉の特性と交雑和合性の関係については、花粉の発芽率が低い場合、1葯当たりの花粉粒数が少ない場合、小粒花粉の多い場合等で結実率や種子数が低下する傾向が認められた。‘ふじ’、‘スターキング・デリシャス’、‘国光’を種子親として、S遺伝子を共有しない完全和合の組み合わせ及びS遺伝子を1個共有する半和合の組み合わせについて、粗花粉及び10倍までに希釈した花粉を用いて交雑試験を行った。その結果、粗花粉では、完全和合と半和合の組み合わせで結実率や種子

数に差が認められなかったが、4倍以上に花粉を希釈した場合、半和合の交雑組み合わせは完全和合の組み合わせに比べて有意に結実率が低下した。また、種子数については‘ふじ’を種子親として粗花粉及び2倍～10倍希釈の花粉を用いた交雑試験において4倍以上に花粉を希釈した場合に種子数が少なくなる傾向が認められた。

3. 授粉専用品種の開花期に及ぼす各種要因の検討

環境要因や樹体要因等の諸条件が授粉専用品種の開花期に及ぼす影響について検討した。主要品種の‘ふじ’及び数品種のクラブアップルを用いて2月～5月の気温データと開花期の関係について検討したところ、自発休眠終了後の3月中旬～4月下旬頃の気温、特に最高気温との間に高い相関が認められた。また、2004年から2006年までの青森県黒石市、岩手県盛岡市・北上市、秋田県横手市、宮城県名取市における開花期データを用いて開花期と地域性について検討を行った。北東北の各地点と南東北の名取市との間で開花の傾向が異なり、名取市では‘ふじ’と‘Snowdrift’の開花期に差は見られなかったのに対し、北東北では‘Snowdrift’が‘ふじ’より1日程度遅い傾向が認められた。また、名取市では北東北と比べて多くのクラブアップル品種で‘ふじ’に対する相対的な開花期が早まる傾向が認められた。開花期に及ぼす開花量の影響については開花量が少ない樹は多い樹に比較して、頂芽の開花始め日で1～3日程度遅れ、頂芽満開日は同等か1日程度の遅れがあった。また、クラブアップル15品種のうち7品種において、開花項目のいずれかと開花量の間に関連が認められた。開花期に及ぼす台木の影響についてはJM7がJM1やマルバカイドウに比べて開花期が1日程度遅れる傾向が認められた。また、

開花期に及ぼす樹齢の影響については、多くの場合、樹齢の古い樹が若木に比べて開花が1日程度早まる傾向が認められた。

4. 授粉専用品種の生育、花芽着生性と台木との関係解明

おい化程度の異なるリンゴ台木に各種クラブアップルを接ぎ木し、品種・台木組み合わせによる苗木の生育及び花芽着生性を比較した。JM7 台使用樹における5～7年生樹の生育は、‘Redbud’、‘Profusion’、‘Red Splendor’で良好であり、花芽着生は‘Redbud’、‘Red Splendor’、‘Sentinel’で良好であった。JM1 台使用樹における4～6年生樹の生育は、全般に樹勢が弱かったが、‘Peachleaf’、‘Redbud’及び‘Snowdrift’は比較的生育が良好であった。また花芽の着生は‘Redbud’及び‘Snowdrift’で良好であった。マルバカイドウ台使用樹における2～4年生樹の生育は‘Makamik’が最も良好であり、花芽の着生は‘Redbud’、‘Snowdrift’、‘Makamik’、‘Sentinel’が良好であった。JM7 台使用樹における2～4年生樹の生育は、‘Peachleaf’、ナガサキズミ、Nepal Apple Col. No. 85-134、小黄海棠、‘Redbud’で良好であり、花芽の着生は‘Red Splendor’、‘Sentinel’、‘Makamik’、ナガサキズミで良好であった。これらの結果から、特徴的なタイプとして3つの品種群に分類した。すなわち、‘Makamik’、‘Redbud’、ナガサキズミ、‘Red Splendor’、‘Snowdrift’は樹勢が中程度から強く、かつ花芽着生性が比較的良好な品種群である。これらの品種にはJM7程度のおい性台木、または半おい性台木が適する。Nepal Apple Col. No. 85-134、‘Peachleaf’、小黄海棠は樹勢が強いが、花芽着生性が劣るとともに隔年着花性があり、授粉樹として適さない。M. X *atrosanguinea* 20004522 及び‘Sentinel’は樹勢が中から弱いが、花芽分化率が高い。これらの品種には半おい性台木またはマルバカイドウのような強勢

台木を使用する。

5. 選抜した授粉専用品種のウイルス感受性の解明

各種クラブアップル品種を岩手県内のリンゴ園で高接ぎを行った結果、‘Peachleaf’、‘Snowdrift’、‘Makamik’、‘Redbud’、ナガサキズミ、*M. baccata* 79091等の品種は高接ぎ後に健全な生育を示したが、*M. × atrosanguinea* 20004522、‘Sentinel’、‘Jack’は高接ぎ病症状で枯死または極端な生育不良となった。このため、有望な授粉専用品種候補についてリンゴの潜在ウイルスの ACLSV（普通系、潜在系）、ASPV、ASGV を単独または3種混合で接種を行い、ウイルス感受性について検討した。*M. baccata* 79091、‘Snowdrift’、ナガサキズミは3種の潜在ウイルスに対して抵抗性であることが明らかになった。‘Makamik’は ACLSV 普通系にのみ感受性であり、‘Redbud’は ACLSV 普通系及び潜在系に対して感受性であった。‘Sentinel’は ACLSV（普通系、潜在系）及び ASPV に対して感受性であった。*M. X atrosanguinea* 20004522 は3種すべてに対して感受性であった。

6. 授粉専用品種の現地における適応性評価

選抜した授粉専用品種候補を岩手県内の生産者の協力を得て高接ぎまたは苗木で現地に導入し、生育、花芽着生性、開花期等について検討した。

高接ぎ一挙更新樹については‘Redbud’及び‘Snowdrift’の生育が良好であり、‘Makamik’は中程度、‘Peachleaf’はやや劣った。‘Redbud’、‘Snowdrift’、‘Makamik’の花芽着生は良好であったが、‘Peachleaf’は隔年着花性が認められた。また、ナガサキズミ及び *M. baccata* 79091 についても高接ぎ後の生育が良好であった。樹冠頂

部高接ぎ樹は一挙更新樹と比べると樹冠の拡大は小さかった。供試品種の中では‘Snowdrift’の生育が比較的良好であった。

各種台木を使用した苗木の生育は、台木、品種、土壌条件、植栽条件等によって異なっていた。台木別ではJM1台使用樹の樹勢が弱く、授粉専用品種の台木としては向かないと考えられた。JM7台は樹勢の強い品種や地力の高い条件での利用が可能である。マルバカイドウ台は多くの品種で樹勢が良好であった。一方、マルバカイドウ台の‘Snowdrift’は樹勢が劣る傾向が認められた。また、実生台は樹齢とともに樹勢が旺盛になり、花芽の着生が劣った。品種別では、‘Snowdrift’、ナガサキズミの生育及び花芽の着生が安定していた。‘Makamik’は初期生育が旺盛であったが、花芽の着生とともに樹勢が低下する傾向が認められた。*M. X atrosanguinea* 20004522 及び‘Sentinel’は樹勢が弱かったが、花芽の着生は良好であった。また、地力が劣る条件や、栽培品種の既存樹の近傍に植栽されている場合には、十分な生育が得られないことがあった。授粉専用品種の現地試験における開花期については、高接ぎ樹及び苗木においても果樹研究所内の研究結果と同様な傾向が認められ、‘Makamik’、‘Peachleaf’、‘メイポール’等は‘ふじ’より開花始め日が2日程度早く、‘Snowdrift’や‘Redbud’等の品種は‘ふじ’より開花始め日が1～2日程度遅れる傾向が認められた。リンゴの単植園に授粉専用品種を導入することによって‘ふじ’の結実率は授粉樹の花数に比例して高くなった。また、頂芽中心花を結実させるためには、開花の早い品種を利用した方が効率的であった。さらに、授粉樹からの距離が近いほど‘ふじ’の1果当たりの種子数が高まる傾向が認められた。現地試験協力農家に‘ふじ’の授粉専用品種としての可否についてアンケート調査を行った。高接ぎ条件では‘Makamik’の評価が最も高く、‘Redbud’、‘Snowdrift’、ナ

ガサキズミ、*M. baccata* 79091 も高接ぎでの利用が可能と考えられた。苗木では、‘Makamik’、‘メイポール’、ナガサキズミ、‘Snowdrift’、*M. X atrosanguinea* 20004522、‘Redbud’等の評価が高かった。

以上の結果から、開花の早い品種として *M. baccata* 79091、‘Sentinel’、‘Makamik’ を選抜し、開花期が同時期の品種として、*M. X atrosanguinea* 20004522、‘Redbud’、‘Snowdrift’を選抜した。開花の早い品種と開花の遅い品種を授粉樹として園地に導入することによって、‘ふじ’や‘つがる’の結実を安定させることができる。‘Makamik’は赤花であり、訪花昆虫としてミツバチを放飼している園地では白花の経済品種との間で正常な訪花行動を得られない可能性があるため利用できないが、マメコバチの放飼園では利用が可能である。

謝 辞

本論文の取りまとめにあたり、主指導教員として終始御懇篤なるご指導とご校閲を賜りました岩手大学教授・壽松木章博士に衷心より深謝の意を表します。また、本論文の取りまとめにあたり、懇切丁寧な御指導、御校閲を頂いた岩手大学農学部准教授・小森貞男博士、弘前大学農学生命科学部教授・荒川修博士、山形大学農学部・平智教授に心より深謝の意を表します。

本研究の実施と取りまとめに当たり、独立行政法人農業・食品技術総合研究機構果樹研究所企画管理部長・長谷川美典博士、同研究管理監・増田哲男博士、同リングゴ研究チーム長・阿部和幸博士、同上席研究員・和田雅人博士、同主任研究員・工藤和典氏、同主任研究員・岩波宏博士、同研究員・守谷友紀博士、同果樹病害研究チーム上席研究員・伊藤伝氏、同企画管理部主任研究員・副島淳一氏、同主任研究員・猪俣雄司博士には多くの協力と助言を頂きました。特に、副島淳一氏には多大なる調査へのご協力を頂きました。伊藤伝氏にはウイルスの接種法及び病徴判定について懇切丁寧な指導を頂きました。岩波宏博士には、統計解析の手法について数多くの御教示を頂きました。心より感謝を申し上げます。

研究材料の育成や調査についてご協力を頂いた果樹研究所業務第1科・関村信夫氏、佐藤芳明氏、櫛引禎氏、佐々木祐一氏、佐藤平吉氏、判田弘志氏、業務第2科科長補佐・山下九八氏に心より感謝を申し上げます。

調査データの収集等で献身的な御協力を頂いた果樹研究所契約職員の関いづみ氏、國崎かの子氏に心から感謝を申し上げます。

クラブアップルの開花データについて快く御提供を頂いた青森県農林総合研究

センターりんご試験場育種部長・今智之氏、岩手県農業研究センター主任専門研究員・高橋司氏、秋田県農林水産技術センター果樹試験場主任研究員・上田仁悦氏、宮城県農業・園芸総合研究所副主任研究員・大沼欣生氏に心から感謝を申し上げます。

授粉専用品種の現地試験の実施にあたり多くの生産関係者の皆様にご協力を頂きましたことに厚くお礼を申し上げます。特に、試験開始当初よりご協力を頂いた岩手中央農業協同組合課長・藤井満氏、東長岡果樹生産組合組合長・藤沼伸氏、盛岡市生産者・小山田博氏、同北田正昭氏、同熊谷峰男氏、同藤原和孝氏、奥州市江刺区生産者・高野卓郎氏に心より感謝申し上げます。また、藤原和孝氏には授粉専用品種の重要性について本研究の端緒を与えていただきましたことに厚く御礼申し上げます。

本研究の遂行にあたり、リンゴ品種の単植化に関するプロジェクト研究を共同で取り組み、多くの助言を頂いた岐阜大学教育学部教授・松本省吾博士、中央農業改良普及センター西和賀普及サブセンター所長・佐々木仁氏、岩手県農業研究センター園芸研究室長・田村博明氏、宮城県農業・園芸総合研究所技術次長・菊池秀喜氏、同上席主任研究員・鶴飼真澄氏、長野県農政部副主任専門技術員・小松宏光氏、長野県果樹試験場研究員・前島勤氏に心より感謝申し上げます。また、研究アドバイザーとして研究方向に対する的確な助言と暖かい激励を賜った花巻市葡萄が丘農業研究所所長・藤根勝榮氏に深くお礼を申し上げます。

主論文の投稿に当たり御校閲を賜った米国コーネル大学園芸学部教授スーザン・K・ブラウン博士に厚くお礼を申し上げます。

本研究の取りまとめに当たりご助言及びご協力を頂いた田中紀充博士をはじめ

岩手大学農学部果樹園芸学研究室の皆様には深く感謝致します。

さらに、本研究の遂行にあたっては果樹研究所の多くの皆様からご支援を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 阿部洋・工藤和典・別所英男・猪俣雄司・和田雅人. 2005. リンゴJM 台木上「ジョナゴールド」における果実着色と新梢長との関係. 東北農業研究 58:165-166.
- 伴優幸. 2004. クラブリンゴ等の生態と耐病性. 青森県営農大学校. 学習の成果-平成15年度プロジェクト学習等論文集 277-280.
- 別所英男・吉田義雄・真田哲朗・土屋七郎・羽生田忠敬・増田哲男・樫村芳記. 1986. リンゴの台木に関する研究 第4報 CG系, M27 及び M9A 台木の特性について. 果樹試報 C13:1-17.
- Bonn, W. G. and D. C. Elfving. 1990. Evaluation of crabapple cultivars and selections for resistance to fire blight. *Acta Hort.* 273: 311-317.
- Brault A-M, D. Oliveira. 1995. Seed number and an asymmetry index of 'McIntosh' apples. *HortScience* 30:44-46.
- Broothaerts W., G. A. Janssens, P. Proost, and W. F. Broekaert. 1995. cDNA cloning and molecular analysis of two self-incompatibility alleles from apple. *Plant Mol. Biol.* 27:499-511.

Campbell A. I. 1962. The effect of some apple viruses on the growth of *Malus* species and varieties. J. Hort. Sci. 37:239-246.

Campbell A. I. 1971. A comparison of the growth of young apple trees on virus-infected and healthy rootstocks. J. Hort. Sci. 46:13-16.

Church, R. M., and R. R. Williams. 1983a. Comparison of flower numbers and pollen production of several dessert apple and ornamental *Malus* cultivars. J. Hort. Sci. 58:327-336.

Church, R. M., and R. R. Williams. 1983b. Comparison of the compatibility and metaxenia effects of several dessert apple and ornamental *Malus* cultivars with Cox's Orange Pippin. J. Hort. Sci. 58:343-347.

Church, R. M., R. R. Williams, and L. Andrews. 1983. Comparison of flowering dates and pollen release characteristics of several *Malus* cultivars used as pollinators for Cox's Orange Pippin apple. J. Hort. Sci. 58:349-353.

Crane M. B. and A. G. Brown. 1937. Incompatibility and sterility in the sweet cherry, *Prunus avium* L. Journ. Pom. & Hort. Sci. 15:86-116.

Crassweller, R. M., D. C. Ferree, and L. P. Nichols. 1980. Flowering crab apples as

potential pollinizers for commercial apple cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 105:475-477.

Crassweller, R. M., D. C. Ferree, and E. M. Smith. 1980. Potential pollinizers in commercial orchards. Ohio report 1980: 60-63.

Davis, L. D. 1957. Flowering and alternate bearing. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 70: 545-556.

Durner, E. F. and J. C. Goffreda. 1992. Rootstock-induced differences in flower bud phenology in peach. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117:690-697.

Fiala, J. L. 1994. Flowering crapples. The genus *Malus*. Timber Press. Portland.

Fridlund P. R. 1980. The IR-2 program for obtaining virus-free fruit trees. Plant Disease 64: 826-830.

Fridlund P. R. and M. D. Aichele. 1987. Reactions of crab apples considered as potential apple pollinizers to latent virus infection. Fruit Varieties Journal. 41: 17-18.

福島住雄. 1956. りんごの人工交配. 青森県りんご協会叢書第34号. 弘前市.

- Ghariani, K. and R. L. Stebbins. 1994. Chilling requirements of apple and pear cultivars. *Fruit Varieties Journal* 48:215-222.
- Gianfagna, T. J. and S. A. Mehlenbacher. 1985. Importance of heat requirement for bud break and time of flowering in apple. *HortScience* 20:909-911.
- Goldschmidt-Reischel, E. 1993. Use of ornamental apples for pollination of dessert cultivars. *Acta Agric. Scand., Sect. B, Soil and Plant Sci.* 43:176-180.
- Goldway, M., O. Shai, H. Yehuda, A. Matityahu, and R. A. Stern. 1999. 'Jonathan' apple is a lower-potency pollenizer of 'Topred' than 'Golden Delicious' due to partial S-allele incompatibility. *J. Hort. Sci. Biotech.* 74:381-385.
- Gothard, J. 1994. The use of crabapples as pollinizers in apple production. *Malus* 8: 3-8.
- Hatton, R. G. 1917. Paradise apple stocks. *J. Royal Hort. Soc.* 42:361-399.
- Hauagge, R. and J. N. Cummins. 1991. Phenotypic Variation of length of bud dormancy in apple cultivars and related *Malus* species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116:100-106.
- Horticultural Education Association Fruit Committee. 1960. The pollination of fruit crops. *Scientific Horticulture* 14:126-150.

Howell W. E. and G. I. Mink. 1996. Select *Malus* clones for rapid detection of apple stem grooving virus. *Plant Disease* 10:1200-1202.

市田俊一・栗生和夫・高橋正治. 1976. リンゴの発芽期・開花始の予測法. 青畑園試
研報. 1:17-40.

International Board for Plant Genetic Resources. 2002. Descriptor list for apple (*Malus*).
P23. IBPGR Secretariat, Rome.

石山正行・北山弘・佐藤耕・石沢清・中村喜治・鈴木長蔵・山田三智穂. 1995. リン
ゴの交雑和合性. 青森りんご試報. 28:1-21.

Janssens, G.A., I. J. Goderis, W.F. Broekaert, and W. Broothaerts. 1995. A molecular
method for S-allele identification in apple based on allele-specific PCR. *Theor. Appl.
Genet.* 91:691-698.

鎌田晶吉. 1992. リンゴの開花日に及ぼす気象要因の影響. 園学雑. 61:17-24.

Kang, I. 2004. Selection of crabapples as pollinizers for 'Hongro' apple cultivar. *Kor. J.
Hort. Sci. Technol.* 22:212-215.

Kang, I., G. Lee, M. Kim, A. Kwon, P. Peak and D. G. Choi. 2002. Selection of crabapple

as pollinizers for major apple cultivars in apple orchard. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 20:330-334.

川村英五郎・久保田貞三・福田博之・山根弘康・熊谷征文. 1966. リンゴの薬剤摘果に関する研究. 第2報. リンゴの摘果剤としてのデナポン. 園試報 C4:19-42.

河田道子・石川勝規・鈴木哲・小野田和夫. 2002. リンゴわい性台木 JM1、JM7 の利用法. 東北農業研究 55:153-154.

Keulemans, J., A Brusselle, R. Eyssene, J. Vercammen and G. van Daele. 1996. Fruit weight in apple as influenced by seed number and pollinizer. Acta Hort. 423:201-206.

菊池秋雄. 1929. 昭和二年及三年に於ける研究事項. 園芸之研究 24:1-19.

北山弘・佐藤耕・石山正行・鈴木長蔵・山田三智穂. 1984. M.26 台による主要品種の生産力の比較. 東北農業研究 35:191-192.

小池洋男・牧田弘・塚原一幸. 1993. リンゴ樹の生育に及ぼす ACLSV フリーM.9 台木の影響. 園学雑 62:499-504.

小池洋男・吉沢しおり・塚原一幸. 1990. リンゴわい性台樹の適正着果量と乾物生産の分配. 園学雑 58:827-834.

小森貞男・副島淳一・工藤和典・京谷英壽・阿部和幸・古藤田信博・小松宏光・伊藤祐司・別所英男. 1998. ‘つがる’, ‘世界一’, ‘夏緑’, ‘アキタゴールド’, M.9 等の S 遺伝子型解析. 園学雑 67:880-889.

今智之・深澤(赤田)朝子・工藤剛. 2008. リンゴ‘ふじ’に対する授粉樹としてのクラブアップルの評価. 東北農業研究 61:137-138.

Kotoda, N. and M. Wada. 2005. *MdTFL1*, a *TFL-1* like gene of apple, retards the transition from the vegetative to reproductive phase in transgenic *Arabidopsis*. Plant Science 168:95-104.

Kron P., B. C. Husband, P. G. Kevan and S. Belaoussoff. 2001. Factors affecting pollen dispersal in high-density apple orchards. HortScience 36:1039-1046.

Kronenberg, H. G. 1985. Apple growing potentials in Europe. 2. Flowering dates. Netherlands Journal of Agricultural Science 33:45-52.

Labuschagne, I. F., J. H. Louw, K. Schmidt and A. Sadie. 2002. Genetic variation in chilling requirement in apple progeny. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 127:663-672.

Lane W. D., M. Meheriuk, and R. A. MacDonald. 1995. Four ‘Summerland Crab’ pollinizers. HortScience 30:1108-1109.

Latimer, L. P. 1937. Self- and cross-pollination in the McIntosh apple and some of its hybrids. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 34: 19-21.

Looney N. E., and W. D. Lane. 1984. Spur-type growth of mutants of McIntosh apple: a review of their genetics, physiology and field performance. Acta Hort. 146:31-46.

町田郁夫. 1995. 指標植物、*Malus hupehensis* のリンゴ高接病病原ウイルスに対する反応. 青森りんご試報. 28:75-94.

松井巖・佐々木高・佐々木美佐子. 1981. リンゴわい性台木の土壌適応性に関する研究. 第1報 横手、平鹿地方における予備試験. 秋田果試研報 13:19-31.

松本省吾. 2007. マメコバチの訪花行動と花粉の伝搬距離. p15-19. (独) 農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所編. リンゴ単植化の手引き. (独) 農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所. 盛岡.

Matsumoto S., T. Eguchi, H. Bessho and K. Abe. 2007. Determination and confirmation of S-RNase genotypes of apple pollinators and cultivars. J. Hort. Sci. Biotech. 82:323-329.

Matsumoto S., Y. Furusawa, H. Komatsu and J. Soejima. 2003. S-allele genotypes of apple pollenizers, cultivars and lineages including those resistant to scab. J. Hort. Sci.

Biotech. 78:634-637.

Matsumoto S., S. Komori, K. Kitahara, S. Imazu and J. Soejima. 1999. S-genotypes of 15 apple cultivars and self-compatibility of 'Megumi'. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 68:236-241.

Matsumoto S., J. Morita, K. Abe, H. Bessho, K. Yamada, K. Shiratake and H. Fukui. S-RNase genotypes of wild apples necessary for utilization as pollinizers. Hort. Environ. Biotechnol. 50:213-216.

Mayer, D. F., C. A. Johansen, and J. D. Landen. 1989. Honey bee foraging behavior on ornamental crabapple pollinizers and commercial apple cultivars. HortScience 24:510-512.

長野県・全国農業協同組合連合会長野県本部. 2006. 果樹指導指針. P.58. 長野県・全国農業協同組合連合会長野県本部. 長野市.

Nyeki J., M. Soltesz, M. Toth, F. Gyuro, and A. Terpo. 1982. Possibilities of pollinating single variety apple orchards with *Malus* species. Acta Agronomica Academiae Scientiarum Hungaricae 31:252-256.

小野田和夫・藤根勝栄・佐々木仁・伊藤明治. 1994. リンゴM.26 台ジョナゴールド

の生育と果実品質に及ぼす中間台ふじの影響. 岩手園試研報. 7:79-84.

Parish, L. 1982. Viruses and crab apples as pollenizers. Proceedings of seventy-eighth annual meeting of Washington State Horticultural Association: 104, 106.

Pieniazek, S.A., S. W. Zagaja, and A. Czynczyk. 1976. Apple rootstock breeding programs in Poland. Compact Fruit Tree 9:15-19.

Preston, A. P. 1966. Apple rootstock studies: Malling-Merton rootstocks. J. Hort. Sci. 30:25-33.

Rehder A. 1940. Manual of cultivated trees and shrubs. P. 389-399. The Macmillan Company. New York.

Sakurai, K., S. K. Brown, and N. F. Weeden. 1997. Determining the self-incompatibility alleles of Japanese apple cultivars. HortScience 32:1258-1259.

Soejima, J. H. Bessho, S. Tsuchiya, S. Komori, K. Abe, and N. Kotoda. 1998. Breeding of Fuji and performance of JM rootstocks. Compact Fruit Tree 31:22-24.

Soltész, M. 1997. The location of varieties in apple orchards. Acta Hort 437:441-443.

Soltész, M. 2003. Apple [*Malus sylvestris* (L.) Mill.]. p. 237-316. In: P. Kozma, J. Nyeki, M. Soltész and Z. Szabo (eds.). Floral biology, pollination and fertilization in temperate zone fruit species and grape. Akademiai Kiado, Budapest.

Spiegel-Roy, P. and F. H. Alston. 1979. Chilling and post-dormant heat requirement as selection criteria for late-flowering pears. *J. Hort. Sci.* 54:115-120.

Sudds, R. H. 1939. The effect of Malling II and IX rootstocks on six apple varieties. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 37:319-321.

鈴木宏・丹野貞男. 1970. リンゴの開花結実に関する研究. 第1報. リンゴの発芽および開花予想. 秋田果試研報. 2:19-39.

鈴木宏・丹野貞男. 1971. リンゴの開花結実に関する研究. 第2報. 各地における3月上旬の最低平均気温と発芽・開花予想. 秋田果試研報. 4:33-55.

Szklanowska, K. and B. Dabska. 1991. The effect of pollination of apple trees by pollen of ornamental apple trees. *Acta Hort.* 288:458-463.

土屋七郎. 1982. わい性台木の種類. P.11-17. 吉田義雄・川島東洋一編著. リンゴわい化栽培の新技術. 誠文堂新光社. 東京.

- 土屋七郎・定盛昌助・吉田義雄・羽生田忠敬・村上兵衛・石塚昭吾. 1970. リンゴの台木に関する研究. 第1報 若木の生育ならびに結実に及ぼす EM IX, マルバカイドウおよびリンゴ実生台の影響について. 園試報. C6: 11-20.
- 上田仁悦・照井真・小林香代子. 2005. リンゴ‘ふじ’の受粉専用樹に適したクラブアップルの選抜. 東北農業研究 58:157-158.
- 上村大策・森田泉・金塚朱美・田口辰雄・久米瑞穂・田口茂春. 2000. リンゴ‘ふじ’に対する受粉作業の効率化. 秋田果試研報. 27:1-13.
- 後澤憲志・福島住雄. 1950. りんご主要品種の花芽分化期に就て. 園学雑. 19:125-133.
- Way, R. D. 1978. Crabapple pollinizers. N. Y. State Hort. Soc. Proc. 123: 97-101.
- Wertheim. 1996. Methods for cross pollination and flowering assessment and their interpretation. Acta Hort. 423:237-241.
- Westwood, M. N. and N. E. Chestnut. 1964. Rest period chilling requirement of Bartlett pear as related to *Pyrus calleryana* and *P. communis* rootstocks. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 84:82-87.

Williams, R. R. 1965. III. The effective pollination period for some apple and pear varieties. Rep. Long Ashton Res. Sta. 1965:136-139.

Williams, R. R. 1967. Pollination studies in fruit trees. IV. A pollinator system for the single-variety Cox's Orange Pippin orchard. Rep. Long Ashton Res. Sta. 1966:112-115.

Williams, R. R. 1975. Progress with *Malus* as pollinators in single variety orchards. *The Grower*, January 11: 86-87.

Williams, R. R. and R. M. Church. 1983. Growth and flowering of ornamental *Malus* pollinators in apple orchards. *J. Hort. Sci.* 58:337-342.

Williams, R. R. and F. P. Sims. 1977. The importance of weather and variability in flowering time when deciding pollination schemes for Cox's Orange Pippin. *Expl Hort.* 29:15-26.

Willson K. and D. C. Elfving. 2004. Crabapple pollenizers for apples. Factsheet, Ontario, Ministry of Agriculture and Canada.

<<http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/00-011.htm>>

Yanase, H. 1974. Studies of apple latent viruses in Japan. The association of apple

topworking disease with apple latent viruses. Bull. Fruit Tree Res. Stn., Japan Ser. C1:47-109.

柳瀬春夫・山口昭. 1982. リンゴステムピットティングウイルスのための新しい指標植物, ミツバカイドウ MO-65. 果樹試報 C9:69-77.

Young, E. and B. Olcott-Reid. 1979. Siberian C rootstock delays bloom of peach. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104:178-181.

Young, E. and D. J. Werner. 1984. Effects of rootstock and scion chilling during rest on resumption of growth in apple and peach. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109:548-551.

Young, E. and D. J. Werner. 1985. Chill unit and growing degree hour requirements for vegetative bud break in six apple rootstocks. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110:411-413.

吉田昌幸・村松裕司. 1998. 北海道におけるリンゴ新台木 JM 系の特性と繁殖性について. 北海道立農試集報 75:11-14.

吉田義雄. 1986. I 品種の成立—原産と来歴および育種の成果—. リンゴ品種大観. P. 1-7. 吉田義雄編著. 長野県経済事業農業協同組合連合会. 長野県.

吉田義雄・土屋七郎・定盛昌助. 1963. リンゴの品種および交配実生間における交配

不親和について. 園学雑 32:96-102.

Zisovich, A. H., R. A. Stern, A. Ahafir and M. Goldway. 2005. Fertilization efficiency of semi-and fully-compatible European pear (*Pyrus communis* L.) cultivars. J. Hort. Sci. Biotech. 80:143-146.