

盛土式根域制限栽培によるニホンナシの早期多収に関する研究

大 谷 義 夫*

目 次

総合要旨	1
要旨	2
第1章 序論	4
第2章 点滴灌水法による盛土式根圏制御栽培システム	6
第3章 培土量が樹体生育, 収量および果実品質に及ぼす影響	11
第4章 盛土式根圏制御栽培における灌水管理法の確立	16
第1節 樹体の生育時期ごとの吸水量	16
第2節 樹体の時刻帯ごとの吸水量	18
第3節 生育時期ごとの灌水量が樹体生育, 収量および果実品質に及ぼす影響	18
第5章 盛土式根圏制御栽培における施肥法の確立	23
第1節 施肥量が樹体生育, 収量および果実品質に及ぼす影響	23
第2節 樹体の年次別の窒素吸収量の推移	24
第6章 栽培法と仕立て方の違いが樹体生育, 収量および物質生産に及ぼす影響	27
第7章 密植・盛土式根圏制御栽培による早期多収技術の開発	33
第1節 ‘幸水’における早期多収技術の開発	33
第2節 ‘にっこり’における早期多収技術の実証	37
第8章 底面給水による低コスト根圏制御栽培法の開発	41
第1節 底面給水による盛土式根圏制御栽培システム	41
第2節 給水水位が樹体生育, 収量および果実品質に及ぼす影響	43
第3節 給水マットの幅が収量および果実品質に及ぼす影響	44
第4節 収穫前の給水水位が収量および果実品質に及ぼす影響	46
第9章 根圏制御栽培における結果枝更新技術の開発	49
第1節 くさび処理による結果枝更新技術	49
第2節 Uターン予備枝による腋花芽着生技術	50
第10章 根圏制御栽培の現地における実証	53
第11章 総合考察	59
引用文献	63

Summary	68
謝辞	70

総 合 要 旨

ニホンナシの主力品種である‘幸水’の収量は、栽培面積が急増した1970年代から35～40年程度が経過し、老木化による樹勢低下、萎縮症による樹体の枯死および紋羽病などの土壌病害により、近年の10 a換算収量は全国平均で2 t程度に落ち込んでいる。収量や所得向上のためには、改植や新植などにより樹の若返りを図るとともに、施設化や新品種の導入、作期や規模の拡大による栽培面積の確保が必要となる。しかし、成園化までには通常7、8年程度を要するとともに、改植園では紋羽病などの土壌病害の発生が懸念され、樹の更新が困難となっている。

そこで、ニホンナシにおける早期多収および高品質果実生産を可能とする実用的に優れた栽培法を、科学的根拠に基づき構築することを目的に試験を実施した。開発した盛土式根域制限栽培法（以下、根圏制御栽培）は、遮根シートにより地面と隔離した培土量150 Lの盛土に苗を植付け、樹齢、生育時期ごとに測定した吸水量に基づき、樹の成長に合わせて設定した灌水を行う方法で、培地を盛土にすることで滞水による湿害の発生がなく、培土量、灌水量および施肥量などにより樹勢を制御することができる。灌水は1回当たりの灌水量を少なくし、生育時期ごとに1日の必要量を数十回に分けて与える点滴灌水法が基本であり、植物の生育に合わせた養水分調節が可能である。

点滴灌水法による根圏制御栽培は、細根の発生を促し樹体生育が良好になるとともに、Y字仕立てにすることで葉面積指数（LAI）が4程度と大きくなり、乾物生産量が增大する。さらに、コンパクトな樹形とすることで果実への同化産物分配率が43%と高まり、‘幸水’の10 a換算収量は6 tと慣行の平棚地植栽培（以下、慣行）の2倍程度の高収量が得られることが明らかとなった。また、果実糖度は慣行よりも0.5～1.0%高く、高品質である。

根圏制御栽培の初期収量は、新たに開発した「二年成り育成法」により‘幸水’で植付け2年目から1.8 tと、慣行で7、8年を要する成園並の収量を早期に得ることができる。収量は、その後も着果数の増加とともに増加し、植付け5年目が6.1 t、5年間の累積収量が15.1 tと慣行の8.5倍と極めて早期多収性を示した。果実品質では、果重が大きく果実糖度も13%程度と慣行より1%以上高く推移し、高品質であった。Y字根圏区で早期多収が可能となった要因として、Y字根圏区は根域制限により樹体がコンパクトになり密植が可能なこと、樹体の吸水量にあった灌水管理により花芽数の多い結果枝が多く確保できること、Y字仕立てにより延べ棚面積の拡大が図られ早期の葉数が増えることがあげられる。また、栃木県育成の‘にっこり’は、植付け5年目の10 a換算収量が12.7 tと慣行‘幸水’の5倍程度と超多収性を示した。

点滴灌水法による根圏制御栽培の導入には、高額な灌水制御盤などの灌水資材が必要なため、初期経費が導入のネックとなる。そこで、灌水関係経費の削減を図るため、灌水制御盤を用いない底面給水法について検討した。底面給水法は、盛土の底面に設置した給水マットから毛管吸引を利用して盛土に吸水させる給水方法であり、ニホンナシでの実用事例はみあたらない。給水水位を地面から-2 cm、給水マットの幅を100 cmとすることで樹体の吸水量に応じた灌水ができ、10 a換算収量6.1 t、平均果重373 g、糖度12.7%と慣行の2倍程度の多収となったうえ、高品質となることが明らかとなった。底面給水法は点滴灌水法にくらべ導入時の灌水関係経費を36%程度に抑えることができ、低コストでの導入が可能である。

2007～2008年に根圏制御栽培を導入した3戸（F氏およびO氏：点滴灌水法、A氏：底面給水法）のほ場で、根圏制御栽培の早期多収性について現地実証試験を行った。現地での根圏制御栽培の樹体生育、果実肥大、収量および果実品質は、本試験（栃木県農業試験場）で検討したY字根圏区と同等で早期多収が再現されたことから、普及性は高いと考えられた。

導入にかかる経営収支を試算した結果、根圏制御栽培は慣行にくらべ初期経費が大きいですが、収穫開始が植付け2年目と早期で、初期収量も大きいため未収益期間が大幅に短縮され経営収支がプラスに転じるのが早かった。さらに、成園化までの期間も4年と短く、成園後の収量も慣行の2倍程度と大きいため、経営所得は慣行の3倍と極めて優れることが明らかとなった。

以上のことから、科学的根拠に基づき、早期多収および高品質果実生産が可能な根圏制御栽培を開発し

た。給水方法は、底面給水法とすることで灌水関係経費の削減が図られ低コストでの導入が可能となる。現地実証試験においても、根圏制御栽培の早期多収性が再現され、普及性は高いと考えられた。さらに、根圏制御栽培は、移植による未収益期間が短く早期に高所得が得られることから、農家経営改善効果の高い栽培方法である。

要 旨

1. ニホンナシにおける早期成園化および高品質多収栽培技術の確立を目的として、遮根シートにより地面と隔離した盛土に苗を植付け、樹齢、生育時期ごとに測定した吸水量に基づき、樹の成長に合わせて設定した灌水を行う盛土式根圏制御栽培法（以下、根圏制御栽培）を開発した。
2. 根圏制御栽培の培地は赤玉土：バーク堆肥の体積比が2：1の混合土を用い、灌水はコンピューター制御の点滴灌水で行った。灌水装置は流量計、灌水制御盤、電磁弁などで構成された。盛土上部への給水はコンピューターによるタイマーで制御し、灌水チューブにより給水した。灌水管理はあらかじめ樹齢、生育時期ごとに灌水量と盛土から排出した排水液量の差から求めた吸水量に基づき設定した生育時期ごとおよび時刻帯ごとの灌水量を、1日20回、40分間隔で盛土上部に設置した8本の灌水ノズルにより点滴灌水を行った。
3. ニホンナシの高品質多収を目的に根圏制御栽培における1樹当たりの適正な培土量を検討した。列間2.5 m×樹間2.0 mの栽植間隔における培土量は150 L区が収量および果実品質で優れた。
4. 果実肥大や樹体生育にストレスを与えない灌水管理を行うため、樹齢ごと、生育時期ごとに毎日の樹体の吸水量を測定した。生育時期ごとにみると、1日の樹体吸水量は葉数が最大に達する満開後91～120日に多くなり、成木の8年生樹で29.3 Lであった。日吸水量は葉数と正の相関を示し、展葉数に1葉当たりの吸水量を乗することで灌水量を決定できる。時刻帯ごとの吸水量は日射量との関係が大きく、正午から午後2時頃に吸水量のピークを迎えた。これらの調査から、生育時期および時刻帯ごとの灌水マニュアルを作成した。
5. 土壌乾燥の影響は生育時期ごとに異なり、満開後31～60日の土壌乾燥は、灌水量の削減が図れるとともに腋花芽着生を向上させる有効な方法である。満開後61日以降の土壌乾燥は果実肥大を低下させ、満開後91日以降の土壌乾燥は糖度を向上させた。
6. 樹体の吸収特性に応じた効率的な施肥管理技術を確立するために、樹齢ごとの乾物重増加量、窒素吸収量を検討した。樹体の1年間の乾物重増加量および窒素吸収量は樹齢とともに増加し、成木で10 a換算1,780 kg、窒素吸収量20.4 kgであった。この調査をもとに樹齢ごとの施肥窒素量を設定した。また、使用した肥料は、リニア型100日タイプの緩効性被覆肥料で、催芽期から収穫期までの溶出特性が樹体の窒素吸収特性と類似した。
7. 栽培方式と仕立て方が樹体生育、収量および乾物生産に及ぼす影響を検討した。根圏制御栽培では、仕立て方を2本主枝Y字仕立てにすることにより、糖度が高く慣行の2倍の収量が得られることが明らかとなった。また、細根の発生が多く樹体生育が良好になるとともに、Y字仕立てにすることでLAIが大きく、LADが一層に集中することなく0.5～2.5 mの高さに配置されることで、受光体制が良好となり乾物生産量が多くなった。さらに、コンパクトな樹形とすることで果実への同化産物分配率が高まり、収量および糖度の向上が図られた。
8. 根圏制御栽培2本主枝Y字仕立て（Y字根圏区）の早期多収性を明らかにするため、植付け1年目から5、6年目の樹体生育、収量および果実品質を検討した。Y字根圏区の10 a換算収量は植付け2年目から‘幸水’で1.8 tとなり早期多収であった。収量は、その後も着果数の増加とともに増え、植付け5年目が6.1 t、5年間の累積収量は15.1 tと慣行の平棚地植区（以下、慣行）の8.5倍と極めて多収となった。果実品質では果重が大きく果実糖度も高く推移した。Y字根圏区で早期多収が可能となった要因として、Y字根圏区は根域制限により樹体がコンパクトになり密植が可能なこと、樹体の吸水量にあった灌水管理により花芽数の多い結果枝が多く確保できること、Y字仕立てにより延べ棚面積の拡大が図られ早期

から葉数が多くなることがあげられる。なお、‘にっこり’は植付け5年目の10 a換算収量は12.7 tと超多収性を示した。

9. 根圏制御栽培における初期導入経費削減の可能性を探るため底面給水法の導入を試みた。給水水位を地面から-2 cm, 給水マットの幅を100 cmとすることで樹体の吸水量に応じた給水ができ10 a換算収量6.1 tと慣行栽培の2倍程度の多収となったうえ、果重373 g, 糖度12.7%と高品質となることが明らかとなった。さらに、満開後91日から15日間給水水位を-8 cmに下げ盛土をpF2.6程度に乾燥させた後、給水水位を-2 cmに戻すことで土壌pFは1.5程度となり果重を低下させることなく糖度を向上させることができた。底面給水法は一般的な点滴灌水法にくらべ導入時の灌水関係経費を36%程度に抑えることができると試算される。
10. 2007～2008年に根圏制御栽培を導入した3戸（F氏およびO氏：点滴灌水法, A氏：底面吸水法）のほ場で、現地実証試験を行った。樹体生育、果実肥大および収量は本試験（栃木県農業試験場）で検討したY字根圏区とくらべ同等で、普及性は高いと考えられた。果実糖度はY字根圏区よりも1%程度低い数値であったが、これは栃木県農業試験場の収穫基準よりも熟度が若い果実を収穫しているためであると考えられた。根圏制御栽培導入にかかる経営収支を検討した結果、根圏制御栽培は初期投資が大きいですが、収穫開始が植付け2年目と早期で、初期収量が大きいため経営収支がプラスに転じるのが早く、その後の累積所得の増加が慣行にくらべ格段に大きい。また、成園後の収量も慣行の2倍程度と大きいため、経営所得は慣行の3倍程度と極めて優れることが明らかとなった。

第1章 序論

ニホンナシ (*Pyrus. pyrifolia* (Burm. f.) Nakai, 以下省略) の主力品種である‘幸水’は、赤ナシとして品質の良さが全国的に評価され、2005年には栽培面積が6,140 haとニホンナシ全体の約40%を占めている。しかし、栽培面積が急増した1970年代から35~40年程度が経過し、以前から指摘されていた老木化による樹勢低下、萎縮症による樹体の枯死(中村, 2005) および紋羽病などの土壌病害(渡辺, 1963)により、収量・品質の低下が深刻化している。

収量や所得向上のためには、改植や新植などにより樹の若返りを図るとともに、施設化や新品種の導入、作期や規模の拡大による栽培面積の確保が必要となる。しかし、成園化までには通常7, 8年程度を要するとともに、改植園では紋羽病などの土壌病害の発生が懸念され(新田ら, 1998), 樹の更新が困難となっている。

ニホンナシの平棚栽培は台風による落果を軽減するために始まったが、立木仕立てより収量が多いこと(岸本, 1972)から普及が進み、現在は大部分が平棚栽培となっている。

ニホンナシの平棚栽培による高生産技術については、側枝密度(金子ら, 1988), 着果数(岸本, 1975; 三好ら, 1974), 物質生産(内田・高橋, 1995), 葉面積指数(小豆沢・伊藤, 1983; 文室・村田, 1989; 林ら, 1995; 平田ら, 1980; 金子ら, 1988), 葉果比(平田ら1980; 池田, 2009; 三好ら, 1976; 臼田ら, 1987) および主枝本数(吉田, 2008) など多方面から検討がされ、栽培の基準化や体系化により‘幸水’で10 a当たり3 t程度の収量が可能となったが、ニホンナシの栽培面積が減少していく中、高品質に加え収量向上を目指すには新たな栽培方法の確立が必要である。

近年、改良むかで整枝(明田・田中, 2003)や波状棚によるH型樹形・Y字樹形(松野, 2006)といった、平棚を脱却する栽培方法が検討されている。これらの方法は作業性が良く整枝・剪定が簡易である。改良むかで整枝では大苗育苗を利用することで定植2年目から結実し、4年目に‘豊水’で10 a当たり4 tと慣行の平棚栽培よりも成園化を早めることを可能としたが、成園化後はこれまでの平棚栽培を大幅に上回る収量の向上は図られていない。

一方、ニホンナシの改植、新植を進めるためには植付け後の早期多収が課題となる。ニホンナシの早期多収は間伐樹に主枝本数の多い整枝法を用いること(吉田, 2008), 3~4年育成した大苗を用い2本主枝一文字整枝

(加藤, 2001)や2本主枝H型整枝(押田, 2001)で育成すること、大苗を用いた「むかで整枝」(明田・田中, 2003), 樹体を連結するジョイント仕立て(柴田・川嶋, 2005)など整枝法や育苗法を組み合わせることで実現が図られてきた。これらの栽培法は成園化までの期間を短縮することができ改植・新植に有効な方法といえるが、生産者が所得向上による経営改善を図るためには単位面積当たりの収量の増大も重要となる。

根域制限栽培は限られた根域で樹体の養水分制御を行う栽培技術であり、積極的に栽培環境を調節できることから、ウンシュウミカン(松本ら, 2006; 澤野ら, 1998, 2001), ブドウ(今井, 1991; 寺門・江橋, 2005), オウトウ(古山ら, 2005), イチジク(本美ら, 1994; 鎌田・安間, 2004), モモ(本美ら, 1995; 松波ら, 2001) およびカキ(蒲生・文室, 2001)など多くの樹種で高品質果実生産や早期多収が図られ、一部の樹種では実用化が図られている。ニホンナシでは文室(2000) および文室ら(1999)が栽培法の確立を目的としていないものの、根域制限ベッドに栽植した‘幸水’5年生樹で37 t・ha⁻¹の収量を得ているが、実用化には至っていない。また、これは単年度の検討であり、ニホンナシの根域制限栽培で苗木から成木に至るまでの収量・品質や樹体生育を調査した報告は見当たらない。

一方、根域制限栽培は水分ストレスや根量の減少によって樹勢が落ち着き、花芽の着生は促進されるが、培地が少量であったり適正な水分管理を行わないと果実肥大が抑制される(澤野ら, 1998)。また、ポットや木枠などの容器を用いると、根が容器の壁面に沿ってびっしりと張った状態、いわゆる「根巻き」やポット内が根で充満する「根づまり」が起こり、花芽着生は良好となるが生育が抑制される。このため、水分ストレスの急激な変動を防ぐため詳細な樹体吸水量の解明および樹体生育に応じた吸水量の解明が必要となるとともに、設定した灌水量を的確に制御できる灌水設備の設置が必須となる。

点滴灌水法は灌水制御装置を用いることで使用者が必要とする灌水管理を行うことができる。一方、灌水制御盤や点滴装置などの設備が必要で導入経費が大きいという欠点があるため、低コストで安定的に給水できる灌水システムの開発が課題として挙げられる。底面給水法は鉢底から養分や水分を与える手法の総称であり、施与方法も多様である。この方法は水と培地を直接に接触させる「干滴灌水、エプアンドフロー灌水」と、水と培地の間にマットやひもなど毛管の発達した吸水資材を配し、培地より低い位置にある水を吸水させる「マット・ひも灌水」の2つに大別される(長村, 1995)。毛管ひもを

用いた底面給水法は灌水の自動化と鉢内の水分均一化を目的に、1970年代後半に岐阜農試の渡辺（1979）により考案され、1980年代中頃より急速に普及した。その後、この手法は鉢内から、ひもまたは不織布を垂れ下げ、下部に設けた水溜めから水を吸い上げる栽培鉢に適用された（管ら、1989）。現在、この方法は省力的で培地を極端に乾燥させない限り給水ムラが少ないこともあり、シクラメンをはじめとして多くの鉢物の栽培に導入されている。一方、野菜類では中原（2004）が栽培容器内を2枚の遮根透水シートで覆いシート間に根を張らせ、シートの上に培地を、シート下に毛管ひもを配し底面給水させることによる高糖度トマトの生産様式を開発している。また、最近では底面給水を表面ドリップ灌水と併用すれば生産が安定する（石原ら、2006）とする研究例もみられる。しかし、ニホンナシにおいては底面給水法による栽培事例は見当たらず、栽培の可能性も未知数である。

本論文では、ニホンナシにおいて遮根シートにより地面と隔離した盛土に苗を植付け、樹齢、生育時期ごとに測定した吸水量に基づき、樹の成長に合わせて設定した灌水を行う「果樹類の盛土式根圏制御栽培方法（金原ら、2005）」（以下、根圏制御栽培という）による高品質多収技術の開発を図った。まず、第2章では本システムの構造および点滴灌水システムを詳述した。第3章では培土量を変えた栽培試験により安定栽培のできる培土量を明らかにした。第4、5章では樹体の吸水量や窒素吸収量を調査し灌水および施肥管理技術の確立を目指した。第6章では栽培方式と仕立て方を変えた試験により根圏制御栽培に適した仕立て方の選抜を目指した。第7章では栽培方式と植付け後1年目から行った仕立て方を変えた試験により早期多収技術の確立を目指した。第8章では灌水設備の低コスト化を図るため底面給水法の確立を目指した。第9章では本試験で確立した点滴灌水法および底面給水法による根圏制御栽培の現地における実証を行った。第10章では根圏制御栽培の早期成園化、高品質多収技術の考察と安定栽培技術および現地普及に向けた取り組み方策について考察した。

第2章 点滴灌水法による 盛土式根圏制御栽培システム

1. 根圏制御栽培の概要

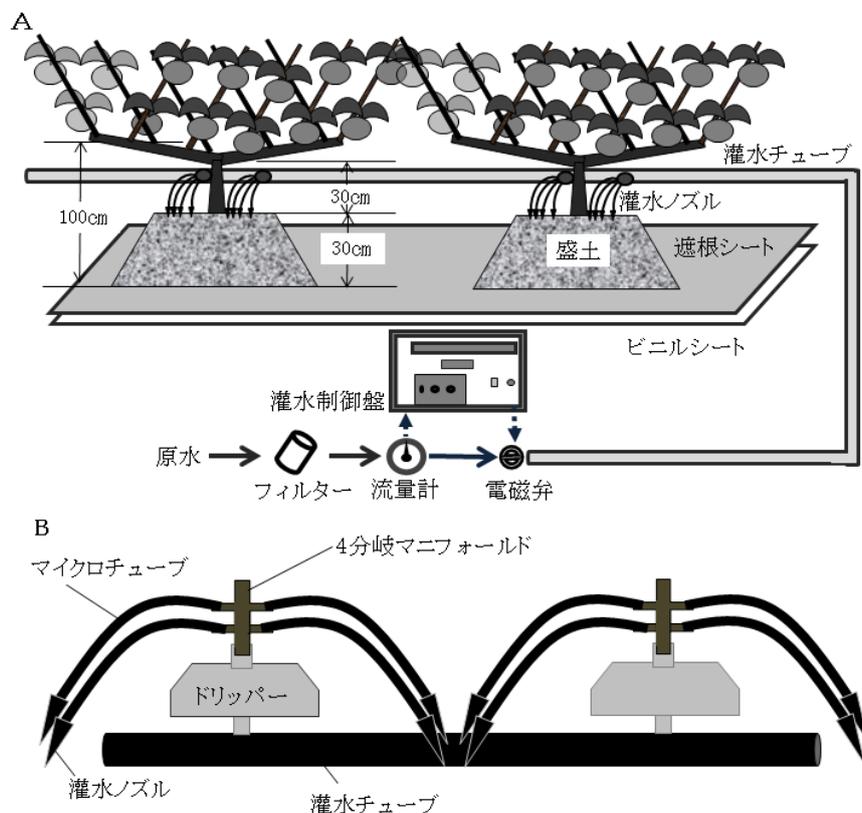
根圏制御栽培の概要を第2-1図Aに示した。根圏制御ほ場の地面に厚さ0.1 mmのビニルシートを敷き、その上に耐久性、透水性および耐摩耗性に優れたポリエステル100%の不織布製の遮根シート（ルートラップ30A，トスコ（株））を設置した。苗木は遮根シートの上に赤玉土とバーク堆肥を容積比2：1に混合した培土150 Lを盛土（底面105×60 cm，上面90×45 cm，高さ30 cm）し植付けた（第2-1図A）。赤玉の体積比は大粒（直径8 mm以上）：中粒（3～8 mm）：細粒（3 mm未満）が1：2：1となるように混合した。バーク堆肥（フトール1号，JA全農栃木）は樹皮と醗酵剤を使用原料主成分とした堆肥で，窒素（N）2.0%-リン酸（ P_2O_5 ）1.1%-カリ（ K_2O ）1.4%を含み炭素率25%程度である。水分管理は，あらかじめ樹齢，生育時期ごとに灌水量と盛土から排出した排水液量の差から求めた吸水量に基づき，生育時期および時刻ごとの灌水量を設定した灌水制御盤（KISB II，SSB（有）札幌システムブレイン）で，1日20回，40分

間隔で盛土上部に設置した8本の灌水ノズル（アロードリッパー，ネタフィムジャパン（株），吐出量 $1.5 L \cdot h^{-1}$ ）により点滴灌水を行った（第2-1図B）。

2. 灌水制御システム

灌水の流れを第2-1図に示した。原水は錆や不純物が混入しないようフィルターを通し， $2 kg \cdot cm^{-2}$ 程度の水压をかけた。水压が低いと灌水ノズルから規定量の水量が滴下しないことがあるためである。原水はフィルター，流量計を通り電磁弁で各ラインに規定量の給水を行った。灌水制御盤は各ラインごとに，設定時間，1回ごとの灌水量が設定できる制御盤を用い，流量計のパルスを受け電磁弁の開閉で灌水を行い，各ラインに灌水チューブを通して灌水を行った。

灌水は点滴式で，灌水チューブに調圧弁付きのドリッパー，4分岐のマニフォールド，マイクロチューブ，灌水ノズルを1セットとして点滴灌水を行った。1樹当たり2セットを準備し，8本の灌水ノズル（1ノズル当たりの灌水量， $1 L \cdot hr^{-1}$ ）を盛土の上部に均等に配置した。なお，ドリッパーは調圧弁が付いているため，ほ場に傾斜があつた場合でも灌水が停止後，標高が低い方のドリッパーから点滴が漏れることはなかった。



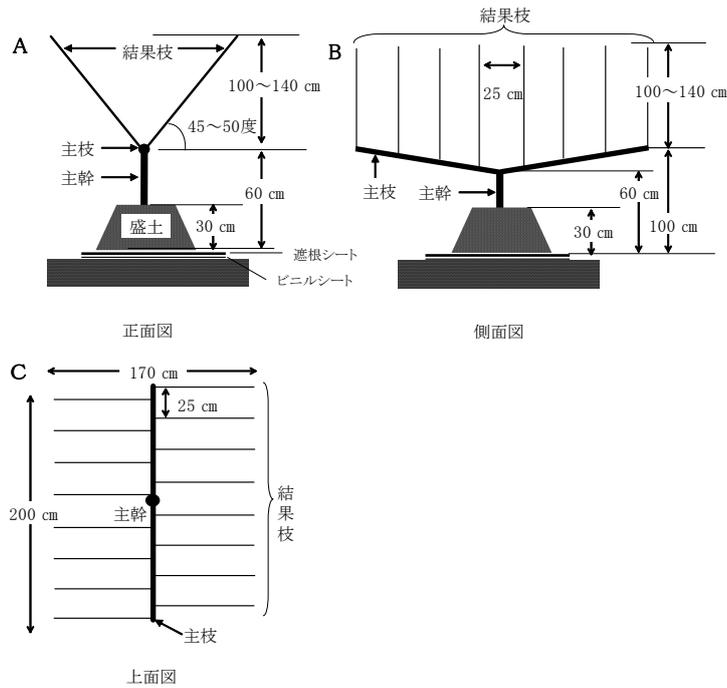
第2-1図 根圏制御栽培の概要

A: 根圏制御栽培の概要図

培土: 底面105×60 cm，上面90×45 cm，高さ30 cmの盛土

灌水: 樹齢，生育時期ごとに設定した灌水量を1日20回点滴灌水する

B: 灌水部の概要図



第2-2図 根圏制御栽培樹の仕立て方
A:正面図 B:側面 C:上面図

3. 根圏制御栽培樹の仕立て方

仕立て方は主枝2本が一文字に配置される2本主枝Y字仕立てとした(第2-2図, 写真2-1)。移植は1年生苗木を約150 cmに切詰め盛土に植付けた。苗木は地表面から約60 cm(主幹長:盛土上面から約30 cm)の位置を支点に上方約30度に誘引し第1主枝とした。2年目は第1主枝から発生した発育枝約8本を約25 cm間隔で平行になるように上方に約45~50度の角度で誘引し結果枝とし, 第1主枝の反対側に伸長した1年枝を第2主枝として約30度の角度で誘引した。3年目は第2主枝先端を地面から100 cmの高さに誘引するとともに両主枝から16本程度の結果枝(1および2年枝)と予備枝数本を配置した。4年目以降の樹形は地表面から60 cmの高さの主幹から先端が100 cmとなるように左右に主枝を2本配置し, 主枝から長さ約130 cmの結果枝(1~3年枝)を25 cm間隔で平行となるように上方に約45~50度の角度で配置した(第2-2図, 写真2-1)。正面から見ると主幹と結果枝の形がY字形となる。

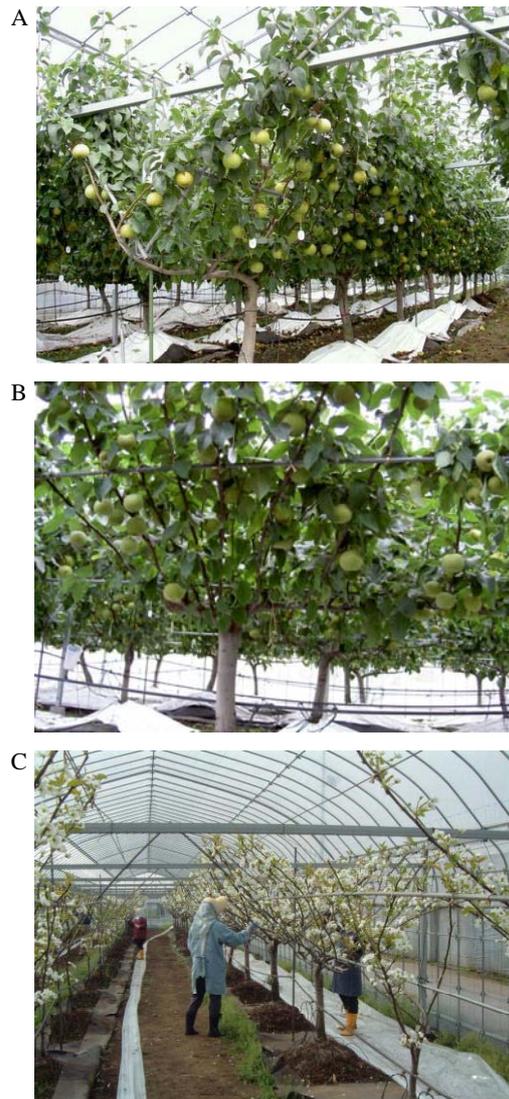
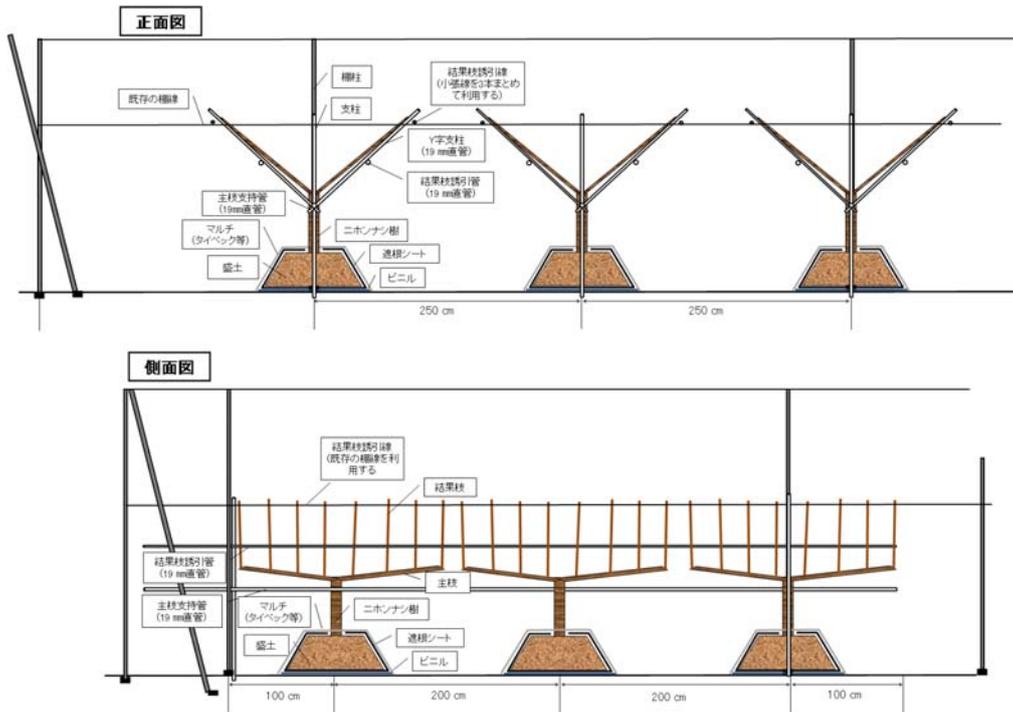


写真2-1 根圏制御栽培樹の仕立て方
A:正面図 B:側面図 C:作業管理状況



第2-3図 平棚(露地)を利用したY字棚根圏制御栽培樹の配置図

4. 試験ほ場における樹の配置

1) 露地で既存の棚を利用した栽培試験

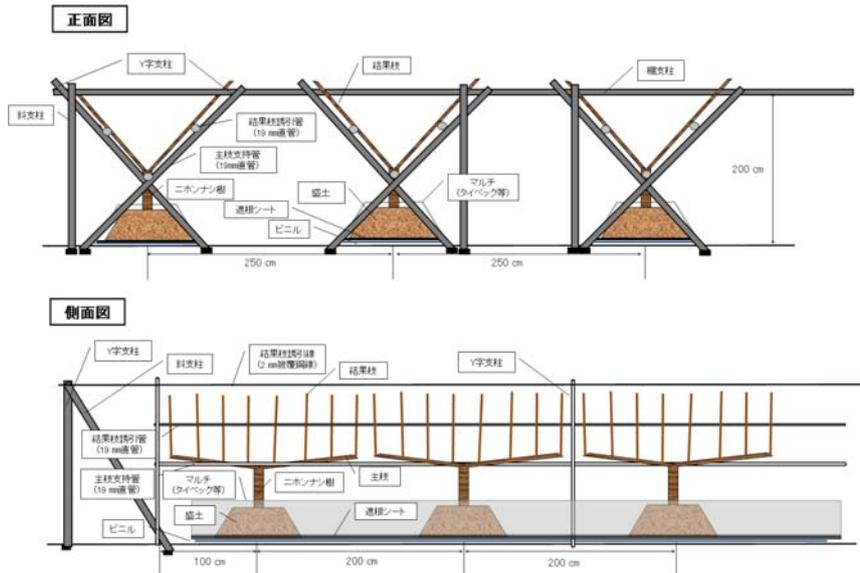
従来の平棚を利用しY字棚を設置した(第2-3図)。支柱は2樹おきの4 m間隔とし、地面から100 cmの位置に主枝支持管(19 mm直管)を通した。主枝支持管から45~50度の角度でY字支柱(19 mm直管)を設置し、平棚の小張線(結果枝誘引線)に固定した。Y字支柱には主枝支持管に並行に結果枝誘引管(19 mm直管)を配置し、結果枝の誘引に利用した。苗の植付けは支柱から1 mの位置を先頭に2 m間隔で行った。また、列間は棚柱の間隔にもよるが、2.5 m間隔となるように配列した。列間の結果枝誘引線の間隔は80 cm以上とした。

2) 裸地での栽培試験

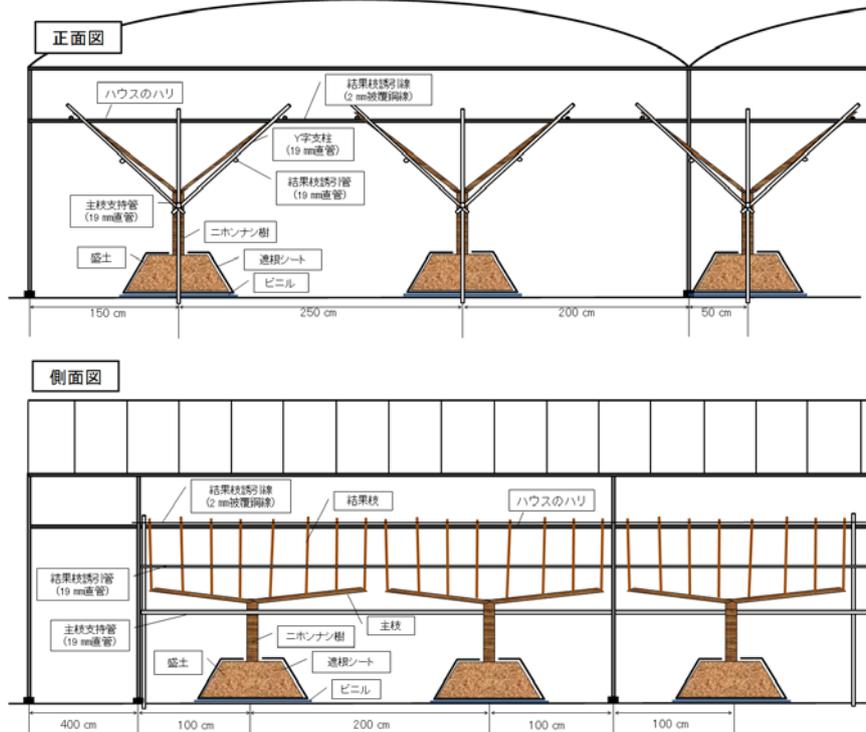
裸地では列の両端を足場パイプで固定し、Y字棚を設置した(第2-4図、写真2-2)。両端のY字支柱はφ48.6 mmの足場パイプを用い、X字に交差させ地中に30 cm程度埋込んだ。また、両端の棚には、棚の固定および倒伏防止のためφ48.6 mmの足場パイプを斜めに打込み固定した。棚面となる上部は地上から200 cmの位置をアングルで固定した。両端以外は4 m間隔で19 mm直管でY字支柱を組んだ。主枝支持管はY字支柱の交点の位置(地面から80 cm)、結果枝誘引管は地面から140 cmの位置に19 mm直管で設置した。また、Y字支柱の先端には2 mm被覆鋼線で結果枝誘引線を配置し結果枝を固定した。苗の植付けはY字支柱から1 mの位置を先頭に2 m間隔で行った。また、列間は2.5 m間隔となるように配列した。列と列の結果枝誘引線の間隔は80 cm以上とした。



写真2-2 裸地(露地)でのY字棚根圏制御栽培樹
A: 雨よけハウスを設置する前の状況
B: 植付け後3年目の状況(雨よけハウス内、6月)



第2-4図 裸地(露地)でのY字棚根圏制御栽培樹の配置図



第2-5図 間口6 m連棟ハウスでのY字棚根圏制御栽培樹の配置図

3) 間口6 mの連棟ハウスを利用した無加温ハウス栽培試験

間口6 mのハウスでの試験はハリ等を利用しY字棚を設置した(第2-5図)。支柱は3樹おきの6 m間隔とし、地面から100 cmの位置に主枝支持管(19 mm直管)を通した。主枝支持管から45~50度の角度でY字支柱(19 mm直管)を設置し、ハウスのハリに結果枝誘引線(2 mm被覆鋼線)、地面から140cmの位置に結果枝誘引管(19 mm直管)を主枝支持管に並行に固定した。苗の植付けは支柱から1 mの位置を先頭に2 m間隔で行った。また、列間は2.5 m間隔となるように配列した。列と列の結果枝誘引線の間隔は80 cm以上とした。

5. 本システムの特徴

本システムは、2004年12月に特許出願され、2005年8月に公開された(金原ら、2005)。本システムは土耕による根域制限栽培で、その特徴は次のとおりである。

- 1) 根圏制御栽培はビニル、遮根シートの上に培土を盛土して根圏を地面から隔離し、養水分を管理して生育を制御する栽培方法である。滞水による湿害の発生がなく、培土量、灌水量、施肥量などにより樹勢を制御することができる。
- 2) 根圏制御栽培の灌水は1回当たりの灌水量を少なくし、生育時期ごとに1日の必要量を数十回に分けて与

える点滴灌水法が基本であり，植物の生育に合わせた養水分調節が可能である．

3) 樹勢制御により密植栽培が可能で，計画密植において成園まで7～8年程度を要する育成方法が，「二年成り育成法」により植付け2年目から $2 \text{ t} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 程度，3年目に $3 \text{ t} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 程度と慣行の成園程度の収量が得られ早期成園化が図られる．また，5年目を以降 $6 \text{ t} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 程度と慣行の2倍以上の収量が可能となり，早期多収が可能となるとともに，果実品質も優れる．

4) 仕立て方を2本主枝Y字仕立てとすることにより，受光体勢が良好になるとともに上向きの作業が減少し軽労化が図れる（写真2-1C）．

5) ニホンナシの根圏制御栽培の導入に要する経費は，ハウスでの設置の場合灌水装置，支柱，遮根シート，培土，苗木や設置費用を含め240万円程度である．

6. 試験区の設定

本研究の第3，5，6章と7章の一部は図2-4図，第4章および第7章の一部は第2-3図で実験を行った．第8章の栽培試験は第2-5図の設備で試験を行った．第9章は図2-4図の設備で行ったが，植付け2年目を以降戸高3.5 mの単棟ハウスで試験を実施した．

第2章のまとめ

ニホンナシにおける早期成園化および高品質多収栽培を目的に，遮根シートにより地面と隔離した盛土に苗を植付け，樹齢，生育時期ごとに測定した吸水量に基づき，樹の成長に合わせて設定した灌水を行う根圏制御栽培を開発し，栃木県農業試験場果樹園内の既存の平棚，更地および被覆ハウスに設置した．本システムの特徴は次のとおりである．

①培地

培地は赤玉土：バーク堆肥の体積比が2：1の混合土を用いた．ポットや木枠による根巻きや排水不良などを防ぐため高さ30 cmの盛土とした．

②灌水システム

灌水装置は（給水ポンプ），流量計，灌水制御盤，電磁弁などで構成した．盛土上部への給水はタイマーで制御し，灌水チューブにより給水した．灌水管理はあらかじめ樹齢，生育時期ごとに灌水量と盛土から排出した排水液量の差から求めた吸水量に基づき設定した生育時期および時刻ごとの灌水量を，1日20回，40分間隔で盛土上部に設置した8本の灌水ノズルにより点滴灌水を行った．

第3章 培土量が樹体生育、収量および 果実品質に及ぼす影響

果樹の省力・高品質栽培管理法として、根域制限あるいはボックス栽培は、制限された培地に新植樹を植栽することで、養水分吸収を適正範囲に制御しながら品質向上を図る手法として技術開発が進んでいる（今井, 1989, 1992, 1996a, 1996b; 川俣, 1992; 久保田, 1996）。従来の栽培管理法は根をできるだけ張らせることによって樹を大きくし、収量の向上を図る方法が一般的であったのに対し、根域制限栽培は根域を種々の方法で制限し、水分、施肥管理を均一化することによって品質の向上と安定を図る方法である。また、根域制限栽培は苗木を各種容器に植栽して根域制限を行うコンテナ（ボックス）栽培（広部, 1998a, 1998b; 真子・伊興部, 1988; 真子ら, 1990; 谷口, 1990）、土中に設けた不織布の枠内に若木を植栽して根域を制限する防根シート栽培（谷口, 1992）などで、栽植様式や設置形態で4類型に区分されている（澤野, 1993）。

このように、これまでの不明確な根の広がりを対象とした管理法から、明確な根域を対象とする管理法に変えることで施肥や水管理、草生管理など一般管理作業的にも軽労・省力化が可能になった。これらの栽培方法では、培土量を少なくするほど糖度向上効果は早く発現するが、樹体生育はより阻害される（澤野ら, 1998; 谷口, 1990）ことが認められている。根域制限栽培では、樹体の小型化によって収穫、摘果等の結実管理が大幅に省力化される（谷口, 1993）が、一方では樹勢や収量の維持が難しく、慣行栽培よりもきめ細かな管理が必要である。品質向上、収量確保やコスト低減、省力化等の面から詳細な検討が行われ、栽培方法、販売条件等に応じた最適な容器素材、培土量、培土組成、管理方法などが設定されている（広部, 1998a, 1998b; 澤野, 1993; 谷口, 1990, 1992）。

また、根域制限樹による密植栽培は、早期成園化が可能となる（今井, 1991, 1992）メリットが得られる。ブドウにおいて今井（今井, 1991, 1992）の試験によれば、1樹当たりの培土量は樹体栄養、摘心労力、水管理などから60 Lが妥当であると結論されている。培土量は研究者や品種によって多少異なるが50~70 Lが採用されている（今井, 1996a; 川俣, 1992）。

カキではボックス栽培（根域制限栽培）による省力化の検討がなされている（松村, 1992, 1996a, 1996b; 中

村・福井, 1994）。カキの根域制限栽培では樹冠の小型化も期待できるが、加えて地上部の大きさが比較的均一化する、結果樹齢が早くなるなどの効果もみられる。また均一化した施肥管理や水分管理により軽労働化を図ることが可能になる。松村（1996b）の「富有」を用いたボックス栽培試験によれば、培土の量は30 L、日灌水量は3 L、用土としては土を用いると水の道ができ、土壌水分量にむらができるため、砂を用いるのがよいとされている。ボックス栽培も含めた根域制限栽培技術の最終的な確立は成木に至るまでの継続した試験結果に待たれている。

オウトウのコンテナ栽培は、低樹高化、早期結実、品質向上などを目的に（遠藤, 1995a, 1995b; 須藤, 1994a, 1994b）、早期加温施設栽培の中で取り入れられている。コンテナは容量が大きいほど生育は良好になるが、移動が困難になるため30~60 L程度のものが移動も可能で実用性が高い。用土は保水性とともに排水性の良さも要求され、ほぼ毎日の灌水とともにきめ細かな施肥管理も必要となる（遠藤, 1995a, 1995b; 須藤, 1994a, 1994b）。1本当たりの収量は、地植え樹にくらべて格段に少ないため、密植栽培が基本となり、場所をとらない主幹形が主流となっている。

モモにおいてもコンテナ等のボックスで栽培して根域を制限すると樹が小型化し、土壌水分の制御による糖度の増加や果重、熟期の促進などの効果が得られている（本美ら, 1995; 長野県, 1994; 山西, 1995）。しかし、長期間のコンテナ栽培により、容器内の根づまりが生じ、樹勢が衰弱しやすい。ボックス栽培は容器、灌水施設等の資材が必要であったり灌水に労力が必要であるなどの問題点もあるが、モモの改植で問題となる、いや地現象を回避できる（後藤, 1997）メリットも持っている。

ウンシュウミカンでは、70 L容量程度のボックスに40~60%の畑土にピートモスや牛糞および腐葉土を、さらに腐熟堆肥を混用した土壌を用いて良好な発育が得られ、品質も良好であった（真子・真壁, 1992）例や、20~30 kgの果実運搬用のプラスチックコンテナを用い、種々の土壌に30~50%のバーク堆肥や土壌改良剤を混用して良好な結果が得られた（鈴木, 1989; 鈴木ら, 1989）例がある。

イチジクでも種々の土壌が検討され、地植えよりも収穫が2週間早まり、収量や糖度も高まった（木村・金原, 1998）。限られた土壌容量のボックス栽培では、灌水や有機質の減耗等の影響で土壌が次第に減少する。毎年客土により補充する必要がある（真子・伊興, 1988）と同時に中耕を行い、保水力を保努力も必要である（鈴木,

1989) .

このように、根域制限栽培は果樹類においても各樹種において試験が行われ、収量性や品質向上など樹種や目的ごとに最適な培土量の検討が行われているが、ニホンナシにおいては文室（2000）および文室ら（1999）が、160 Lの根域制限ベッドに栽植した‘幸水’5年生樹で37 t・ha⁻¹の収量を得ているが、実用化には至っておらず、また最適な培土量の検討は行われていない。

そこで本章では、ニホンナシにおける根圏制御栽培において、収量および果実品質が優れる培土量を明らかにするために試験を行った。

材料および方法

供試したニホンナシ樹は、栃木県農業試験場内のヤマナシ (*Pyrus. pyrifolia* var. *Pyrifolia*, 以下省略) 台‘幸水’とした。培土量の試験は、350, 250, 150, 100, 60, 30 Lの6処理区とした。植付けは、培土量350, 250, 150 Lが1995年、培土量100, 60, 30 Lが2001年に行い、根圏制御栽培とした。なお調査は培土量が350~150 Lでは2002, 2003年に露地栽培で、培土量が100~30Lでは2005, 2006年に2月上旬加温開始のハウス栽培でそれぞれ2か年行った。

栽培は根圏制御栽培とし、培土量が350~150 Lでは第2章1~3の方法で行った。培土量が100~30 Lでは主枝長1 mの1本主枝Y字仕立てとし、水分管理は催芽期から毎日12Lを午前5時から12分間隔で60回に分けてドリップ灌水した。

栽植方式は培土量が350~150Lでは樹間2.0 m×列間2.5 m、培土量が100~30 Lでは樹間1 m×列間2 mの並木植えて、10 a換算の栽植本数はそれぞれ200本の密植栽培および500本の超密植栽培とした。供試本数はいずれの処理区も5樹とした。

施肥は緩効性被覆肥料（リニア型100日タイプ、窒素12%-リン酸14%-カリ12%）を用い、催芽期に窒素成分で培土量が350~150 Lでは1樹当たり100 g、培土量が100~30 Lでは1樹当たり40 gとし、10 a当りに換算して窒素成分で20 kgを施用した。また、礼肥は収穫直後にNK化成（窒素16%-カリ16%）を窒素成分で基肥の1/5量施用した。

樹体調査として、結果枝本数および結果枝長は催芽直前に、10 cm以上の新梢長および短果枝、腋花芽別の花芽数は落葉期に調査した。また、樹勢の指標として新梢発生程度は、落葉期の全枝長（主幹長、主枝長、結果枝長、予備枝長および新梢長の和）を萌芽直前の全枝長

（主幹長、主枝長、結果枝長および予備枝長の和）で除して求めた。葉数は新梢が停止した7月中旬に果そう葉と新梢葉に分けて計測し、それぞれ中庸な葉10枚の面積を葉面積計（LI-3100, LI-COR社）で測定し1葉面積を求め、葉数を乗じて樹全体の葉面積を算出した。葉面積指数（以下、LAI）は1樹の葉面積を栽植の割当面積（1,000 m²を10 a当たりの栽植本数で除した面積）で除して求めた。満開後30日に予備摘果、満開後50日に仕上摘果、満開後100日に補正摘果を行い、葉果比が概ね45となるように着果させた。果重はすべての果実の平均値を、果実品質は収穫最盛期に各樹無作為に10果を抽出し、地色をニホンナシの地色用カラーチャートで測定後、果実を縦断し楕形の切片2個を切り取り、皮・果心を除きホモジナイズした後に濾過して得た果汁の可溶性固形物含量を屈折糖度計（ACT-1, ATAGO（株））で測定し、その後酸度（以下、pH）をpHメーター（F-22, HORIBA（株））で測定した。硬度は糖度測定用に切り取った残りの切片を用い、赤道部2か所を貫入部の直径8 mmの果実硬度計（MT型、藤原製作所（株））で測定した。収量は1樹当たりの果重の総量を10 a当りに換算した。

樹の解体調査は、培土量が350~150 Lでは2003年、培土量が100~30 Lでは2006年の落葉直後に各区3樹を行った。穂木部は主幹、主枝、結果枝（予備枝を含む）、新梢、果実および葉に、台木部は直径2 mm以上の太根（根幹を含む）と2 mm未満の細根に分け、それぞれの新鮮重を秤量した。器官別乾物重については、果実は収穫盛に無作為に10果を採取し、90℃の定温乾燥機で1週間乾燥して乾物率を求め、全果重に乗じて算出した。葉は落葉直前に果そう葉と新梢葉に分けて採取し、90℃の定温乾燥機で1週間乾燥して乾物率を求め葉数に乗じて算出した。それ以外の器官は一部を90℃の定温乾燥機で1週間乾燥して乾物率を求め、新鮮重に乗じて算出した。

結 果

第3-1表に培土量の違いが結果枝本数、枝長、新梢発生程度に及ぼす影響を示した。栽植の割当面積は、350~150 Lは樹間2.0 m×列間2.5 mであるため5 m²、100~30 Lは樹間1.0 m×列間2.0 mであるため2 m²である。1樹当たりの結果枝本数および結果枝長は350~150 Lで差がなく17本程度で21 m弱と、100~30 Lの7~8本で8~10 mよりも2倍程度大きかった。しかし、m²当たりの結果枝本数および結果枝長は350~150 Lで3.4本程度で4 m強と、100 Lおよび60 Lの4本で5 m程度よりも小

さい値となった。1樹当たりの新梢長は350~150 Lで差がなく40.8~42.8 mと長かった。100 L~30 Lでは培土量が大きいほど新梢長が長くなった。1 m²当たりの新梢長でく比べると、100 Lで10.6 mと大きく、次いで350~150 Lおよび60 Lで7.8~8.6 m、30 Lが最も短く4.8 mであり100 Lの1/2以下であった。樹勢の指標である新梢発生程度は350~60 Lで差がなく、30 Lが2.0と最も小さい値となり樹勢が劣った。

培土量の違いが葉数、LAIおよび落葉後の花芽数に及

ぼす影響を第3-2表に示した。果そう葉数は栽植の割当面積の大きい350~150 Lで100~30 Lの2.5~3倍程度と多かった。新梢葉も同様の傾向を示した。いずれの葉数とも、栽植の割当面積が2 m²の100~30 Lでは30 Lが有意に小さい値を示した。新梢葉率は培土量による有意な差はみられなかった。葉面積は350 L、250 L、150 L > 100 L、60 L > 30 Lの順に大きく、新梢長と同様の傾向を示した。LAIは350 L~60 Lで3.6~4.2と処理間で差がなく、30 Lで2.5と最小だった。1樹当たりの花芽数

第3-1表 培土量の違いが結果枝本数、枝長および新梢発生程度に及ぼす影響

処理区	樹齢	栽植の割当面積 m ²	結果枝本数 ^a		結果枝長 ^a		新梢長		新梢発生程度
			本/樹	本・m ⁻²	m/樹	m・m ⁻²	m/樹	m・m ⁻²	
350 L	8	5.0	16.7	3.3	20.3	4.1	42.1	8.4	2.8
	9	5.0	17.3	3.5	21.2	4.2	43.5	8.7	2.8
	平均	5.0	17.0 a ^y	3.4 b	20.8 a	4.2 b	42.8 a	8.6 b	2.8 a
250 L	8	5.0	17.3	3.5	21.5	4.3	44.3	8.9	2.9
	9	5.0	16.7	3.3	19.5	3.9	40.2	8.0	2.8
	平均	5.0	17.0 a	3.4 b	20.5 a	4.1 b	42.3 a	8.5 b	2.8 a
150 L	8	5.0	16.5	3.3	20.2	4.0	39.0	7.8	2.7
	9	5.0	17.0	3.4	21.5	4.3	42.5	8.5	2.8
	平均	5.0	16.8 a	3.4 b	20.9 a	4.2 b	40.8 a	8.2 b	2.8 a
100 L	5	2.0	8.1	4.1	9.6	4.8	20.2	10.1	2.8
	6	2.0	7.7	3.9	10.1	5.1	22.3	11.2	2.9
	平均	2.0	7.9 b	4.0 a	9.9 b	4.9 a	21.3 b	10.6 a	2.9 a
60 L	5	2.0	7.9	4.0	10.3	5.2	16.3	8.2	2.4
	6	2.0	8.1	4.1	10.6	5.3	15.0	8.8	2.3
	平均	2.0	8.0 b	4.0 a	10.5 b	5.2 a	15.7 c	8.5 b	2.3 ab
30 L	5	2.0	7.3	3.7	8.2	4.1	9.1	4.6	1.9
	6	2.0	7.5	3.8	8.5	4.3	10.2	5.1	2.0
	平均	2.0	7.4 b	3.7 ab	8.4 b	4.2 b	9.7 d	4.8 c	2.0 b
有意性 ^x			**	*	**	*	**	*	*

^a結果枝本数、結果枝長および新梢長のm⁻²は栽植の割当面積1 m²当たりの数値

^y多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

^x有意性の**は1%、*は5%水準で有意、nsは有意差なし

第3-2表 培土量の違いが葉数、LAIおよび落葉後の花芽数に及ぼす影響

処理区	樹齢	葉数		新梢葉率 %	葉面積 m ²	LAI	落葉期の花芽数			
		果そう葉 枚/樹	新梢葉 枚/樹				短果枝 個/樹	腋花芽 個/樹	総花芽数 ^a 個/樹 個・m ⁻²	
350 L	8	1,631	1,010	38.2	20.6	4.1	125	106	231	46.2
	9	1,772	1,112	38.6	20.8	4.2	133	92	225	45.0
	平均	1,702 a ^y	1,061 a	38.4	20.7 a	4.1 a	129 a	99 a	228 a	45.6 a
250 L	8	1,771	1,062	37.5	20.8	4.2	151	112	263	52.6
	9	2,055	1,009	32.9	21.1	4.2	122	105	227	45.4
	平均	1,913 a	1,036 a	35.2	21.0 a	4.2 a	137 a	109 a	245 a	49.0 a
150 L	8	1,678	986	37.0	20.2	4.0	121	82	203	40.6
	9	1,831	1,086	37.2	21.0	4.2	167	157	324	64.8
	平均	1,755 a	1,036 a	37.1	20.6 a	4.1 a	144 a	120 a	264 a	52.7 a
100 L	5	752	542	41.9	8.1	4.1	42	11	53	26.5
	6	635	562	47.0	7.4	3.7	33	21	54	27.0
	平均	694 b	552 b	44.4	7.8 b	3.9 a	38 b	16 b	54 b	26.8 b
60 L	5	637	488	43.4	7.4	3.7	44	16	60	30.0
	6	588	428	42.1	6.8	3.4	31	20	51	25.5
	平均	613 b	458 b	42.8	7.1 b	3.6 a	38 b	18 b	56 b	27.8 b
30 L	5	661	248	27.3	4.9	2.5	36	21	57	28.5
	6	548	299	35.3	5.0	2.5	31	25	56	28.0
	平均	605 b	274 c	31.3	5.0 c	2.5 b	34 b	23 b	57 b	28.3 b
有意性 ^x		**	**	ns	*	*	**	**	**	**

^a総花芽数のm⁻²は栽植の割当面積1 m²当たりの数値

^y多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

^x有意性の**は1%、*は5%水準で有意、nsは有意差なし

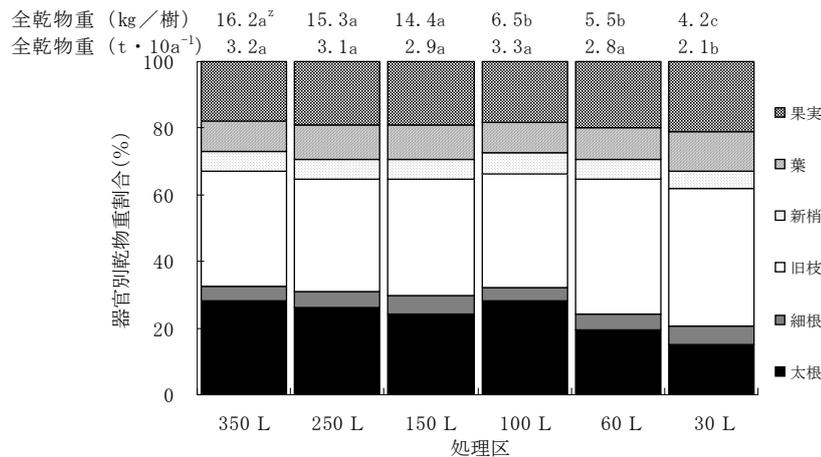
第3-3表 培土量の違いが収量および果実品質に及ぼす影響

処理区	樹齢	着果数		葉果比	地色	果重 g	換算収量 t・10 a ⁻¹	糖度 %Brix	硬度 lbs	pH
		果/樹	果・m ^{-2z}							
350 L	8	60	12.0	44	2.5	389	4.7	12.6	4.5	5.0
	9	61	12.2	47	2.5	380	4.6	12.1	4.7	5.1
	平均	61 a ^y	12.1	46	2.5	385 a	4.7 a	12.4 a	4.6	5.1
250 L	8	61	12.2	46	2.4	391	4.8	12.7	4.6	5.1
	9	60	12.0	51	2.4	378	4.5	12.2	4.8	5.1
	平均	61 a	12.1	49	2.4	385 a	4.7 a	12.5 a	4.7	5.1
150 L	8	60	12.0	44	2.5	415	5.0	12.6	5.3	5.0
	9	60	12.0	49	2.3	400	4.8	12.1	5.0	5.0
	平均	60 a	12.0	47	2.4	408 a	4.9 a	12.4 a	5.2	5.0
100 L	5	29	14.5	45	2.5	286	4.1	10.1	5.0	5.2
	6	25	12.5	48	2.5	343	4.3	11.5	4.7	5.3
	平均	27 b	13.5	46	2.5	314 b	4.2 b	10.8 b	4.9	5.3
60 L	5	30	15.0	38	2.4	273	4.1	10.8	4.6	5.1
	6	25	12.5	41	2.5	322	4.0	11.7	4.8	5.2
	平均	28 b	13.8	39	2.5	298 b	4.1 b	11.3 b	4.7	5.2
30 L	5	20	10.0	45	2.5	297	3.0	10.9	4.7	5.2
	6	20	10.0	42	2.6	341	3.4	11.6	4.5	5.3
	平均	20 b	10.0	44	2.6	319 b	3.2 c	11.3 b	4.6	5.3
有意性 ^x		**	ns	ns	ns	*	*	*	ns	ns

^z着果数の果・m⁻²は栽植の割当面積1 m²当たりの着果数

^y多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

^x有意性の**は1%, *は5%水準で有意, nsは有意差なし



第3-1図 培土量が全乾物重および器官別乾物重割合に及ぼす影響

^z多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

は短果枝および腋花芽とも350~150 Lで100~30 Lよりも3倍以上と大きい値であった。総花芽数は350~150 Lで100~30 Lよりも多かった。

培土量の違いが収量および果実品質に及ぼす影響を第3-3表に示した。1樹当たりの着果数は葉果比を45程度としたため、350~150 Lで60果程度、100 Lおよび60 Lで25~30果、30 Lで20果であった。地色はいずれの培土量においても2.3~2.6で差が認められなかった。果重は350~150 Lで385~408 gと100~30 Lの298~319 gよりも90 g程度大きかった。糖度は350~150 Lで12.4~12.5%と100~30 Lの10.8~11.3%よりも1%以上高い値となった。硬度、pHは培土量による差がなかった。

培土量の違いが全乾物重および器官別乾物重割合に及

ぼす影響を第3-1図に示した。1樹当たりの全乾物重は350~150 Lで14.4~16.2 kgで100~30 Lの3倍程度以上と大きい値であった。100~30 Lでみると30 Lが4.2 kgと最も小さくなった。10 a当たりの全乾物重は、350~60 Lで2.8~3.2 tで差がなく、30 Lは2.1 tで最も小さい値であった。器官別乾物重割合を同じ栽植の割当面積で比べると、5 m²および2 m²とも培土量が大きいほど太根の割合が高い傾向を示した。一方地上部では5 m²では明らか傾向はみられなかったが、2 m²では培土量が大きいほど旧枝および果実の割合が小さい傾向を示した。

考 察

根域制限栽培における適正な培土量を検討した試験として、ブドウ（今井，1991，1992），カキ（松村，1996b），オウトウ（遠藤，1995a，1995b；須藤，1994a，1994b），モモ（後藤，1997；本美ら，1995；長野県，1994；山西，1995）およびウンシュウミカン（木村・金原，1998；真子・伊與，1988；真子ら，1998，1990；鈴木，1989；鈴木ら，1989）などがあり，収量性や品質向上など樹種や目的ごとに最適な培土量が検討されている。

高木（1980a，1980b）はマスカット・オブ・アレキサンディアの有効土層を深さ60 cmとして，樹冠占有面積の2分の1の範囲とすることで数年は充分生育するとしている。また土居・山田（1979）は根域制限栽培で，地上部の26.5 m²に対して地下部の根域面積を同じにした場合と3分の1として，樹体生育および果実形質について調査した結果，土壤量の多少による違いは認められなかったとしている。いずれの報告も樹冠を大きくしての試験ではあるが，根域土量は樹冠面積よりも少ない範囲で可能であることを認めている。本試験は培土量350 L，250 L，150 L，100 L，60 Lおよび30 Lとしたが，これらの樹冠占有面積栽培の割当面積に対する根域面積（高さ30 cmとした場合）の比率は，それぞれ23%，17%，10%，17%，10%および5%となる。樹種は異なるが，土居・山田（1979）および高木（1980a，1980b）の実験より少ない土壤領域で旺盛な生育を示した。その結果，10 a当たりの収量は4 tを上回り，一般の‘幸水’の標準収量2.5～3.0 tを越える結果となった。

土壤容量が大きいほど地上部および地下部の生育が優れることは，井上ら（1988）のウンシュウミカンでの報告や渡辺（1934，1935）のリンゴでの報告でも示されており，山崎ら（1990）も植穴式やコンテナを用いてのウンシュウミカンの試験で根域制限容量が小さいほど樹体が小さいとしている。培土量が少なれば少ないほど，開園時における資材の投入や労力は軽減され，有利な条件となる。150 L区は10 a当たり200本植えと同じ栽培条件の350 L区および250 L区にくらべて太根の乾物重割合がやや少なかったものの，樹体生育は良好で10 a当たり収量は5 t程度，糖度が12.4%と収量および果実品質に差はなく花芽着生数もm²当たり52.7個と多かった。栽植距離が列間2.5 m×樹間2.0 mの栽植間隔とした場合，350～150 Lの培土量の範囲では，培土量が多いほど地下部の太根の割合は増加する傾向があるものの，地上部の樹体生育に影響を及ぼすほどの差ではなく地上部と地下部の比率T/R比は2.1～2.4と差が小さかった。

このことから，この栽植面積における培土量は150 Lが適していると考えられる。一方，10 a当たり500本植えとより密植の栽植様式とした60 L区は10 a当たりの培土量が30 m³で150 L区と同等の培土量である。このため，60 L 区の樹体生育は150 L区と同等であったが，列間が2.0 mと狭く結果枝がやや立ち気味の配置であったため，受光体勢が劣り十分な果実肥大が得られず10 a換算収量が4.1 t，糖度が11.3%と低い数値になったと考えられる。さらに培土量が少ない30 L区については新梢の発生や新梢葉数が少ないなど生育はやや劣り，収量および果実品質が最も低い値であった。

以上から，本試験の場合の適正な培土量は，地上部が5 m²の場合で150 Lと判断される。

第3章のまとめ

ニホンナシの高品質多収を目的に盛土式根圏制御栽培における1樹当たりの適正な培土量の検討を行った。

列間2.5 m×樹間2.0 mの栽植間隔における培土量を350～150 Lで検討した結果，新梢の発生，葉数および花芽着生数といった樹体生育は処理間で差はみられなかった。10 a換算収量は4.7～4.9 t，糖度は12.4～12.5%で処理間で差はみられなかった。また，列間2.0 m×樹間1.0 mと超密植栽培における培土量を100 L，60 Lおよび30 Lで検討した結果，培土量が少なくなるほど樹体生育および収量が劣った。10 a当たりの培土量が同等の150 L区と60 L区でくらべると樹体生育は同等であったが，150 L区は収量および果実品質で優れたことから，列間2.5 m×樹間2.0 mにおいて150 Lの培土量が本栽培法に適している。

第4章 盛土式根圏制御栽培における 灌水管理法の確立

果樹栽培は気温、二酸化炭素濃度、水分・養分供給などの様々な環境因子によって影響を受ける。これらの諸要因が果樹類の生育および生理機能に与える影響を明確にすることは、栽培技術の確立において極めて重要である。特に、本試験で実施している根圏制御栽培は、培土量を制限して樹をコンパクトにし収量向上を目的に試験を行っているため、土壤水分状態がニホンナシの果実生産に与える影響を明らかにすることが必要となってくる。水ストレスによって作物生産が阻害を受けることは多くの植物で報告されている。例えば、ウンシュウミカンの根域制限栽培では、水分ストレスや根量の減少によって樹勢が落ち着き花芽の着生が促進されるが、培地が少量であったり適正な水分管理を行わないと果実肥大が抑制される(澤野ら, 1998)。

果樹類の水要求量は1日のうちの時間帯や生育時期、気象条件や植物の生理状態など様々な要因によって刻々と変動する。したがって、ニホンナシの果実生産や品質向上を図るためには、植物の水分状態に対する応答をリアルタイムで感知し、植物の生理状態を診断し、灌水の時期や量を判断することが望まれる。すなわち、植物の生体情報に直接基づく灌水システムの確立が高収性および高品質の果実生産を目指した根圏制御栽培に不可欠である。

果樹の水分管理は、果実や樹体の発育との関連(高木, 1980a)、果実品質との関連(澤野ら, 1998; 今井, 1991)など多方面から検討されている。ブドウにおいては果実生長第I期の好適土壤水分は水分張力の上限が190 cm程度、ベレーゾーン期には150 cm、着色後期には90 cm以下が好適とされる(今井ら, 1988)。また、カンキツでも報告は多く、ウンシュウミカンを用いた試験で土壤水分が少ないと着色が良好となり、果皮が薄く可溶性固形物が増加するが、酸が高まり品質的に問題が発生する場合がある(川野ら, 1982a)。しかし、土壤の乾燥は樹体の成長や果実の肥大を抑制する。果実の肥大期には水分を多めにし、収穫前に水を切ることが高品質果実生産のために重要である(川野, 1982; 川野ら, 1982b; 徳留ら, 1981)。生育時期ごとの土壤水分の影響について、マーコットでは7~9月に十分灌水することにより大果生産が可能である(富田・岩本, 1987)。モモでは成熟期の土壤水分は低い方が糖度の高い果実の生産が可

能となるが(北野ら, 1988; 古原ら, 1987b)、満開後の土壤水分が低下すると、結実率が低下するため地表面への散水による加湿も必要である(古原ら, 1987a)。ビワでは開花50日以降成熟期までpF2.5~2.7で、乾湿差をなくすことによって果皮障害が減少し糖度も高まる(佐野ら, 1981)ことが報じられている。ボックス栽培など土壤が乾燥しやすい条件下では、土壤の質を保水性の良好なものにする必要があると同時に、年間を通じて明らかに萎凋症状が発現した時点でボックスの底から水が流れ出す程度に十分灌水する必要がある(谷口, 1988)。

ニホンナシでは、今井ら(1994)が‘幸水’において樹体に水ストレスを与えない土壤水分ポテンシャルは-31 kPa~-16 kPaの範囲にあり、生育時期により変動すると結論している。また、伊藤ら(2003)は、‘幸水’果実の肥大は果実肥大が最も盛んな後期肥大期に高水分下で増加することを明らかにした。しかし、これらは高収量を目的とした条件下での試験ではない。また、植付け後1年目から年次を追った報告はみあたらない。これらのことから、本試験では早期成園化および高収量を目的とした栽培条件下における植付け1年目から成園までの生育時期ごとの吸水量および1日の時刻帯ごとの吸水量を明らかにするとともに、収量および果実品質が優れる灌水管理法を検討した。

第1節 樹体の生育時期ごとの吸水量の推移

第1節では、収量、果実品質が優れる150 Lの培土量で栽植間隔が樹間2.0 m×列間2.5 mの栽培条件における生育時期ごとの樹体吸水量を明らかにした。

材料および方法

供試したニホンナシ樹は、栃木県農業試験場内のヤマナシ台‘幸水’で、2003年に1, 2, 3, 4, 8年生樹をそれぞれ3樹供試した。灌水は点滴灌水で行い、日の出直前の朝5時から40分おきに1日20回、1回当たり2.5 L/樹とし40分当たりの樹体の吸水量よりも多い量の灌水を行った。また、盛土からの蒸発を防ぐため盛土上部をシルバーマルチで被覆した。

仕立て方、栽植方式および施肥は第2章および第3章の培土量150 Lと同様とした。病虫害防除はハウス慣行防除とした。

作型は3月20日ビニル被覆の雨よけ無加温栽培とした。

満開日は4月17日、収穫日は8月11日～25日であった。着果管理は満開後20日に予備摘果、満開後50日に仕上摘果、満開後100日に補正摘果を行い、満開後30日にジベレリン成分2.7%のジベレリン塗布剤を果梗部に処理した。2および3年目の着果数は補正摘果後の最終着果数が葉果比50となるように、4年目以降は最終着果数が葉果比35となるように行った。

樹体調査（枝、葉数、葉面積および花芽数）、樹冠占有面積、収量および果実品質調査は第3章と同様に行った。また、毎日の樹体吸水量は各樹齢2樹を供試し、盛土底部をビニルシートで包み込み培地からの排液を1か所に集め、1日の総灌水量から排液量を減じて求めた。

結 果

第4-1表に樹齢および生育時期ごとの晴天日の日吸水量を示した。葉数は樹齢および生育が進むに従って増加し、すべての生育時期で樹齢4または8年生が多かった。また、全ての樹齢で満開後120日に最多となった。日吸水量は葉数の増加に伴い増加し、満開後91～120日に最多となった後低下した。1葉当たりの日吸水量は各樹齢で大差なく、果実の日肥大量が最大となる満開後91～120日が多くなる傾向を示した。成木化した樹齢8年生では、満開後120日の葉数は3,313枚、満開後91～120日の晴天日の吸水量は29.3 L（最大値は36.3 L（データ省

第4-1表 樹齢および生育時期ごとの葉数および晴天日の日吸水量

	樹齢	満開後日数					
		0～30	31～60	61～90	91～120	121～150	151～落葉期
葉数 ^z	1	167	344	498	501	477	-
(枚/樹)	2	488	995	1,377	1,457	1,322	-
	3	810	1,797	2,119	2,488	2,331	-
	4	1,099	2,055	2,588	2,799	2,551	-
	8	1,194	2,417	3,009	3,313	3,006	-
日吸水量 ^y	1	1.9	4.1	5.1	6.3	5.6	4.1
(L/樹)	2	5.1	12.2	15.5	17.1	15.2	12.2
	3	7.1	16.8	21.1	25.2	23.3	17.6
	4	8.1	17.4	23.9	27.6	25.1	19.3
	8	8.0	18.1	25.6	29.3	25.2	21.1
1葉当たりの	1	11	12	10	13	12	-
日吸水量	2	10	12	11	12	11	-
(mL/枚)	3	9	9	10	10	10	-
	4	7	8	9	10	10	-
	8	7	7	9	9	8	-

^z葉数は調査期間の最終日に調査した

^y日吸水量は日照時間が3時間以上の日を晴天日とし、調査期間のうち晴天日のみの値を平均した

第4-2表 樹齢ごとの樹体生育

樹齢	葉数								花芽数		
	結果枝本数 本/樹	結果枝長 m/樹	新梢長 m/樹	果そう葉 枚/樹	新梢葉 枚/樹	総葉数 枚/樹	葉面積 m ² /樹	LAI	短果枝 個/樹	腋花芽 個/樹	総花芽数 個/樹
1	-	-	12.9 c	103 d	398 c	501 d	4.1 d	0.8 d	8 c	138	146 b
2	7.8 b ^z	6.3 b	31.8 b	473 c	1,002 b	1,475 c	11.6 c	2.3 c	34 b	132	166 ab
3	17.0 a	17.1 a	43.1 a	1,126 b	1,362 a	2,488 b	17.3 b	3.5 b	88 a	103	191 a
4	16.7 a	18.1 a	48.2 a	1,388 b	1,411 a	2,799 b	19.8 b	4.0 b	76 a	122	198 a
8	17.0 a	21.1 a	40.2 a	2,311 a	1,003 b	3,314 a	24.1 a	4.8 a	75 a	91	163 ab
有意性 ^y	**	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	*

^z多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

^y有意性の**は1%、*は5%水準で有意、nsは有意差なし

第4-3表 樹齢ごとの着果数、収量および果実品質

樹齢	着果数	葉果比	平均果重	糖度	硬度	pH	収量	
	果/樹	枚/果	g	Brix	lbs		kg/樹	t・10 a ⁻¹
1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	27.0 d ^z	55 a	333	13.1	4.4	4.9	9.0 d	1.8 d
3	41.0 c	61 a	368	13.2	4.5	5.0	14.2 c	2.8 c
4	61.0 b	46 b	379	12.9	4.5	4.9	21.7 b	4.3 b
8	90.0 a	37 c	352	12.6	4.6	4.8	31.7 a	6.3 a
有意性 ^y	**	*	ns	ns	ns	ns	**	**

^z多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

^y有意性の**は1%、*は5%水準で有意、nsは有意差なし

略)) , 1葉当たりの吸水量は9 mLであった。なお、樹体の吸水は催芽期頃から始まった。土壌pFは常に1.5で推移した(データ省略)。

第4-2表に樹齢ごとの樹体生育を示した。結果枝は2年目から配置され、3年目以降結果枝本数17本程度、結果枝長17.1~21.1 mで差はなかった。新梢長、葉数、葉面積およびLAIは樹齢の進行に伴い3年目まで増加し、4年目は3年目と同程度の値となった。樹形が完成した4年目は葉数2,799枚/樹、葉面積19.8m²/樹、LAIが4.0であった。8年生樹は4年目にくらべ果そう葉数、葉面積が多くLAIは4.8と大きかった。短果枝数は樹齢の進行に伴い増加し3年目以降は80個程度となった。腋花芽数は樹齢間に有意な差はなく、総花芽数は2年目以降163~198個となった。

第4-3表に樹齢ごとの着果数、収量および果実品質を示した。樹齢2年生から結実が始まり、着果数は2年目以降増加し8年目には90果であった。葉果比は2, 3年目は60程度、4年目は46, 8年目は37であった。収穫した果実の平均果重は333~379 g, 糖度は12.6~13.2, 硬度は4.4~4.6, pHは4.8~5.0で樹齢による差はなかった。収量は着果数と同様に増加し、2年目9.0 kg/樹, 1.8 t・10a⁻¹で8年目には31.7 kg/樹, 6.3 t・10a⁻¹となった。

第2節 樹体の時刻帯ごとの吸水量

第2節では根圏制御栽培における成木を用い、1日の各灌水ごとの樹体吸水量を調査することで時刻帯ごとの灌水管理法の設定を図った。

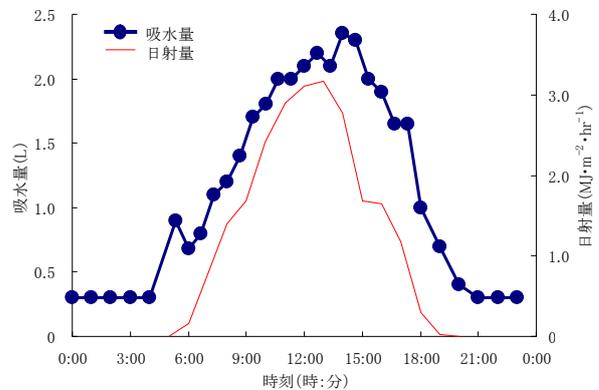
材料および方法

試験は、第1節で用いた根圏制御栽培における成木である8年生樹2樹を供試した。各灌水ごとの樹体吸水量の算出は2003年8月4日0時~24時に各灌水回の直前に排水量を測定し、直前の灌水量から除することで行った。毎時の日射量は気象観測装置(ウエザーバケット、(株)エスイーシー)で測定した。灌水は、0~4時および19~24時は毎正時に1 L/樹、5~18時は40分おきに20回、1回当たり2.5 L/樹とし毎回の樹体の吸水量よりも多い量の灌水を行った。

結 果

日射量は朝6時から増え始め、13時にピークとなりその後徐々に低下し、19時に0となった(第4-1図)。吸水

量は日射量と同様に増加していったが、ピークは日射量よりも1~2時間程度遅れ、14時から14時40分であった。また、日没後の夜間も吸水がみられた。



第4-1図 毎時の日射量および各灌水間隔ごとの吸水量

第3節 生育時期ごとの灌水量が樹体生育、収量および果実品質に及ぼす影響

第1, 2節において生育時期および時刻帯ごとの吸水量を明らかにしたが、本節においては生育中期および後期の灌水量の制限が、樹体生育、収量および果実品質に及ぼす影響を明らかにし根圏制御栽培における灌水管理法の確立を図った。

材料および方法

供試したニホンナシ樹は、栃木県農業試験場内のヤマナシ台‘幸水’で、2005年に7年生樹を供試した。灌水は点滴灌水で行い、朝5時から40分おきに1日20回灌水を行った。まず、時刻帯ごとの灌水量の影響を明らかにするために、第4-4表で示した生育時期ごとの吸水量に応じた灌水を行う改良区、時刻帯ごとの灌水量を第4-4表のとおりとし生育時期ごとの日灌水量を30 Lの等量とした等量区、生育時期ごとの日灌水量を第4-4表のとおりとし時刻帯ごとの灌水量を等量(1日の灌水量を20で除し20回を等量とした)とした日等量区を設けた。次に、生育時期ごとの灌水量の影響を明らかにするために、満開後31~60日の灌水量を10 L/樹とした2期減水区、61~90日の灌水量を10 L/樹とした3期減水区、91~120日の灌水量を10 L/樹とした4期減水区を設け改良区と比較した。なお、減水区の減水期間以外の灌水量および時刻帯ごとの灌水量は第4-4表のとおりとした。供試樹は各区とも3樹とした。

栽植方式は樹間2.0 m×列間2.5 mの並木植えて、10

第4-4表 吸水量に応じた生育時期, 時刻帯ごとの1樹当たり灌水量

	満開後日数(日)						
	第0期	第1期	第2期	第3期	第4期	第5期	第6期
	催芽期~0	0~30	31~60	61~90	91~120	121~150	151~落葉期
1樹当たり 日灌水量 (L/樹/日)	10.0	10.0	20.0	30.0	30.0	25.0	20.0
	時刻帯(時)						
	5~7	8~10	11~13	14~16	17~18	合 計	
	時刻帯ごとの 灌水割合 ²	0.05	0.20	0.30	0.35	0.10	1.00

²1日の灌水量を1としたときの3時間ごとの灌水量の割合

a換算の栽植本数は200本とした。

施肥および病虫害防除は第1節同様とした。

土壌pFは主幹から10 cm, 地面から10 cmの位置にテ
ンシオメーターを設置し, 毎日10時に測定した。

作型は3月18日にビニル被覆を行い雨よけ無加温栽培
とした。満開日は4月17日, 収穫は8月11日~25日であ
った。着果管理は満開後20日に予備摘果, 満開後50日に仕
上摘果, 満開後90日に補正摘果を行い最終着果数が葉果
比35となるように行った。また, 満開後30日にジベレリ
ン成分2.7%のジベレリン塗布剤を果梗部に処理した。

土壌pF, 樹体調査(枝, 葉数, 葉面積および花芽数),
樹冠占有面積, 収量および果実品質調査は第1節と同様
に行った。

夕に盛土から余剰水がしみ出ていた反面, 晴天日の日中
は盛土表面が乾燥するのが観察された。等量区は満開日
から満開後60日頃まで常に盛土から余剰水がしみ出てい
た。新梢長, 葉数, 葉面積, LAIおよび花芽数に有意な
差はみられなかった。

灌水管理の違いが着果数, 収量および果実品質に及ぼ
す影響を第4-6表上段に示した。着果数および葉果比に
有意な差はみられなかった。果実品質について, 平均果
重は日等量区で331 gと他の処理区よりも小さかったが
有意差はみられなかった。糖度, 硬度およびpHに有意
な差はみられなかった。収量は改良区および等量区で5.
8 t・10 a¹を上回り, 日等量区よりも大きかった。

結 果

1. 時刻帯ごとの灌水量の影響

樹体の生育時期および時刻帯ごとの吸水量に応じた灌
水量を設定した改良区, 毎回の灌水量を1.5 Lの等量と
した等量区, 生育時期ごとの吸水量に応じ1日20回の灌
水量を等量とした日等量区について比較した。

満開時~満開後120日までの総灌水量は, 改良区およ
び日等量区で2,710 L, 等量区で3,630 Lであった。

灌水管理の違いが土壌pFおよび樹体生育に及ぼす影
響を第4-5表上段に示した。土壌pFは改良区および等量
区で1.5で推移したが, 日等量区では満開後61~90日以
降高まり, 91~120日では1.9となった。日等量区では朝

2. 生育時期ごとの減水の影響

生育時期ごとの灌水量の異なる改良区(減水なし),
2期減水区, 3期減水区, 4期減水区について比較した。

満開時~満開後120日までの総灌水量は, 改良区およ
び日等量区で2,710 L, 2期減水区で2,410 Lおよび3期
減水区, 4期減水区で2,110 Lであった。日等量区に対
し2期減水区で89%, 3期減水区および4期減水区で78%
と灌水量が削減された。

灌水管理の違いが土壌pFおよび樹体生育に及ぼす影
響を第4-5表下段に示した。土壌pFは灌水量の削減を行
った処理区で当該時期に高まり, その傾向は生育時期が
進むにしたがい大きくなった。新梢長は2期減水区で他

第4-5表 灌水管理の違いが土壌pFおよび樹体生育に及ぼす影響

処理区	土壌pF(満開後日数)				新梢長 m/樹	葉数				LAI	花芽数		
	0~30 31~60 61~90 91~120					果そう葉 枚/樹	新梢葉 枚/樹	総葉数 枚/樹	葉面積 m ² /樹		短果枝 個/樹	腋花芽 個/樹	総花芽数 個/樹
	0~30	31~60	61~90	91~120									
改良区	1.5	1.5	1.5	1.5	46.0 a ²	1,711	1,221	2,932	21.6	4.3	81	109 b	190
等量区	1.5	1.5	1.5	1.5	43.8 a	1,668	1,311	2,979	21.9	4.4	77	112 b	189
日等量区	1.5	1.5	1.6	1.9	42.8 a	1,702	1,195	2,897	20.9	4.2	83	123 b	206
2期減水区	1.5	2.1	1.5	1.5	35.2 b	1,840	1,062	2,902	21.4	4.2	86	151 a	237
3期減水区	1.5	1.5	2.3	1.5	42.2 a	1,611	1,185	2,796	21.1	4.2	88	146 a	234
4期減水区	1.5	1.5	1.5	2.6	45.1 a	1,655	1,289	2,944	22.0	4.4	91	98 b	189
有意性 ³	-	-	-	-	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	+

²多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

³有意性の*は5%, +は10%水準で有意, nsは有意差なし, -は反復なし

第4-6表 灌水管理の違いが着果数、収量および果実品質に及ぼす影響

処理区	着果数	葉果比	平均果重	糖度	硬度	pH	収量	
	果/樹	枚/果	g	Brix	lbs		kg/樹	t・10 a ⁻¹
改良区	85	34.5	356 a ^z	12.9 b	4.6	5.0	30.3 a	6.1 a
等量区	81	36.8	355 a	12.8 b	4.5	5.0	28.8 a	5.8 a
日等量区	80	32.1	331 ab	12.9 b	4.7	4.9	26.5 b	5.3 b
2期減水区	85	36.6	369 a	12.9 b	4.6	5.0	31.4 a	6.3 a
3期減水区	81	34.5	325 b	12.7 b	4.4	4.9	26.3 b	5.3 b
4期減水区	81	36.3	311 b	13.5 a	5.0	5.0	25.2 b	5.0 b
有意性 ^y	ns	ns	*	*	ns	ns	*	*

^z多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

^y有意性の*は5%水準で有意, nsは有意差なし

の3処理区よりも小さかった。葉数、葉面積およびLAIに有意な差はみられなかった。腋花芽数は2期減水区および3期減水区で他の2処理区よりも多かった。

灌水管理の違いが着果数、収量および果実品質に及ぼす影響を第4-6表下段に示した。着果数および葉果比に有意な差はみられなかった。果実品質について、平均果重は3期減水区および4期減水区がそれぞれ325 gおよび311 gで改良区および2期減水区の360 g程度よりも10%以上低下した。糖度は4期減水区で13.5で最大となった。硬度およびpHに有意な差はみられなかった。収量は改良区および2期減水区で6 t・10 a⁻¹を上回り他の2処理区よりも大きかった。

考 察

果樹の水管理は、果実や樹体の発育との関連（高木, 1980a）、果実品質との関連、あるいは土壌のみならず、空中湿度と病害との関連についても検討されており、ブドウ（今井ら, 1988）、カンキツ（川野, 1982；川野ら, 1982a, 1982b；徳留ら, 1981；富田・岩本, 1987）、モモ（北野ら, 1988；古原ら, 1987a, 1987b）およびピワ（佐野ら, 1981；谷口, 1988）などで好適土壌水分が明かにされ、高品質果実生産のための指標作りがされている。

ニホンナシにおいて、今井ら（1994）は‘幸水’の果実生育パターンから果実生育時期を細胞分裂期、初期肥大期、発育停滞期、後期肥大期および成熟期に分けることを提案している。また、各生育時期における植物体内の水分状態と果実横径および結果枝径との関係から、樹体に水ストレスを与えない土壌水分ポテンシャルは-31 kPa～-16 kPaの範囲にあり、生育時期により変動すると結論している。

本試験においては、果実肥大や樹体生育にストレスを与えない灌水管理を行うため、毎日の樹体の吸水量を測定し、植物が必要とする量の灌水を行う方法を採用した。

さらに、異なる樹齢の樹を用いて毎時の吸水パターンも明らかにし時刻帯ごとの吸水量を明らかにした。その結果、樹体の吸水量は樹齢が進むほど多くなり、樹形が完成する4年生樹になると成木の8年生樹と同程度となった。また、生育時期ごとにみると催芽期頃から吸水が始まり、葉数の増加に伴い増加し、新梢伸長が停止し葉数が最大となる満開後91～120日の日吸水量が最大となった。また、単位時間当たりの吸水量は日射量の増加とともに変化し、日射量が最大となる12時よりやや遅れて最大に達した。丸尾ら（1990）および牛田ら（1996）はキュウリの吸水速度はハウス内日射と高い相関があるとしており、本試験においても日射量により時刻ごとの灌水量の管理が可能であると考えられた。なお、調査期間中は常に吸水量よりも多い灌水管理としたため、土壌pFは常に1.5で一定であった。余剰水は盛土から排出されるため盛土内に滞水することがなく、過剰灌水による根いたみや根腐れの発生はみられなかった。第6章および第7章で収量性や早期多収について詳しく検討するが、果重は333～379 g、10 a換算収量は2年目1.8 t、3年目2.8 tと初期収量が高いとともに成木の8年目で6.3 tと多収が実現できた。糖度も12.6～13.2%と高く、高品質多収が可能な栽培方法であるといえる。

一方、1葉当たりの日吸水量は生育時期による変動が少ないが、果実肥大が最大となる満開後91～120日にやや大きい数値を示し、果実へ水分供給の影響と考えられた。このように、樹体の吸水量は葉数により影響を受けることから、葉数を予測することで灌水量の管理が行えると考えられる。根圏制御栽培は樹形がコンパクトで単純なため複雑な管理が必要でないため生育の揃いが良く、葉数の変動も少ないことから、樹齢4年生以降の成木の灌水量は第4-7表のとおり設定した。各生育時期の灌水量は実際の吸水量よりも多いが、これは晴天時の最大吸水量にも対応できるようにしたためで、樹体吸水量よりも約1割程度多い数値としている。なお、晴天や高温が続く場合は、さらに灌水量を多くする必要もある。なお、

葉数の推移に対応し、植付け樹齢1年目は成木の1/3量、2年目は2/3量、3年目は成木相当量の管理とする。

根圏制御栽培では灌水量が多くても余剰水は盛土から排水されるため、灌水量は多くても根腐れなどの樹体生育には問題がないが、果実肥大盛期の灌水量は10aあたり6 t程度と多量の水分が必要となるため、必要を満たすだけの灌水とし灌水にかかる経費を抑える必要性がある。生育時期および時刻帯ごとの灌水量を変えた試験では、1日20回の灌水量を均等とした日等量区で果重が減少し収量が劣った。野並（2001）は水ストレスによって影響を受ける生理代謝と水ストレス感受性について水ポテンシャルを用いて指標化し、細胞伸長が最も水ストレス感受性が強く、糖集積は水ポテンシャルが低くなったときに誘導される生理代謝であることを示している。このように、農業的に商品価値を上げるために重要な、果実が大きく糖度が高い果実を生産するためには、細胞伸長と糖代謝の両方が共に進む必要があり生理的に難しいことがわかる。日等量区の満開後91日以降は晴天日の日中は土壤表面が乾き、土壤pFが1.9程度とやや乾燥状態となったことから、果重が低下したが糖集積にかかるストレスはなく糖度は変わらなかったと考えられる。一方、等量区は葉が展葉するまでは余剰水が多いことから、第4-4表に示したとおり、生育時期および時刻帯ごとの灌水をすることで、余剰水が少なくなり多収が図れると考えられる。

また、生育時期ごとの土壤乾燥の影響も検討した。満開後31～60日の灌水量を半減した2期減水区は新梢伸長が旺盛な時期の土壤乾燥であり、この時期の土壤乾燥により節間が短くなり新梢長が2割程度短くなったが、花芽分化開始期にもあたり、腋花芽数の増加につながったと考えられる（第4-5表）。果実肥大については果実肥大停滞期にあたるため収穫時果重に及ぼす影響は小さく、収量の低下はみられなかった。このことから、満開後31～60日の灌水量低減は、新梢長は短くなるが樹勢の低下はみられず樹体への悪影響はないことから、灌水量削減や腋花芽増加にとって有効な方法であると考えられる。

一方、果実肥大が旺盛になる満開後61～90日および91～120日に日灌水量を改良区の1/3にした3および4期減水区は果重が低下し、収量は減水处理を行っていない改良区にくらべ13～18%減少した。今井ら（1994）は植物体内の水分状態と果実横径および結果枝径との関係から、樹体に水ストレスを与えない土壤水分ポテンシャルは-31 kPa～-16 kPaの範囲にあり、生育時期により変動すると結論している。土壤水分ポテンシャルの-16 kPa～-31はpFに換算すると2.0～2.3程度であり、3期のpF2.3および4期のpF2.6は水ポテンシャルの影響を少なからず受け果重が低下したと考えられる。4期減水区の土壤pFは2.6で晴天日が続くと2.8より大きい日もみられた。糖度は水ストレスの影響を受けにくい強い土壤乾燥により4期減水区では改良区にくらべ0.6%の糖度向上が図られた。伊藤ら（2003）は‘幸水’3～6年生を60～80 Lのコンテナで土耕栽培し、異なる土壤水分が果実肥大速度および枝径の変動に及ぼす影響を詳細に調査し、果実の日肥大量は果実肥大が最も盛んな後期肥大期に高水分下で増加することを明らかにした。また、低水分の後、果実肥大後期だけを高水分に切り換えることによって果実肥大速度や果実糖度が上昇することや、成熟期に水分ストレスを与えると果実横径が短期間に著しく低下する一方、果実糖度が上昇することを明らかにした。このことから、満開後61日以降の灌水量の低減は果重の減少を伴うことから、灌水量および灌水時期について詳細な検討が必要であると考えられた。

以上の結果から、根圏制御栽培における灌水マニュアルを作成した（第4-7表）。

第4章のまとめ

果実肥大や樹体生育にストレスを与えない灌水管理を行うため、樹齢ごと、生育時期ごとに毎日の樹体の吸水量を測定し、植物が必要とする灌水量を調査した。樹体の日吸水量は樹齢が進むほど多くなり、樹形が完成する4年生樹になると成木の8年生樹と同程度となった。また、生育時期ごとにみると葉数が最大に達する満開後91～12

第4-7表 生育時期、時刻帯ごとの1樹当たり灌水量

	満開後日数(日)						
	催芽期～0	0～30	31～60	61～90	91～120	121～150	151～落葉期
1樹当たり 日灌水量 (L/樹/日)	10.0	10.0	10.0	30.0	30.0	25.0	20.0
	時刻帯(時)						合計
	5～7	8～10	11～13	14～16	17～18		
時刻帯ごとの 灌水割合 ²	0.05	0.20	0.30	0.35	0.10		1.00

²1日の灌水量を1としたときの3時間ごとの灌水量の割合

0日に多くなり、成木の8年生樹で29.3 Lであった。日吸水量は葉数との関係が大きく、展葉数により灌水量を決定できる。時刻帯ごとの吸水量は日射量との関係が大きく、正午から午後2時頃に吸水量のピークを迎える。これらの調査から、生育時期および時刻帯ごとの灌水マニュアルを作成した。一方、土壤乾燥の影響は生育時期ごとに異なり、満開後31～60日の土壤乾燥は灌水量の削減が図れるとともに腋花芽着生が向上され有効な方法である。満開後60日以降の土壤乾燥は果実肥大を低下させ、満開後91日以降の土壤乾燥は糖度を向上させることが明らかとなった。

第5章 盛土式根圏制御栽培における 施肥法の確立

果樹は定植されると長年にわたり同一場所で栽培されるため、植付け時からの土壌管理や施肥等の適否が、その後の生育、生産力、果実品質および樹齢の長短に影響する。したがって新植に当たっては、果樹の種類によって適正な大きさや深さの植穴を掘り、完熟たい肥の施用、土壌pHの矯正およびリン酸の補給を行うとともに、数年にわたり計画的に深耕を行って、根群の拡大と活力を高めることが重要である。幼木期は樹冠の拡大を図るため窒素が最も重要であるが、過剰な窒素施用は徒長的な生育となり、胴枯病・腐乱病などの主幹病害や耐寒性の低下から凍害の発生を助長するため、樹齢、樹勢および着果量に応じた施肥量を守る必要がある。結果樹齢に入ると、栄養成長と生殖成長が併行的に樹体内で営まれる。この時期は炭素と窒素のバランス（C/N比）が重要であるが、窒素の過剰施用は徒長枝の多発や新梢停止期の遅延、花芽形成の抑制を誘発するので避けるとともに、リン酸・カリ肥料を併用し、葉への日当たりを良くするなど樹齢にあった施肥管理が重要となる。

根域制限によるわい化栽培に対応した施肥管理として、ウンシュウミカンのボックス栽培では、整枝法の違い（真子ら、1990）や適切な有機物資材量と施肥量との関係が明らかにされ、モモのボックス栽培では施肥量、灌水および土壌容積が示された（本美ら、1995；松波ら、2001）。ウンシュウミカンの畝立て栽培では、適正施肥量（水田・西谷、1997）が検討され、ブドウの根域制限栽培では養水分管理（藤原、1994；今井、1991）が明らかにされ、さらに窒素を春肥と秋肥に分施し他の成分は従来法に準じた施肥（今井、1991）となっている。

本研究では、ニホンナシの根圏制御栽培において、窒素吸収量に基づく効率的な施肥法を確立するため、省力化も図れる緩効性被覆肥料を用い施肥管理技術の確立を図った。

第1節 施肥量が樹体生育、収量および 果実品質に及ぼす影響

本節では根圏制御栽培における施肥量が、樹体生育、収量および果実品質に及ぼす影響を明らかにし、成木における収量および果実品質が良好となる施肥量を明らかにする。

材料および方法

供試したニホンナシ樹は、栃木県農業試験場内のヤマナシ台‘幸水’で、2002年に根圏制御栽培での基肥施肥量を窒素成分で50 g、100 g、200 gおよび300 gの4処理区とし各区3樹を供試した。

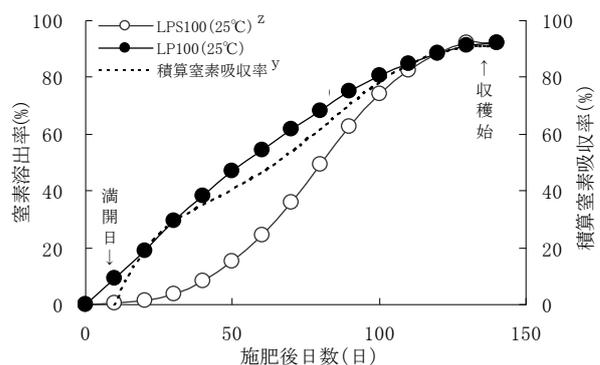
栽植方式は樹間2.0 m×列間2.5 mの並木植えて、10 a換算の栽植本数は200本とした。

灌水管理は催芽期から毎日30 Lを午前5時から40分間隔で20回に分けてドリップ灌水した。施肥は前述のとおりで、肥料は緩効性被覆肥料（リニア型100日タイプ、窒素12%-リン酸14%-カリ12%）を用い、4月上旬（催芽期）に施用した。なお、使用した肥料の溶出曲線は生育時期ごとの窒素吸収量（茨城県、2001）と同等の溶出率を示す（第5-1図）。また、礼肥は収穫直後にNK化成（窒素16%-カリ16%）を窒素成分で基肥の1/5量施用した。病虫害防除は栃木県病虫害防除指針（栃木県、2002）に準じて行った。

樹体調査として葉色は満開後30日から30日おきに葉緑素計（SPAD-502, MINOLTA）で中庸な果そう葉10枚を測定した。

作型は露地栽培とした。満開日は4月14日、収穫日は8月16日～9月4日であった。着果管理は満開後30日に予備摘果、満開後50日に仕上摘果、満開後100日に補正摘果を行い最終着果数が葉果比35となるように行った。

樹体調査（枝、葉数、葉面積および花芽数）、樹冠占有面積および収量、果実品質調査は第3章と同様に行った。



第5-1図 緩効性被覆肥料の窒素溶出率および樹体の積算窒素吸収率¹。LP100はリニア型100日タイプ、LPS100はシグモイド型100日タイプの緩効性被覆肥料

¹積算窒素吸収率は催芽期～落葉期までの樹体の窒素吸収率の推移

結 果

第5-1表に施肥量が樹体生育に及ぼす影響を示した。葉色は満開後60日以降50 g区で他の3区に劣った。新梢

第5-1表 施肥量が樹体生育に及ぼす影響

処理区	葉色 (SPAD値)				葉数				花芽数				
	満開後		新梢長 m/樹	果そう葉 枚/樹	新梢葉 枚/樹	総葉数 枚/樹	葉面積 m ² /樹	LAI	短果枝 個/樹	腋花芽 個/樹	総花芽数 個/樹		
	30日	60日										90日	120日
50 g区	42.3	44.2 b ^z	43.8 b	44.1 b	37.5 c	1,678	856 c	2,534 c	19.1 c	3.8 c	76 a	142 a	218 a
100 g区	43.1	47.9 a	52.3 a	53.3 a	44.8 b	1,592	1,268 b	2,860 b	21.1 b	4.2 b	92 a	151 a	243 a
200 g区	43.3	48.5 a	53.5 a	53.9 a	52.5 a	1,712	1,656 a	3,368 a	24.1 a	5.0 a	54 b	76 b	130 b
300 g区	42.9	48.8 a	53.4 a	54.2 a	54.2 a	1,805	1,668 a	3,473 a	25.6 a	5.1 a	48 b	83 b	131 b
有意性 ^y	ns	+	*	*	*	ns	*	*	*	**	*	**	**

^z多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

^y有意性の**は1%, *は5%, +は10%水準で有意, nsは有意差なし

第5-2表 施肥量が着果数, 収量および果実品質に及ぼす影響

処理区	着果数	葉果比	平均果重	糖度	硬度	pH	収量	
	果/樹	枚/果	g	Brix	lbs		kg/樹	t・10 a ⁻¹
50 g区	70	36.2	322 b ^z	13.1 a	4.5	5.0	22.5 b	4.5 b
100 g区	80	35.8	366 a	13.3 a	4.5	4.9	29.3 a	5.9 a
200 g区	85	39.6	342 ab	12.5 b	4.4	4.9	29.1 a	5.8 a
300 g区	86	40.4	312 b	12.1 b	4.6	5.0	26.8 a	5.4 a
有意性 ^y	-	ns	*	*	ns	ns	*	*

^z多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

^y有意性の**は1%, *は5%水準で有意, nsは有意差なし

長は200 g区および300 g区で50 mを上回り他の区より大きく, 次いで100 g区で50 g区が最低であった。葉数は果そう葉数に有意な差はみられなかったが, 新梢葉数は200 g区および300 g区で1,600枚を上回り多く, 次いで100 g区で, 50 g区が最少であった。総葉数, 葉面積およびLAIも果そう葉数と同様の傾向を示した。特にLAIは200 g区および300 g区が5.0を上回り大きかったが, 収穫直前に果そう葉を中心にムレ葉により一部黄変し落葉がみられた。短果枝および腋花芽の花芽数は, 50 g区および100 g区がともに200 g区および300 g区よりも多く, 花芽着生が優れた。

第5-2表に施肥量が着果数, 収量および果実品質に及ぼす影響を示した。着果数は葉果比を35程度としたため葉数が多い200 g区および300 g区で多かった。平均果重は100 g区で366 gと最も大きく, 次いで200 g区の342 gで, 50 g区および300 g区でそれぞれ322 gおよび312 gと劣った。糖度は50 g区および100 g区で13%を上回り200 g区および300 g区よりも優れた。硬度およびpHは処理間に有意な差はみられなかった。10 a換算収量は100 g区, 200 g区および300 g区で5 tを上回り, 4.5 tの50 g区よりも大きかった。

第2節 樹体の年次別窒素吸収量の推移

第1節では成木における樹体生育, 収量および果実品質が良好となる施肥量を検討し, 催芽期に窒素成分で100 gを緩効性被覆肥料で施用することで果重366 g, 糖度13.3%および収量5.9 t・10 a⁻¹と高品質で収量が優れるとともに, 樹勢が適正でLAIが4.2, 花芽の着生も良好であった。

本節では, 催芽期から落葉期までの生育期間に吸収した窒素成分を明らかにし, 樹齢ごとの施肥量を検討した。

材料および方法

第3章第1節で用いた樹を樹齢ごとにそれぞれ2樹用い, 器官別乾物重増加量および器官別窒素含有率を調査し, 1年間に増加した窒素含量を求め見かけの窒素吸収量を算出した。

1, 2, 3, 4および8年生樹の解体調査は2003年に落葉直後の11月24~27日に行った。

解体調査方法は, 第3章と同様に行った。

また, 生育初期である催芽期の4月7日に各区1樹を解体し, 各器官の新鮮重および乾物率を算出した。各器官の乾物増加量の算出方法については, 福田ら(1991, 1992)および文室ら(1999)の方法に準じ, 落葉直後の器官別乾物重から生育初期の器官別乾物重の推定値を差し引いて算出した。生育初期の器官別乾物重の推定値は次の方法で算出した。すなわち, 生育初期の4月7日に, 結果枝, 主枝および主幹は円柱であると仮定して, ほぼす

すべての結果枝、主枝および主幹について、それぞれ基部と先端部付近の枝径を測定し、両者の平均値から円柱の断面積を得た。落葉直後に同じ位置の結果枝、主枝および主幹径を測定して個々の結果枝、主枝および主幹ごとに断面積増加率を算出した。結果枝、主枝および主幹の長さはほとんど変わらないため、この数値を個々の結果枝、主枝および主幹の容積増加率とみなした。解体した個々の結果枝、主枝および主幹の新鮮重を推定し、生育初期の器官別乾物率を乗じてそれぞれの乾物重を算出した。主幹、主枝および結果枝は旧枝として集計した。根については直径2 mm未満の細根はすべて新根、太根はすべて旧根であると仮定した。生育初期の太根乾物重については、太根は旧枝と同じ比率で肥大したと仮定して旧枝の容積増加率から算出した。従って、新梢、葉、果実（摘果および落果した果実を含む）および細根の全乾物重と旧枝および太根の乾物増加量を落葉直後までに生産された乾物生産量とした。各器官の窒素含有率は解体調査で使用した乾物を用いケルダール法で分析した。その後、1年間の窒素吸収量は各器官の乾物重に窒素含有率を乗じ落葉直後の器官別窒素含量から生育初期の器官別窒素含量の推定値を差し引いて算出した。

結 果

第5-2図に樹齢別の器官別同化産物分配量を示した。器官別同化産物分配量の総和である全重増加量は樹齢の進行に伴い増加し、1年生樹2.7 kg、2年生樹4.3 kg、3年生樹6.3 kg、4年生樹7.6 kgとなり、成木となった8年生樹は微増し8.9 kgであった。器官別にみると太根、新梢、葉および果実は樹齢が進むにしたがい増加したが、旧枝は1年生樹が最も多くその後も減少し3年生樹以降一定となった。細根は2~3年生樹が最大となった。

第5-3図に樹齢別の器官別同化産物分配率を示した。旧枝は樹齢が進むにしたがい減少した。一方、果実は増加し、8年生樹で43%と最大となった。太根および細根は1年生樹が最大でその後4年生樹まで減少した。その後8年生樹で細根は微減したが、太根は増加した。新梢は樹齢に関係なくほぼ一定の値で推移した。葉は1年生樹で低かったが、2年生樹になると増加し8年生樹まではほぼ一定であった。

第5-4図に樹齢別の器官別窒素分配量を示した。器官別窒素分配量の総和である全窒素含有量は樹齢の加算に伴い増加し、1年生樹32g、2年生樹50 g、3年生樹74 g、4年生樹95 gとなり、8年生樹102 g

であった。器官別にみると葉、果実および太根は樹齢が進むにしたがい増加したが、旧枝は樹齢が進むに従い減少した。新梢は4年生樹まで増加したが8年生樹でやや減少に転じた。細根は2年生樹まで増加しその後微減した。

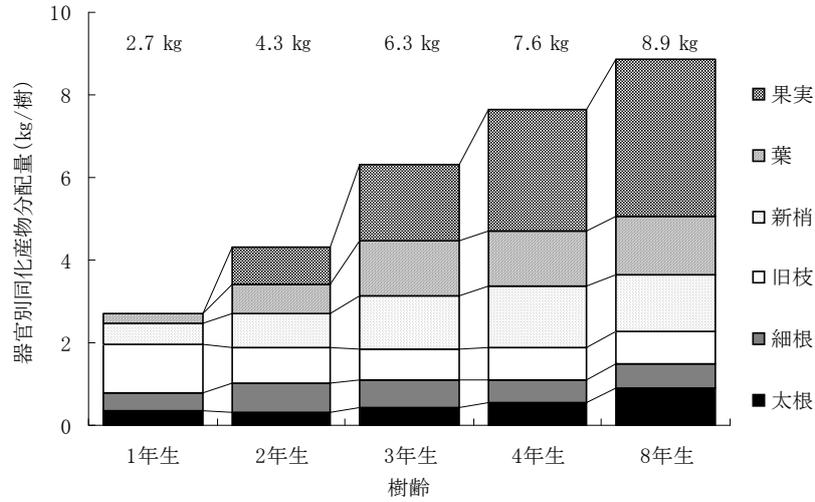
考 察

本章では、樹体の吸収特性に応じた効率的な施肥管理技術を確立するために、樹齢別の乾物重増加量、窒素吸収量の調査を行った。茨城県(2001)ではニホンナシ‘幸水’について窒素吸収特性に基づき基肥(落葉期)：追肥1(5月上旬)：追肥2(6月上旬)：礼肥(9月)を5：1.5：1.5：2に分施する施肥法により、基肥主体の施肥法に比べ収量および果実品質が低下せず2割の窒素減肥が可能であることを明らかにしている。本試験では、施肥の効率化を図るため、樹体の窒素吸収特性と同様の溶出特性を示す緩効性被覆肥料(リニア型100日タイプ：LP100)を用いて試験を行った。成木の施肥量について、100 g区は200 g区および300 g区に比べ果実肥大および収量が同等以上で、糖度が高い値を示し、樹勢も中庸であることが明らかとなった。年次別にみると、樹体の全重増加量は樹齢の経過とともに増加し、8年生樹で8.9 kg、10 a換算で1,780 kgを示し、果実への分配率も43%と多くなった。同様に、窒素吸収量も樹齢の経過とともに増加し、8年生樹で102 g(10 a換算で20.4 kg)となった。これは、成木の窒素施肥量試験での施肥量と同等の値であることから、樹齢別の施肥量はリニア型100日タイプの緩効性被覆肥料を用いることで、樹体の窒素吸収量に応じた施肥管理が可能であると考えられる。つまり、1年目は成木の1/3量の33 g、2年目は1/2量の50 g、3年目は3/4量の75 g、4年目以降は全量の100 gと設定できる。また、肥料の溶出率を90%、盛土からの溶出を10%程度と考えて、秋の根の伸長に合わせて礼肥として基肥の2割程度、窒素とカリの複合肥料を収穫直後に施用するのが最適と考えられた。

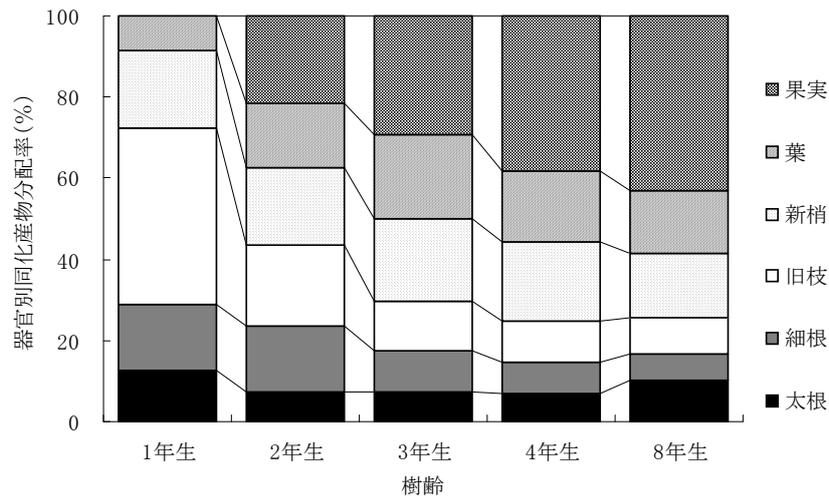
第5章のまとめ

樹体の吸収特性に応じた効率的な施肥管理技術を確立するために、樹齢別の乾物重増加量、窒素吸収量を検討した。樹体の同化産物増加量および窒素吸収量は樹齢とともに増加し、成木で10 a換算1,780 kg、窒素吸収量20.4 kgであった。この調査をもとに樹齢別の1樹当たりの施肥窒素量を、1年目が全量の1/3、2年目1/2、3年目3/4、4年目全量の100 gと設定した。また、使用した肥

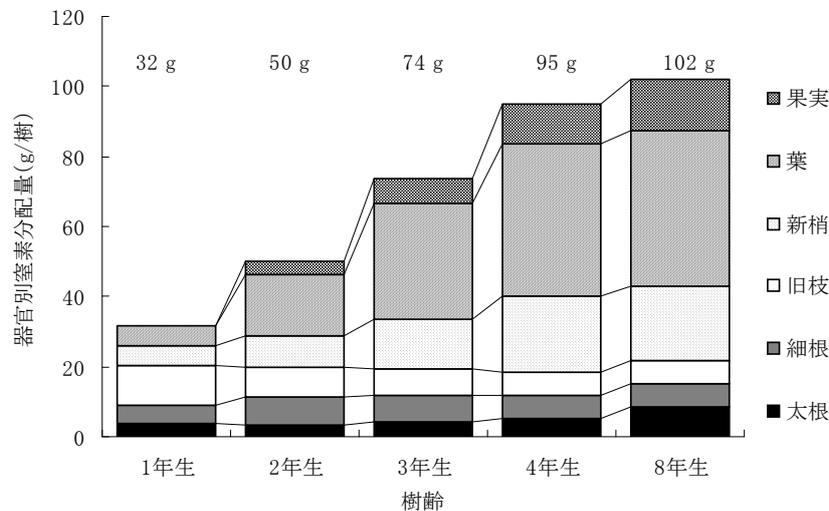
料は、リニア型100日タイプの緩効性被覆肥料で、催芽 様の推移を示す。
 期から収穫期までの溶出特性が樹体の窒素吸収特性と同



第5-2図 樹齢別の器官別同化産物分配量
 図中の数値は樹齢別の年間乾物重増加量(kg/樹)



第5-3図 樹齢別の器官別同化産物分配率



第5-4図 樹齢別の器官別窒素分配量
 図中の数値は樹齢別の年間窒素吸収量(g/樹)

第6章 栽培法と仕立て方の違いが樹体生育、収量および物質生産に及ぼす影響

第3～5章において、根圏制御栽培において安定栽培するための培土量、灌水方法および施肥量の検討を行った。本章では、根圏制御栽培における樹体生育、収量性および物質生産について明らかにするため、栽培法と仕立て方から検討を加えた。

材料および方法

供試したニホンナシ樹は、栃木県農業試験場内のヤマナシ台‘幸水’で、2001年に平棚地植区、Y字地植区、平棚根圏区およびY字根圏区の4区を設け、2001～2003年の3か年試験に供した。作型は露地栽培とした。平棚地植区は栃木県の標準的な栽培方法であり（以下、慣行）、1986年に1年生苗を高さ120 cmに切り詰めてニホンナシほ場に定植し（地植）、高さ180 cmの平棚に4本主枝として仕立てたものを用いた（第6-1図A, B, 写真6-1）。Y字地植区は、1996年に1年生苗を高さ60 cmに切り詰めてニホンナシほ場に定植し（地植）、主枝先端が地上1 mの高さになるように主枝を2本分岐させ、長さ約130 cmの結果枝を45～50度の角度で斜め上方に誘引したものを用いた（第6-1図C, D）。

一方、Y字根圏区の栽培方式は第2章1～3の根圏制御栽培とし、根圏制御ほ場に1996年1年生苗を定植した。灌水は第6-1表のとおり行った。仕立て方は第2-2図のとおりY字仕立てとした。平棚根圏区は根圏制御栽培とし、1996年に1年生苗を地表面から高さ150 cmに切り詰めて盛土に定植し、高さ180 cmの平棚に2本主枝として仕立てたものを用いた（第6-2図A, B）。

栽植方式は平棚地植区は7.2 m×7.2 m、Y字地植区は樹間4.0 m×列間3.0 m、Y字根圏区および平棚根圏区は樹間2.0 m×列間2.5 mの並木植えて、10 a換算の栽植本数はそれぞれ20, 83, 200および200本とした。供試本数はいずれの処理区も3樹とした。

施肥は地植の2区は栃木県の農作物施肥基準（栃木県、1998）に準じ化成肥料（窒素10%-リン酸10%-カリ8%）を、根圏制御の2区は緩効性被覆肥料（リニア型100日タイプ、窒素12%-リン酸14%-カリ12%）を用い、それぞれ窒素成分で10 a当たり20 kgを地植の2区は11月下旬（落葉期）に、根圏制御の2区は4月上旬（催芽期）に施用した。病虫害防除は栃木県病虫害防除指針（栃木県、2001, 2002, 2003）に準じて行った。

樹体調査（枝、葉数、葉面積および花芽数）、樹冠占有面積および収量、果実品質調査は第3章と同様に行った。また、2003年に高さごとの葉面積密度（LAD）を0.5 mごとの葉数に個葉の葉面積を乗じて算出した。樹勢の指標として新梢発生程度は落葉期の全枝長（主幹長、主枝長、結果枝長、予備枝長および新梢長の和）を萌芽直前の全枝長（主幹長、主枝長、結果枝長および予備枝長の和）で除して求めた。

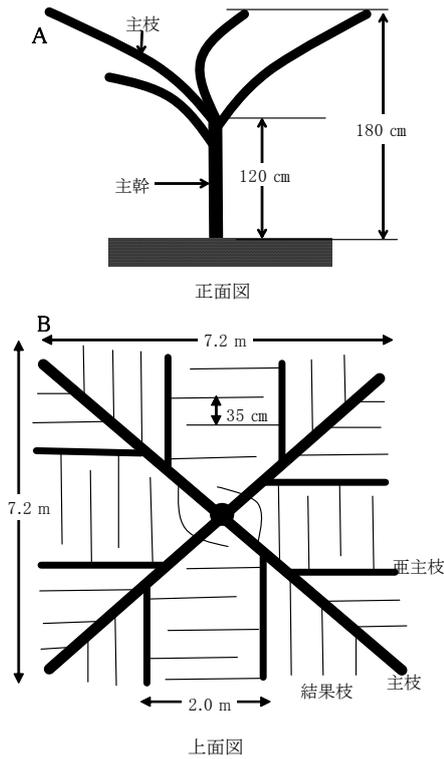
樹の解体調査は2003年11月24～27日にY字地植区、平棚根圏区およびY字根圏区は各区3樹、平棚地植区は1樹（参考値）について、第5章第2節と同様に行った。

結 果

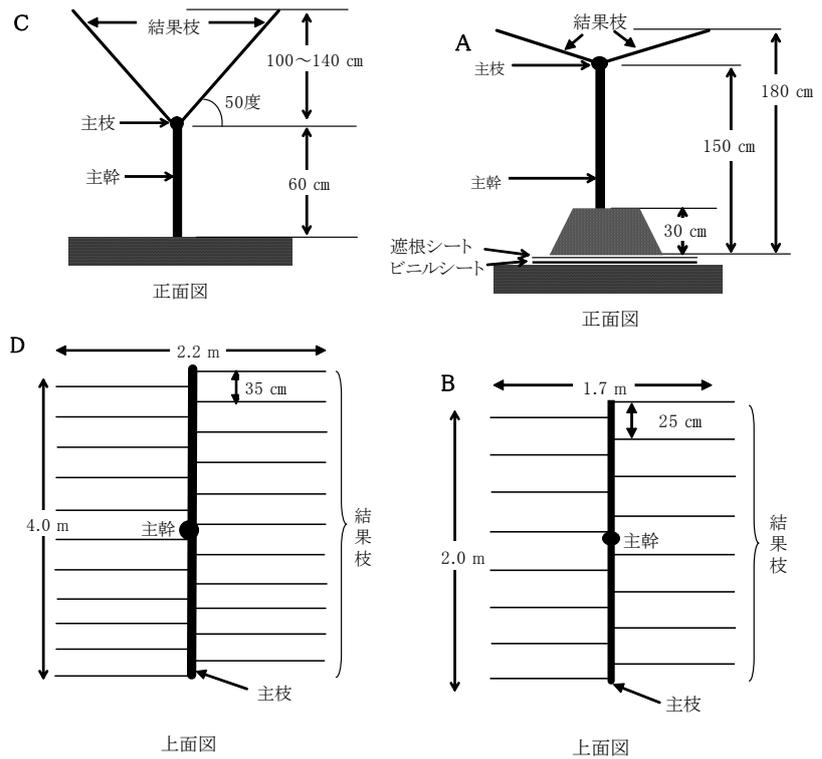
第6-1表に仕立て方と栽培方式の違いが結果枝本数、枝長および新梢発生程度に及ぼす影響を示した。1樹当たりの結果枝本数は栽植の割当面積が大きい平棚地植区で最大となったが、栽植の割当面積1 m²当たりの結果枝長はY字根圏区（4.1）、平棚根圏区（2.9）の順に大きく、結果枝間隔の広い地植の2区（1.8～2.1）で小さかった。結果枝の1年枝割合の最大値は2001年の平棚地植区の64%、最小値は2003年の19%で45%の差であったが、1年枝（長果枝）は前年夏期の日照時間の影響を受けるため年次間差が大きく、処理間に有意な差はみられなかった。1樹当たり新梢長は平棚地植区で165.2 mと最大で、Y字地植区の（81.2 m）の約2倍、Y字根圏区（43.4 m）の約4倍、平棚根圏区（13.8 m）の約12倍であったが、栽植の割当面積1 m²当たり新梢長はY字根圏区（8.7）、Y字地植区（6.8）とY字仕立てで平棚の2区の3程度の2倍以上と大きかった。樹勢の指標である新梢発生程度はY字地植区で4.2と最大、次いでY字根圏区で2.9となり、平棚の2区の2程度より大きかった。

第6-2表に仕立て方と栽培方式の違いが葉数、LAIおよび落葉後の花芽数に及ぼす影響を示した。新梢停止期の1樹当たりの果そう葉数は第6-2表に示した結果枝長と、新梢葉数は第6-2表に示した新梢長と同様の傾向を示した。また、全葉数に占める新梢葉数の割合（新梢葉率）はY字地植区で43%と高く、平棚根圏区で最低の22%であった。LAIはY字根圏区が4.9で他の処理区の2倍程度と大きかった。落葉直前の栽植の割当面積1 m²当たり花芽数はY字根圏で38個と多く、平棚根圏区、平棚地植区がこれに続き、Y字地植区が11個と極端に少なかった。

第6-3図に仕立て方と栽培方式の違いが高さごとの葉面積密度（LAD）に及ぼす影響を示した。高さごとのLADはY字根圏区が0.5～3.5 mまで高かった。次いで、



第6-1図 平棚地植栽培樹(A, B)とY字地植栽培樹(C, D)の概略



第6-2図 平棚根圏栽培樹(A, B)の概略



写真6-1 平棚地植栽培樹の仕立て方

Y字地植区が0.5~3.0 mまで高い値を示した。Y字の2区が0.5~4.0 mまでデータが示されたのに対して、平棚の2区は1.5~4.0 mの間しか葉数がなく、特に1.5~2.5 mに71~77%と集中した。

第6-3表に仕立て方と栽培方式の違いが収量および果実品質に及ぼす影響を示した。葉果比は35程度ではぼ設定どおりであった。栽植の割当面積1 m²当たりの着果数はY字根圏区で18.5果と最大で、他の処理区の1.8~2.0倍であった。果重は処理間に有意な差がなかったため、10 a換算収量は栽植の割当面積1 m²当たり着果数の多か

ったY字根圏区で6.1 tと最大になり、他の3処理区の2倍程度となった。糖度は根圏制御栽培したY字根圏区、平棚根圏区で地植の2処理区よりも高かった。硬度は4.6~4.7ポンド、pHは4.8~4.9で処理による差はなかった。

第6-4図に仕立て方と栽培方式の違いが器官別同化産物分配率に及ぼす影響を示した。果実への分配率は根圏制御した2区で高く、特にY字根圏区で43.6%となった。同様に葉、細根への分配率は根圏制御した2区で多くなるなど、新器官への分配が高まった。新梢への分配率は新梢長が大きかったY字地植区およびY字根圏区で高

盛土式根域制限栽培によるニホンナシの早期多収に関する研究

かった。一方、貯蔵養分器官である旧枝、太根および新梢への分配率の合計は地植の2区で高く、合計で50%程度であった。また10 a換算乾物生産量はY字根圏区で1,

770 kgで最大、Y字地植区で1,213 kgとY字の2区で平棚地植区を上回った。

第6-1表 仕立て方と栽培方式の違いが結果枝本数、枝長および新梢発生程度に及ぼす影響

処理区	年度	樹齢	栽植の割当面積 ([○] 内:樹冠占有面積) m ²	結果枝本数			1年枝		新梢長		新梢 発生 程度	
				1年枝 本/樹	2年枝 本/樹	3年枝以上 本/樹	割合 %	結果枝長 ^z m/樹	新梢長 m/樹	m・m ⁻²		m・m ⁻²
平棚地植	2001	16	50.0(42.8)	80.3	30.3	15.0	64	111.3	2.2	171.1	3.4	2.2
	2002	17	50.0(43.0)	65.3	34.0	23.7	53	98.7	2.0	166.3	3.3	2.2
	2003	18	50.0(44.0)	40.3	54.0	26.3	33	100.2	2.0	158.3	3.2	2.2
	平均		50.0(43.4)	62.0	39.4	21.7	50	103.4 a ^y	2.1 c	165.2 a	3.3 c	2.2 c
Y字地植	2001	6	12.0	5.7	7.0	7.3	29	22.5	1.9	79.3	6.6	4.0
	2002	7	12.0	5.3	4.7	7.3	31	19.5	1.6	83.3	6.9	4.5
	2003	8	12.0	3.7	5.0	10.3	19	21.1	1.8	81.1	6.8	4.2
	平均		12.0	4.9	5.6	8.3	26	21.0 b	1.8 c	81.2 b	6.8 b	4.2 a
平棚根圏	2001	6	5.0	5.7	5.0	5.3	36	14.0	2.8	14.5	2.9	1.8
	2002	7	5.0	4.7	6.0	5.3	29	14.5	2.9	13.5	2.7	1.8
	2003	8	5.0	7.0	4.0	5.3	43	15.1	3.0	13.4	2.7	1.7
	平均		5.0	5.8	5.0	5.3	36	14.5 c	2.9 b	13.8 d	2.8 c	1.8 d
Y字根圏	2001	6	5.0	7.3	5.7	3.7	44	20.1	4.0	42.8	8.6	2.9
	2002	7	5.0	6.0	6.3	4.7	35	20.9	4.2	47.2	9.4	3.0
	2003	8	5.0	6.7	5.3	5.0	39	21.1	4.2	40.2	8.0	2.7
	平均		5.0	6.7	5.8	4.5	39	20.7 b	4.1 a	43.4 c	8.7 a	2.9 b
有意性 ^x				—	—	—	ns	**	*	**	*	*

^z結果枝長、新梢長のm・m⁻²は栽植の割当面積1 m²当たりの枝長

^y多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

^x有意性の**は1%、*は5%水準で有意、nsは有意差なし

第6-2表 仕立て方と栽培方式の違いが葉数、LAIおよび落葉後の花芽数に及ぼす影響

処理区	年度	樹齢	葉数		新梢葉率 %	LAI	落葉直前の花芽数			
			果そう葉 枚/樹	新梢葉 枚/樹			短果枝 個/樹	腋花芽 個/樹	総花芽数 ^z 個/樹 個・m ⁻²	
平棚地植	2001	16	10,356	5,223	33.5	2.1	612	926	1,538	31
	2002	17	9,166	4,561	33.2	1.9	544	811	1,355	27
	2003	18	8,663	4,622	34.8	1.9	503	458	961	19
	平均		9,395 a ^y	4,802 a	33.8 b	1.9 c	553	732	1,285	26 b
Y字地植	2001	6	2,551	1,811	41.5	2.7	91	71	162	14
	2002	7	2,055	1,860	47.5	2.5	80	59	139	12
	2003	8	2,681	1,775	39.8	2.8	68	31	99	8
	平均		2,429 b	1,815 b	43.0 a	2.7 b	80	54	133	11 c
平棚根圏	2001	6	1,389	485	25.9	2.3	121	53	154	31
	2002	7	1,427	354	19.9	2.1	105	40	145	29
	2003	8	1,498	378	20.1	2.4	102	35	137	27
	平均		1,438 c	406 d	22.0 c	2.2 b	109	43	145	29 b
Y字根圏	2001	6	2,110	1,187	36.0	4.8	93	131	224	45
	2002	7	2,169	1,264	36.8	5.0	82	105	187	37
	2003	8	2,311	1,003	30.3	4.8	75	91	166	33
	平均		2,197 b	1,151 c	34.4 b	4.9 a	83	109	192	38 a
有意性 ^x			**	**	*	**	—	—	—	**

^z総花芽数の個・m⁻²は栽植の割当面積1 m²当たりの花芽数

^y多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

^x有意性の**は1%、*は5%水準で有意

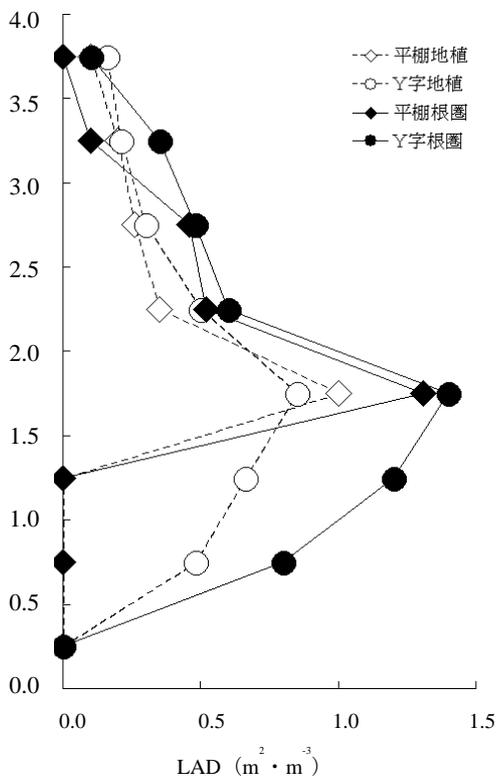
第6-3表 仕立て方と栽培方式の違いが収量および果実品質に及ぼす影響

処理区	年度	樹齡	着果数		葉果比	地色	平均果重	換算収量	糖度	硬度	pH
			果/樹	果・m ⁻² z							
平棚地植	2001	16	440	8.8	35	2.5	328	2.9	11.5	4.5	4.8
	2002	17	387	9.6	35	2.5	343	2.7	11.5	4.7	4.9
	2003	18	412	8.2	32	2.7	339	2.8	11.4	4.6	4.6
	平均		413 a ^y	8.9 c	34	2.6	337	2.8 b	11.5 b	4.6	4.8
Y字地植	2001	6	121	10.1	36	2.4	315	3.2	11.3	4.6	4.9
	2002	7	127	10.6	31	2.4	310	3.3	11.4	4.8	4.9
	2003	8	118	9.8	38	2.3	320	3.1	11.2	4.7	4.7
	平均		122 b	10.2 b	35	2.4	315	3.2 b	11.3 b	4.7	4.8
平棚根圏	2001	6	55	11.0	34	2.5	320	3.5	12.0	4.7	4.9
	2002	7	49	9.8	36	2.7	314	3.1	11.8	4.8	4.9
	2003	8	54	10.8	35	2.7	325	3.5	12.3	4.7	4.8
	平均		53 d	10.5 b	35	2.6	320	3.4 b	12.0 a	4.7	4.9
Y字根圏	2001	6	91	18.2	36	2.6	312	5.7	12.4	4.8	4.9
	2002	7	96	19.2	36	2.5	332	6.4	12.1	4.9	4.8
	2003	8	90	18.0	37	2.6	352	6.3	12.6	4.6	4.7
	平均		92 c	18.5 a	36	2.6	332	6.1 a	12.4 a	4.8	4.8
有意性 ^x		**	*	ns	ns	ns	*	*	ns	ns	

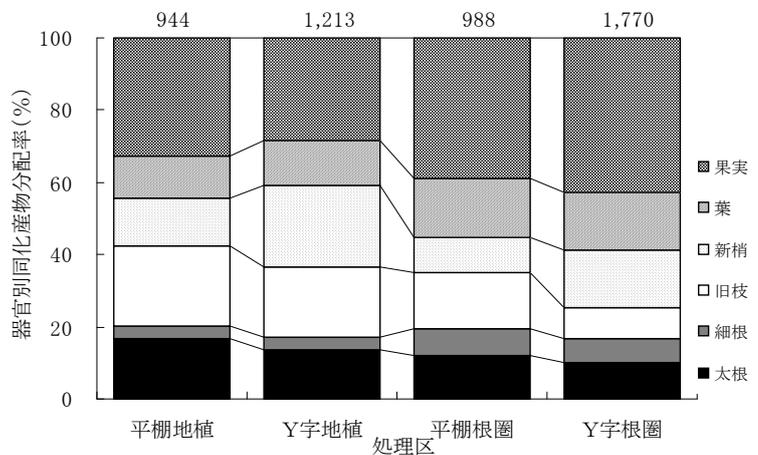
^z着果数の果・m⁻²は栽植の割当面積1 m²当たりの着果数

^y多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

^x有意性の**は1%, *は5%水準で有意, nsは有意差なし



第6-3図 仕立て方と栽培方式の違いが高さごとの葉面積密度(LAD)に及ぼす影響



第6-4図 仕立て方と栽培方式の違いが器官別同化産物分配率に及ぼす影響

図中の数字は10 a換算乾物生産量(kg・10 a⁻¹)

考 察

ニホンナシ‘幸水’は現地への普及から40年以上が経過し、老木化による樹勢低下、萎縮症による樹体の枯死（中村，2005）、紋羽病などの土壤病害（渡辺，1963）による収量・品質の低下が深刻となっている。そこで著者らはY字仕立てによる根圏制御栽培が、樹体生育、収量および物質生産に及ぼす影響について検討を進めた。その結果、収量が倍増し糖度も高くなることが明らかとなった。まず、収量が倍増する理由について以下に考察する。

根域制限栽培は水分ストレスや根量の減少によって樹勢が落ち着き花芽の着生が促進されるが、培地が少量であったり適正な水分管理を行わないと果実肥大が抑制される（澤野ら，1998）。また、ポットや木枠などの容器を用いると、根が容器の壁面に沿ってびっしりと張った状態、いわゆる「根巻き」やポット内が根で充滿する「根づまり」が起こり、花芽着生は良好となるが生育が抑制される。そこで、根圏制御栽培では花芽着生と樹勢の維持の両方を実現するために、培地を盛土とすることで「根づまり」を回避するとともに、水分ストレスの急激な変動を防ぐため灌水管を樹齡、生育時期ごとに調査した樹体の吸水量に基づいて行った。その結果、Y字根圏区は樹勢は中庸となり、新梢の発生は良好で優良な発育枝が育成された。さらに7月には発育枝の誘引処理を行い花芽形成の促進を図り、栽植の割当面積1 m²当たり38個と花芽が十分確保された。一方、Y字地植区では主枝上や短果枝から徒長枝が乱立するなど強勢な徒長枝が多く、新梢の誘引を行ったが優良な発育枝が少なく11個・m²と花芽数の確保が不十分であった。発育枝に対する夏季の誘引は花芽形成促進の効果がある（伊東ら，1996，1997）ことから、優良な発育枝の確保のみならず夏季の誘引処理が安定多収の要因の一つと考えられる。

短果枝葉の重要性については、優良園の展葉の早さ（林，1960）や果そう葉率の高さ（小豆沢・伊藤，1983）により示されており、収量を高めるためには花芽は多く残り早期に短果枝葉を確保し、摘蕾・摘花・摘果などで着果数を制限することが薦められている。短果枝葉の重要性については以上の点で明らかであるが、葉数をどの程度にすればよいか問題となる。これまでニホンナシで適切な葉数について検討した試験としては、最適なLAIの検討（小豆沢・伊藤，1983；林ら，1995；平田ら，1980；文室・村田，1989；金子ら，1988）や葉果比の検討（平田ら，1980；三好ら，1976；臼田ら，1987）がある。葉量が増えるに従って果そう葉への受光量が低

下し、果実品質や花芽形成に悪影響を及ぼす（田辺ら，1982）ため、‘幸水’の好適LAIは果実品質および花芽形成から3前後である（文室・村田，1989）。このため、高収量かつ高品質を得るためにはLAIを3程度まで葉量を増やす必要がある。根圏制御栽培におけるY字仕立ては、結果枝が平棚に対し約45～50度斜立した形状となっているため、平棚の約1.55倍の棚面積を有する。このためY字根圏区のLAIは5程度であるが、1.55で除し平棚に換算すると3.2となり‘幸水’にとって好適なLAIであったと考えられる。一方、葉果比についてはすべての区で35程度と一定であったため、果重は330 g程度と差がなくその影響は明らかでなかった。このことから、Y字根圏区で多収となった要因の二つめとしては、Y字仕立てとすることで延べ棚面積の増加が図られたため葉数を多く配置でき、着果数を増やすことができたことで収量の向上が図られたと考えられる。

倉橋（1997）はリンゴのY字型棚整枝が従来の主幹形よりも光利用効率が高いため樹当たりの光合成生産量が多く、果実への分配率が高まるため多収で果実品質が優れることを明らかにした。本試験のY字根圏区は結果枝を主枝から50度程度斜立するY字形の整枝であり、高さ0.6～1.0 mの主枝上から結果枝が平行に配置され、先端の新梢伸長が良好となるため結果枝途中からの不要な新梢の発生が少ないことが観察された。また、高さごとのLADは0.5～3.5 mで高い値を示し下層から上層まで葉が展開され、さらに、葉がやや立ち気味であったことからそれぞれの葉が重なり合うことが少なく結果枝基部から先端まで十分光が当たる条件となった。このように、Y字根圏区は、リンゴのY字型棚整枝同様、光利用効率が高いため樹当たりの光合成生産量が大きくなり収量向上に結びついたと考えられる。一方、平棚の2区は、結果枝が配置された1.5～2.5 mの高さに71～77%の葉が集中し、さらに、葉が水平に展開されているため、重なり合う部分が多く、受光条件の不良な葉が多くなり生産力が劣ったと考えられた。

高橋（1998）は高生産のポイントとして果実への分配率を多くすることを挙げている。同化産物の果実への分配率はニホンナシでは31～35%であり（小豆沢・伊藤，1983；文室ら，1999；内田・高橋，1995），本試験の平棚地植区で32.5%と同程度の値となった。一方、平棚根圏区は39.1%、Y字根圏区は43.0%と高い値を示し、根圏制御栽培でコンパクトな樹体とすることで果実への同化産物の分配率が高まることが示唆された。さらに、10 a当たりの栽植本数を乗じた10 a換算乾物生産量を推定するとY字根圏区では1,770 kgであり、高生産の‘二十

世紀' 樹（小豆沢・伊藤，1983；内田・高橋，1995）を上回り，乾物生産力の高さが窺われた。このことから，Y字根圏区で多収となった要因の四つめとしては，乾物生産力が高くかつ果実への同化産物の分配率が高まることで多収生産に結びついたと考えられる。しかし，果実への同化産物の分配率が高まる一方，旧枝や太根といった貯蔵養分器官への分配が減少し，初期生育への影響が心配される。ここで，10 a換算の乾物生産量に器官別同化産物分配率を乗じて10 a換算の器官別乾物生産量を算出すると，貯蔵養分器官である旧枝，新梢，太根の合計は平棚地植区で495 kg，Y字根圏区で614 kgであり，Y字根圏区が高い値を示している。このことから，Y字根圏区において次年度の初期生育の停滞の心配はないと考えられる。

以上の四つの理由により，根圏制御栽培において樹形をY字仕立てとすることにより葉数と着果数を多く確保できるとともに，それぞれの個葉の受光体勢が良好となること，さらに果実への同化産物の分配率が高まることで多収につながったと考えられる。

一般に，着果数を多くすると果実糖度が低下する（平田ら，1980；池田，2009；岸本，1975；三好ら，1974，1976；臼田ら，1987）。また，葉量が増えるに従って果そう葉への受光量が低下し，果実品質や花芽形成に悪影響を及ぼす（田辺ら，1982）が，Y字根圏区では多収にもかかわらず高糖度が得られた。糖度が向上した要因について次の2点から考察できる。

一つめとして，根域制限栽培では水分ストレスを受けるために高糖度果実が生産される（松本ら，2006）。根圏制御栽培では灌水量を樹体の吸水量に基づいて行ったが，晴天日昼間の葉柄の水ポテンシャルは-1.3 MPa程度と低く（大谷ら，2007），このため糖度が高まったと考えられる。

二つめとして仕立て方が挙げられる。倉橋（1997）はリンゴのY字形棚整枝は受光環境が良く糖度の高い果実の割合が高かったと報告している。また，田辺ら（1982）はナシで光環境の良い部位の果実は品質が優れ，末澤・若林（1991）はモモで相対照度が20%以上の部分に着果する果実は糖度が高い傾向があると報告している。Y字根圏区は倉橋（1997）とは主枝の配置方向は異なるもののY字形の棚構造をしており受光環境が優れていると考えられる。根圏制御栽培におけるY字仕立てでは結果枝の誘引角度を45～50度に傾けたことにより，結果枝先端の新梢伸長が促進され，結果枝基部や中間部からの新梢や徒長枝の発生が減少した。著者らの簡易積算日射量測定フィルム（オプトリーフ，大成イーアンドエル

（株））による受光量調査では，展葉が少ない生育初期では平棚地植区で樹冠内部の積算日射量が多かったが，収穫期では逆にY字根圏区で樹冠内部および先端への積算日射量が多かった（未発表）。Y字根圏区では新梢停止期のLAIが5程度と高いが，棚面積当たりに換算すると3程度であり，樹冠内部，周辺部への受光量も高く果実糖度には正の効果があったと考えられる。また第6-2図のとおり根圏制御栽培では樹冠幅を1.7 mとすることで隣接列との結果枝先端間に幅80cm空間ができる。これらのことより，根圏制御栽培によるY字仕立てでは受光環境が良くなり，果実糖度が高まったと考えられる。

Y字根圏区の栽植の割当面積1㎡当たりの着果量は18果程度と高い値であったが，棚面積当たりで換算すると12果程度，葉果比は35程度であり極端に高い値ではなかったため糖度の低下はみられなかったと考えられる。

第6章のまとめ

ニホンナシ‘幸水’における栽培方式と仕立て方が樹体生育，収量および乾物生産に及ぼす影響を検討した。まず，栽培方式を地植栽培と根圏制御栽培の2処理，仕立て方を平棚栽培とY字仕立ての2処理として，平棚地植区，Y字地植区，平棚根圏区およびY字根圏区の4処理を設けた。Y字根圏区はLAIが4.9で他の処理区の2倍程度と大きかった。また，Y字根圏区の着果数は栽植の割当面積1㎡当たり18.5果と他の処理区の約2倍となった。葉果比はすべての処理区で35程度と差がなかったため，10 a換算収量はY字根圏区で6.1 tで最大となり，慣行の平棚地植区の2.2倍と多収となった。糖度は根圏制御区で高かった。Y字根圏区の新梢発生程度は4処理区の間値で樹勢は中程度であったため優良な新梢が多く，㎡当たり花芽数が最大となった。10 a換算乾物生産量はY字根圏区で大きかった。また，果実への同化産物分配率はY字根圏区で43.0%，平棚根圏区で39.1%と高かった。細根への分配率も根圏制御した2区が地植した2区よりも高く，根圏制御により細根の発生が多くなった。これらのことより，根圏制御栽培では仕立て方をY字仕立てにすることにより，糖度が高く慣行の2倍の収量が得られることが明らかとなった。根圏制御栽培では細根の発生が多く樹体生育が良好になるとともに，Y字仕立てにすることでLAIが大きくなるとともにLADが一層に集中することなく0.5～3.5 mの高さに配置されることで乾物生産量が多くなること，コンパクトな樹形とすることで果実への同化産物分配率が高まり，収量および糖度の向上が図られたと考えられる。

第7章 密植・盛土式根圏制御栽培による早期多収技術の開発

本章では第6章に続き、早期多収の面から検討を行った。

ニホンナシの老木化や萎縮症の対策として改植や新植が考えられるが、植付け後の早期多収が課題となる。ニホンナシの早期多収は間伐樹に主枝本数の多い整枝法を用いる（吉田，2008）こと、3～4年育成した大苗を用い2本主枝一文字整枝（加藤，2001）や2本主枝H型整枝（押田，2001）で育成すること、大苗を用いた「改良むかで整枝」（明田・田中，2003）など整枝法や育苗法を組み合わせることで実現が図られてきた。これらの栽培法は成園化までの期間を短縮することができ改植・新植に有効な方法といえるが、生産者が所得向上による経営改善を図るためには早期からの単位面積当たり収量の増大も重要となる。

一方、ニホンナシの根域制限栽培は、文室（2000）および文室ら（1999）が、根域制限ベッドに栽植した‘幸水’5年生樹で37 t・ha⁻¹の収量を得ているが、単年度の検討であり、ニホンナシの根域制限栽培で苗木から成木に至る収量、果実品質および樹体生育を調査した報告は見あたらない。

そこで、根圏制御栽培による早期多収を目的に、栽培方式と育成方法の面から検討を行った。

第1節 ‘幸水’における早期多収技術の開発

材料および方法

供試したニホンナシ樹は栃木県農業試験場内のヤマナシ台‘幸水’で、Y字根圏区、Y字地植区、平棚地植区の3区を設け、植付け後5年間試験に供した。作型は露地栽培とした。

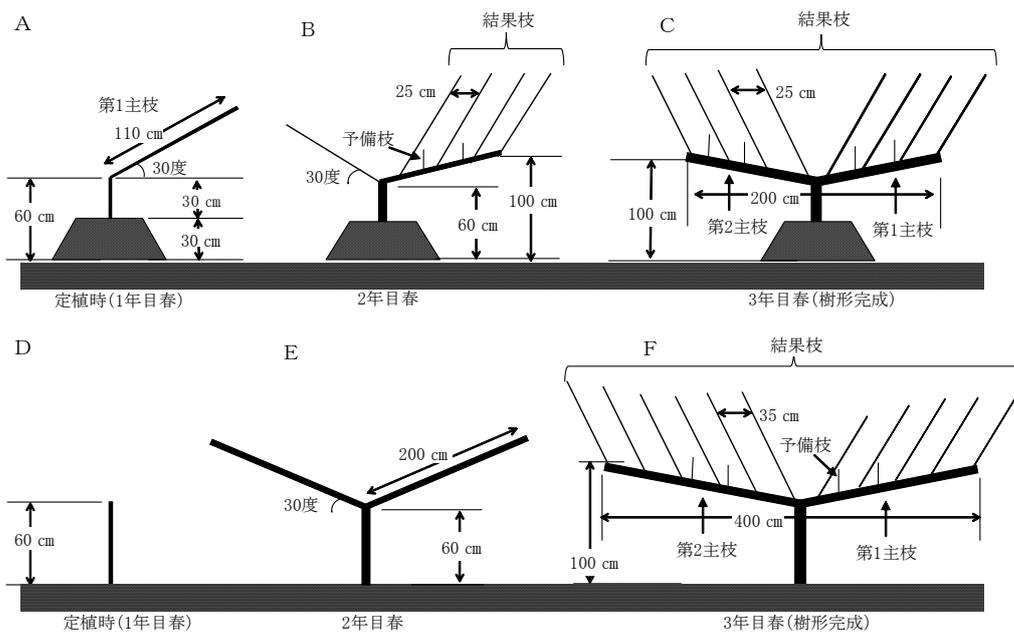
Y字根圏区は第2章1～3の根圏制御栽培とし、根圏

第7-1表 成園後の生育時期、時刻帯別の1樹当たり灌水量

	満開後日数(日)						
	萌芽期～0	1～30	31～60	61～90	91～120	121～150	151～落葉期
1樹当たり 日灌水量 ² (L/樹/日)	10.0	10.0	20.0	25.0	30.0	25.0	20.0
	時刻帯(時)						合計
	5～7	8～10	11～13	14～16	17～18		
時刻帯別の 灌水割合 ³	0.05 ²	0.20	0.30	0.35	0.10	1.00	

²植付け1年目は成園の1/3量，2年目は2/3量，3年目を以降成園後の灌水量とした

³1日の灌水量を1としたときの3時間ごとの灌水量の割合



第7-1図 Y字根圏栽培樹(A, B, C)とY字地植栽培樹(D, E, F)の樹冠拡大の推移(側面図)

制御ほ場に2001年に1年生苗を定植した。灌水は第7-1表のとおり行った。仕立て方は第2-2図のとおり2本主枝Y字仕立てとした。育成方法は第7-1図のとおりで、移植は1年生苗木を約150 cmに切り詰め盛土に植付けた。苗木は地表面から約60 cm（盛土上面から約30 cm：主幹）の位置を支点に上方約30度に誘引し第1主枝とした（第7-1図A，写真7-1A，B）。植付け1年目冬期の剪定は第1主枝先端を地面から100 cmの高さに誘引するとともに、第1主枝から発生した発育枝約8本を約25 cm間隔で平行になるように上方に約50度の角度で誘引し結果枝（1年枝）とした。一方、第1主枝の反対側に伸長した1年枝を第1主枝よりも1年遅れて第2主枝として約30度の角度で誘引した（第7-1図B，写真7-1，C）。2年目の結実管理は補正摘果後の着果数が葉果比50となるように着果させた。2年目冬期の剪定は、第2主枝先端を地面から100 cmの高さに誘引するとともに両主枝から16本程度の結果枝（1および2年枝）と予備枝数本を配置した（第7-1図C，写真7-1D）。着果管理は最終着果数が葉果比50となるように行った。2年目冬期以降の樹形は地表面から60 cmの高さの主幹から先端が100 cmとなるように左右に主枝を2本配置し、主枝から結果枝（1～3年枝）を25 cm間隔で平行となるように上方に約50度の角度で配置した（第2-2図）。3年目以降の着果管理は最終着果数が葉果比35となるように行った（写真7-1E）。

平棚地植区は栃木県の標準的な栽培方法であり、2001年に1年生苗を高さ120 cmに切り詰め露地ほ場に定植し、高さ180 cmの平棚に4本主枝の折衷仕立てとした（第6-1図A，B）。調査に用いた樹は永久樹とし、植付け後3年間は主枝の延長を主眼に整枝、剪定した。

Y字地植区は、1996年に1年生苗を高さ60 cmに切り詰めて定植し、主枝先端が地上1 mの高さになるように主枝を2本分岐させ、長さ約130 cmの結果枝を約35 cm間隔で上方約50度に誘引する一文字Y字仕立てとした（第6-1図C，D）。育成方法は、1年目に主枝2本を養成し、2年目以降主枝から発生する新梢を結果枝として養成し、3年目から着果させた。

栽植方式はY字根圏区は樹間2.0 m×列間2.5 mの南北列の並木植え、平棚地植区は3.6 m×3.6 m，Y字地植区は樹間4 m×列間3 mの南北列の並木植えで、10 a換算の栽植本数はそれぞれ200本、80本および83本とした。Y字根圏区およびY字地植区は1列7樹×3列を供試し、光環境の影響がないよう中央列で南北それぞれ2樹を除いた3樹を調査に用いた。平棚地植区は南北7樹×東西3樹の21樹を供試し、永久樹3樹を調査に用いた。

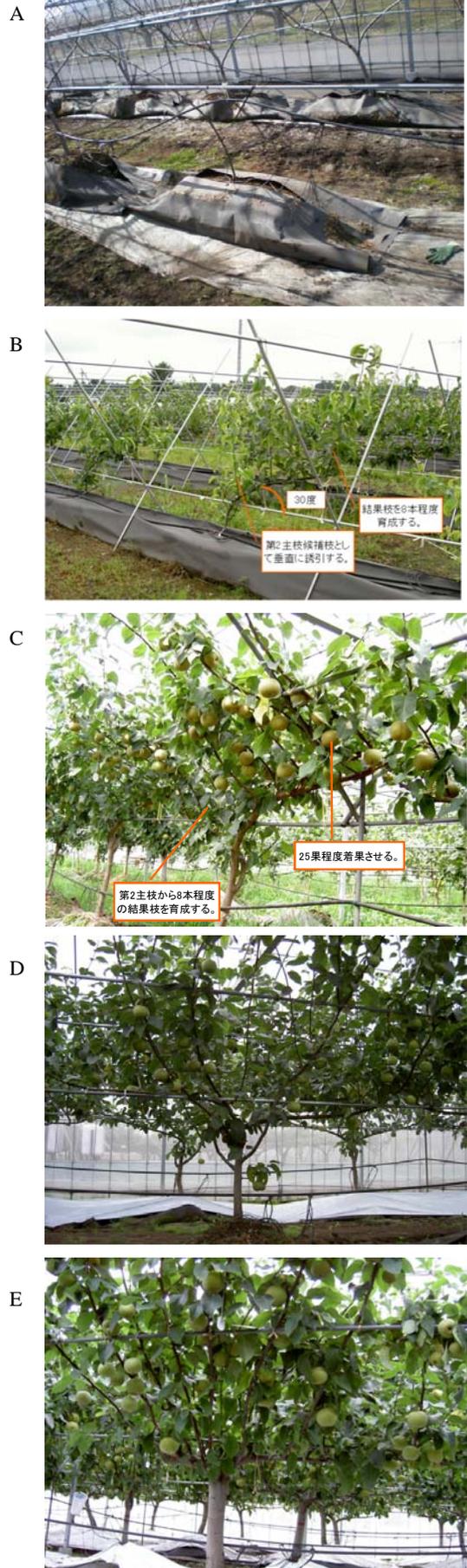


写真7-1 Y字根圏樹の樹冠拡大の推移

A: 植付け1年目 B: 1年目夏 C: 2年目夏(初結実)
D: 3年目夏(両主枝に着果) E: 5年目夏(成木)

施肥はY字根圏区で第6章同様に緩効性被覆肥料を用い、N成分で1樹当たり植付け1年目は30 g、2年目50 g、3年目75 g、4年目以降100 gを4月上旬に、礼肥を収穫直後に化成肥料（N：16%-K₂O：16%）を用い基肥の1/5量を施用した。地植の2区は栃木県の農作物施肥基準に準じ基肥として化成肥料（N：10%-P₂O₅：10%-K₂O：8%）を用い、N成分で平棚地植区、Y字地植区それぞれ1樹当たり1および2年目63 g、60 g、3および4年目88 g、84 g、5年目125 g、120 gを11月下旬に、礼肥を収穫直後に化成肥料（N：16%-K₂O：16%）を用い基肥の1/3量を施用した。病虫害防除は栃木県病害虫防除指針に準じて行った。

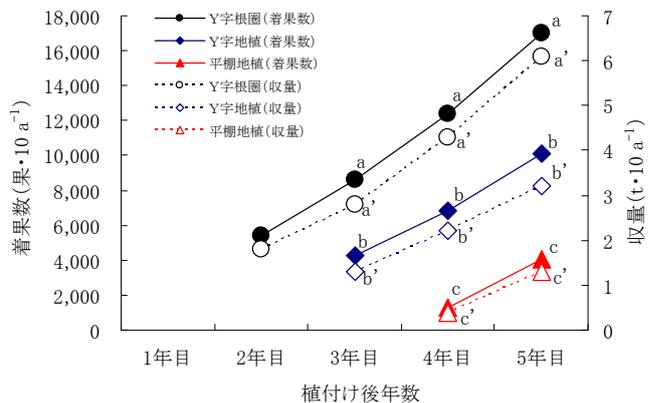
樹体調査（枝、葉数、葉面積および花芽数）、樹冠占有面積および収量、果実品質調査は第3章と同様に行った。なお、新梢の発生程度を表す旧枝長当たりの新梢長は、新梢長を旧枝長（主幹長、主枝長、結果枝長、予備枝長の和）で除して求めた。さらに、剪定の強度を示す剪定による樹体切除率は、剪定枝長（剪除した結果枝長と新梢長の和）を剪定前の全枝長で除して求めた。また、葉の単位面積当たり光合成速度（以下、光合成速度）は、オープンチャンバー型の光合成蒸散測定装置（LI6400P、LI-COR）を用い、2005年は満開後91日の7月28日、2006年は満開後99日の8月3日のそれぞれ午前7～8時にチャンバー内の光合成有効放射束密度1,500 μmol・m⁻²・s⁻¹、CO₂濃度370 ppmの条件で各樹10葉を測定した。

結果

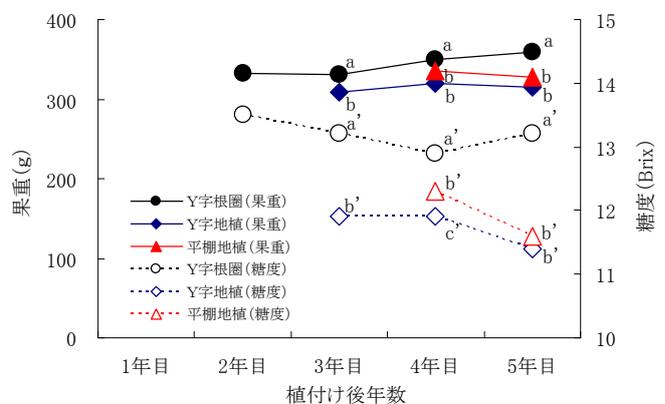
第7-2図に栽培方式の違いが‘幸水’の着果数と収量に及ぼす影響を示した。平棚地植区は4年目から収穫が始まり、5年目の10 a換算着果数および収量は4,080果、1.3 t、定植から5年間の10 a換算累積着果数および収量は5,360果、1.8 tであった。Y字地植区は3年目から収穫が始まり、収穫初年度の10 a換算着果数および収量は4,250果、1.3 tで、5年目10,083果、3.2 t、定植から5年間の10 a換算累積着果数および収量は21,167果、6.7 tであった。一方、Y字根圏区は2年目から収穫が始まり、収穫初年度の10 a換算着果数および収量は5,400果、1.8 tを示した。その後、着果数の増加とともに収量が増加し、5年目の10 a換算着果数および収量は17,000果、6.1 tであり、平棚地植区に対し着果数で417%、収量で456%、Y字地植区に対し169%、192%となった。また、定植から5年間の10 a換算累積収量は15.1 tであり、平棚地植区の854%、Y字地植区の226%となった。1樹当たり

収量を比較しても、Y字根圏区は平棚地植区に対し5年目まで高い値で推移した（データ略）。

第7-3図に栽培方式の違いが‘幸水’の果実品質に及ぼす影響を示した。結実初年度から植付け5年目までのY字根圏区の果重および糖度は331～359 g、12.9～13.5%と他の2区よりも有意に高かった。硬度に有意な差は認められなかった（図表略）。



第7-2図 栽培方式の違いが‘幸水’の着果数と収量に及ぼす影響
図中のアルファベットは同年目においてTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし
a, b, cは着果数, a', b', c'は収量を示す



第7-3図 栽培方式の違いが‘幸水’の果実品質に及ぼす影響
図中のアルファベットは同年目においてTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし
a, bは果重, a', b', c'は糖度を示す

第7-2表に栽培方式の違いが‘幸水’の樹体生育、剪定による樹体剪除率、樹冠占有面積および花芽数に及ぼす影響を示した。Y字根圏区およびY字地植区の主枝長は植付け2年目の落葉期には目標とする2 mおよび4 mに達し、両区とも新梢の発生量も多かったため、剪定後の3年目の催芽期には両主枝に結果枝が配置された。平棚地植区は調査に永久樹を用いたため結果枝の配置が4年目からとなり他の2区よりも遅れた。結果枝本数および結果枝長は平棚地植区では5年目に16.0本、20.2 mであったが、Y字地植区は3年目に15.0本、16.8 m、5年目には19.3本、22.5 mとなり樹型が完成した。Y字根圏区

第7-2表 栽培方法の違いが'幸水'の樹体生育、剪定による樹体剪除率、樹冠占有面積および花芽数に及ぼす影響

植付後 年数	処理区	結果枝長 ²					新梢長 m/樹	樹冠		旧枝長 m	剪定による 樹体 剪除率 ^x %	花芽数		
		1年枝		2年枝		3年枝		占有 面積 m ² /樹	占有 面積率 %			短果枝 個/樹	腋花芽 ^y 個/樹	栽植の割当 面積当たり 個/m ²
		結果枝本数 本/樹	m/樹	m/樹	m/樹	m/樹		合計						
1年目	Y字根圏	-	-	-	-	-	13.5	-	-	10.0	29	7	177	36.8
	Y地地植	-	-	-	-	-	6.9	-	-	12.5	51	4	-	0.3
	平棚地植	-	-	-	-	-	6.8	-	-	6.7	28	-	-	-
	有意性 ^z	-	-	-	-	-	**	-	-	**	**	ns	-	**
2年目	Y字根圏	7.8	6.3	-	-	6.3	31.8	1.7	34	4.0	48	34	132	33.2
	Y地地植	-	-	-	-	-	38.9	-	-	11.5	42	2	78	6.7
	平棚地植	-	-	-	-	-	6.8	-	-	6.7	28	-	-	-
	有意性	-	-	-	-	-	**	-	-	**	**	**	**	**
3年目	Y字根圏	17.0	11.5	5.5	-	17.0	44.5	3.4	68	3.0	65	124	99	44.7
	Y地地植	15.0	16.8	-	-	16.8	80.7	4.4	37	4.3	75	79	53	11.0
	平棚地植	-	-	-	-	-	24.3	2.3	18	3.3	30	31	32	3.5
	有意性	ns	*	-	-	ns	**	**	**	*	**	**	**	**
4年目	Y字根圏	16.7	8.9	6.3	3.1	18.3	43.4	4.8	96	2.9	61	80	127	41.3
	Y地地植	17.7	4.4	14.2	-	18.6	89.2	8.8	73	4.3	73	71	62	11.1
	平棚地植	8.0	6.2	4.1	-	10.3	30.5	5.8	45	2.2	33	67	36	8.2
	有意性	**	*	**	-	*	*	**	**	*	**	ns	**	**
5年目	Y字根圏	17.0	10.2	7.2	3.5	20.9	47.2	4.7	94	2.8	60	108	121	45.9
	Y地地植	19.3	6.3	4.1	12.1	22.5	79.3	11.7	98	3.6	71	91	71	13.5
	平棚地植	16.0	11.8	5.3	3.1	20.2	49.8	8.8	68	2.4	38	122	74	15.7
	有意性	ns	*	ns	**	ns	*	**	**	*	**	ns	*	**

²結果枝長に主幹、主枝および予備枝は含まない
^y腋花芽のうち、Y字根圏では地面から2 m以上に着生した腋花芽は含まない
^x樹体剪除率は剪定枝長(剪除した結果枝長と新梢長の和)を剪定前の全枝長で除した割合
^z有意性の**は1%、*は5%水準で有意、nsは有意差なし

第7-3表 栽培方法の違いが'幸水'の葉数、葉面積、LAI、葉果比および光合成速度に及ぼす影響

植付後 年数	処理区	葉数			葉面積 m ² /樹	LAI	葉果比	光合成速度 μ mol・m ⁻² ・s ⁻¹
		果そう葉 枚/樹	新梢葉 枚/樹	総葉数 枚/樹				
1年目	Y字根圏	116	339	455	3.7	0.7	-	-
	Y地地植	41	170	211	1.5	0.1	-	-
	平棚地植	62	183	245	1.8	0.1	-	-
	有意性 ^z	*	*	*	**	**	-	-
2年目	Y字根圏	473	1,000	1,473	11.6	2.3	55	-
	Y地地植	268	1,222	1,490	10.2	0.9	-	-
	平棚地植	278	552	830	5.7	0.5	-	-
	有意性	**	**	**	**	**	-	-
3年目	Y字根圏	1,059	1,315	2,374	15.8	3.2	55	-
	Y地地植	1,055	2,111	3,166	22.2	1.8	62	-
	平棚地植	464	733	1,197	8.4	0.7	-	-
	有意性	**	**	**	**	**	ns	-
4年目	Y字根圏	1,342	1,322	2,663	18.7	3.7	43	15.8
	Y地地植	1,788	2,385	4,173	28.7	2.4	51	-
	平棚地植	883	1,012	1,895	13.0	1.0	118	14.7
	有意性	**	**	**	**	**	**	ns
5年目	Y字根圏	1,609	1,290	2,900	21.0	4.2	34	16.1
	Y地地植	2,551	1,811	4,362	34.0	2.8	36	-
	平棚地植	1,772	1,552	3,324	22.2	1.8	65	15.1
	有意性	*	ns	*	*	**	**	ns

^z有意性の**は1%、*は5%水準で有意、nsは有意差なし

は2年目には7.8本、6.3 m、3年目に17.0本、17.0 mの結果枝が配置され樹形が完成し、5年目に17.0本、20.9 mとなった。3区とも5年目の結果枝長は概ね20 mとなった。5年目の樹冠占有面積はY字地植区で11.7 m²、Y字根圏区で4.7 m²となり、それぞれの10 a当たり栽植本数を乗じて樹冠占有面積率を換算するとY字地植区で98%、Y字根圏区で94%と高かった。一方、平棚地植区の樹冠占有面積は5年目に8.8 m²で、同様に換算すると樹

冠占有率は68%でY字の2区より劣った。旧枝長当たりの新梢長はY字地植区が他の2区より常に大きく推移し新梢伸長が旺盛であった。また、剪定による樹体剪除率は2年目のY字根圏区を例外として植付け5年目までY字地植区が最も高く推移した。花芽数はY字根圏区で栽植の割当面積1 m²当たり36.8個と植付け初年度から花芽着生が優れた。一方、Y字地植区は2年目に腋花芽の着生がみられたが、Y字根圏区にくらべると少なく、植付け

5年目においても栽植の割当面積1 m²当たりの花芽数は13.5個とY字根圏区の1/3程度であった。平棚地植区の花芽数は植付け5年目には同15.7個となりY字根圏区には劣るもののY字地植区を上回った。

第7-3表に栽培方式の違いが‘幸水’の葉数、葉面積、LAI、葉果比および光合成速度に及ぼす影響を示した。葉数、葉面積は3区とも樹齢の経過とともに増加した。LAIについてY字根圏区では3年目に3を上回り、5年目には4.2まで増加した。次いでY字地植区の増加が大きく、3年目に1.8、5年目に2.8となった。平棚地植区のLAIの増加は遅れ、5年目で1.8とY字根圏区の1/2以下であった。葉果比は結実2および3年目は設定した50程度に、4および5年目には34~43と設定値の35程度となった。Y字根圏区および平棚地植区の光合成速度は処理間に有意な差はみられなかった。

第2節 ‘にっこり’における早期多収技術の実証

材料および方法

供試したニホンナシ樹は栃木県農業試験場内のヤマナシ台‘にっこり’で、2003年に1年生苗を植付けしY字根圏区、平棚地植区の2区を設け、植付け後6年間試験に供した。作型は露地栽培とした。

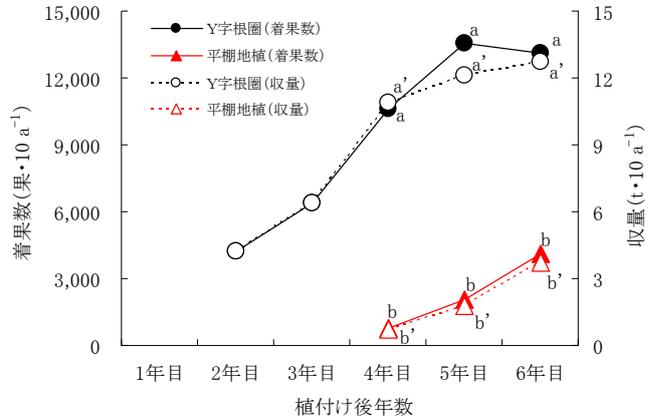
栽培方法および調査方法は第7章第1節と同様とした。

結 果

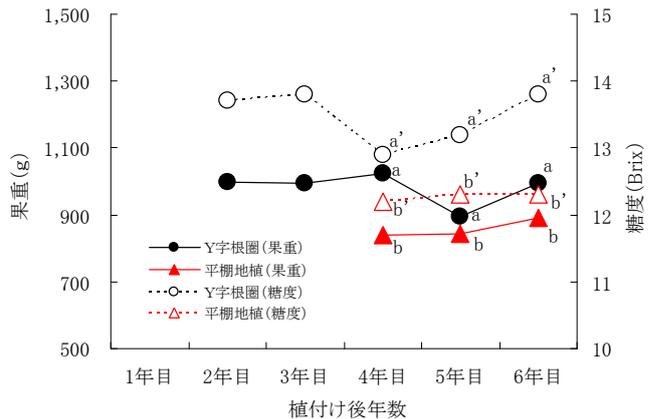
第7-4図に栽培方式の違いが‘にっこり’の着果数と収量に及ぼす影響を示した。平棚地植区は4年目から収穫が始まり、4年目の10 a換算着果数および収量は773果、0.7 tを示した。その後、着果数の増加とともに収量が増加し、6年目の10 a換算着果数および収量は4,107果、3.7 tであった。また、定植から6年間の10 a換算累積収量は6.1 tであった。一方、Y字根圏区は2年目から収穫が始まり、収穫初年度の10 a換算着果数および収量は4,200果、4.2 tを示した。その後、着果数の増加とともに収量が増加し、6年目の10 a換算着果数および収量は13,133果、12.7 tであり、平棚地植区に対し着果数で320%、収量で343%となった。また、定植から6年間の10 a換算累積収量は46.2 tであり、平棚地植区の757%となった。1樹当たり収量を比較しても、Y字根圏区は平棚地植区に対し6年目まで高い値で推移した（データ略）。

第7-5図に栽培方式の違いが‘にっこり’の果実品質

に及ぼす影響を示した。結実初年度から植付け5年目までのY字根圏区の果重および糖度は、894~1,025 g、12.9~13.8%と平棚地植区の841~892 g、12.2~12.3%よりも有意に高かった。



第7-4図 栽培方式の違いが‘にっこり’の着果数と収量に及ぼす影響
図中のアルファベットは同年目においてTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし
a, bは着果数, a', b'は収量を示す



第7-5図 栽培方式の違いが‘にっこり’の果実品質に及ぼす影響
図中のアルファベットは同年目においてTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし
a, bは果重, a', b'は糖度を示す

第7-4表に栽培方式の違いが‘にっこり’の樹体生育、剪定による樹体剪除率、樹冠占有面積および花芽数に及ぼす影響を示した。Y字根圏区の主枝長は、植付け2年目の落葉期には目標とする2 mに達し新梢の発生量も多かったため、剪定後の3年目の催芽期には両主枝に結果枝が配置された。平棚地植区は調査に永久樹を用いたため、結果枝の配置が4年目からとなりY字根圏区より遅れた。結果枝本数および結果枝長は平棚地植区では4年目に7.3本、9.0 m、6年目に18.0本、18.3 mであった。一方、Y字根圏区は2年目に6.8本、6.8 m、3年目に13.0本、13.6 mとなり平棚地植区より早期に結果枝が配置され樹形が完成した。6年目は結果枝本数、結果枝長とも平棚地植区が大きくなった。Y字根圏区の樹冠占有面

第7-5表 栽培方法の違いが‘にっこり’の葉数、葉面積、LAI、葉果比および光合成速度に及ぼす影響

植付後 年数	処理区	葉数			葉面積 m ² /樹	LAI	葉果比	光合成速度 μmol・m ⁻² ・s ⁻¹
		果そう葉 枚/樹	新梢葉 枚/樹	総葉数 枚/樹				
1年目	Y字根圏	122	252	374	2.9	0.6	-	-
	平棚地植	87	23	110	0.8	0.1	-	-
	有意性 ²	*	**	**	**	**	-	-
2年目	Y字根圏	423	703	1,126	8.8	1.8	54	-
	平棚地植	203	146	349	2.9	0.3	-	-
	有意性	**	**	**	**	**	-	-
3年目	Y字根圏	1,018	922	1,940	14.9	3.0	61	-
	平棚地植	388	258	646	4.7	0.4	-	-
	有意性	**	**	**	**	**	-	-
4年目	Y字根圏	1,387	786	2,173	16.4	3.3	41	-
	平棚地植	441	450	891	6.6	0.5	92	-
	有意性	**	**	**	**	**	**	-
5年目	Y字根圏	1,488	688	2,176	16.4	3.3	32	16.1
	平棚地植	1,032	744	1,776	13.0	1.0	68	15.9
	有意性	*	ns	*	*	**	**	ns
6年目	Y字根圏	1,603	633	2,236	16.7	3.3	34	15.9
	平棚地植	1,331	933	2,264	16.6	1.3	44	16.3
	有意性	ns	ns	*	ns	**	*	ns

²有意性の**は1%, *は5%水準で有意, nsは有意差なし

第7-4表 栽培方法の違いが‘にっこり’の樹体生育、剪定による樹体剪除率、樹冠占有面積および花芽数に及ぼす影響

植付後 年数	処理区	結果枝長 ^a						樹冠		旧枝長 当たりの 新梢長 m・m ⁻¹	剪定による 樹体 剪除率 ^b %	花芽数		
		1年枝		2年枝		3年枝		合計	占有 面積 m ² /樹			占有 面積率 %	短果枝 個/樹	腋花芽 ^c 個/樹
		結果枝本数 本/樹	m/樹	m/樹	m/樹	m/樹	m/樹	新梢長 m/樹	新梢長 m/樹	新梢長 m/樹	新梢長 m/樹	新梢長 m/樹	新梢長 m/樹	新梢長 m/樹
1年目	Y字根圏	-	-	-	-	-	13.6	-	-	10.1	26	11	138	29.8
	平棚地植	-	-	-	-	-	6.7	-	-	6.6	27	-	-	-
	有意性 ^d	-	-	-	-	-	**	-	-	**	ns	-	-	-
2年目	Y字根圏	6.8	6.8	-	-	6.8	23.3	1.7	34	3.1	45	42	141	36.6
	平棚地植	-	-	-	-	-	6.7	-	-	6.6	27	-	-	-
	有意性	-	-	-	-	-	**	-	-	**	**	-	-	-
3年目	Y字根圏	13.0	7.3	6.3	-	13.6	30.2	3.4	68	2.6	57	152	156	61.6
	平棚地植	-	-	-	-	-	22.6	2.1	16	3.1	30	35	18	4.2
	有意性	-	-	-	-	-	**	**	**	*	**	**	**	**
4年目	Y字根圏	15.3	3.7	6.7	5.7	16.1	26.8	4.6	92	2.3	54	166	135	60.2
	平棚地植	7.3	5.3	3.7	-	9.0	28.1	5.1	39	2.2	39	78	48	10.1
	有意性	**	*	**	-	*	ns	**	**	ns	**	**	**	**
5年目	Y字根圏	15.7	2.7	3.3	10.7	16.7	22.6	4.7	94	2.0	50	158	141	59.8
	平棚地植	12.0	6.3	5.0	3.3	14.6	38.3	7.2	56	2.2	30	135	88	17.8
	有意性	ns	*	ns	**	ns	*	**	*	ns	**	ns	*	**
6年目	Y字根圏	16.0	2.3	2.7	11.3	16.3	20.8	4.7	94	2.0	46	172	166	67.6
	平棚地植	18.0	4.3	6.0	8.0	18.3	49.8	8.6	66	2.3	38	156	120	22.1
	有意性	ns	*	*	ns	ns	*	**	ns	ns	**	ns	*	**

^a結果枝長に主幹、主枝および予備枝は含まない

^b腋花芽のうち、Y字根圏では地面から2 m以上に着生した腋花芽は含まない

^c樹体剪除率は剪定枝長(剪除した結果枝長と新梢長の和)を剪定前の全枝長で除した割合

^d有意性の**は1%, *は5%水準で有意, nsは有意差なし

積は4年目に4.6 m²で、それ以降ほぼ一定となり10 a当たり栽植本数を乗じて樹冠占有面積率を換算するとY字根圏区で92%となった。一方、平棚地植区の樹冠占有面積は4年目に5.1 m²で、同様に換算すると樹冠占有率は39%とY字根圏区より劣った。旧枝長当たりの新梢長は、4年目以降は2区とも2.0~2.3で新梢伸長は中庸であった。また、剪定による樹体剪除率は、1年目を除き植付け6年目までY字根圏区が平棚地植区よりも高く推移した。花芽数は、Y字根圏区で栽植の割当面積1 m²当たり29.8個

と植付け初年度から花芽着生が優れた。一方、平棚地植区の花芽数は植付け6年目に22.1個となったがY字根圏区に劣った。

第7-5表に栽培方式の違いが‘にっこり’の葉数、葉面積、LAI、葉果比および光合成速度に及ぼす影響を示した。葉数、葉面積は2区とも樹齢の経過とともに増加した。LAIはY字根圏区では3年目に3を上回り、その後3.3程度で一定となった。平棚地植区のLAIの増加は遅れ、6年目で1.3とY字根圏区の1/2以下であった。葉果比は

結実2年目は設定した50程度に、4~6年目には32~41と設定値の35程度となった。Y字根圏区および平棚地植区の光合成速度は、処理間に有意な差はみられなかった。

考 察

永澤（1968）は、果樹における早期多収を実現する条件として、幼木のうちから花芽の着生、結実確保を図ること、栄養成長と生殖成長の均衡を保つため台木の選択や長果枝と中短果枝をバランス良く配置した構成の樹相に誘導すること、密植栽培することを挙げている。早期多収を先駆けて実践しているウンシュウミカンでは、結実促進のためのわい性台木の利用や剪定、樹形の改善といった結実促進技術と計画密植を組合せ、結果開始期の繰り上げを図ることにより早期成園化を実現している（薬師寺、1968）。ニホンナシにおいてはウンシュウミカンのように実用的なわい性台木は実用化されておらず、強勢台木を用いた超密植による早期増収がMatsuura・Fukui（2002）やvan den Endeら（1987）によって報告されている。

栃木県の土壌は多腐植質黒ボク土でCECが35程度と肥沃な土壌であり、強勢な樹相となりやすく花芽着生が劣る欠点がある。そこで、ヤマナシ台における密植栽培の可能性について、慣行の計画密植における平棚地植区、樹勢コントロールが容易なY字根圏区および生産効率が良いとされるY字地植区の早期多収性の検討を行った。

果樹類の地植栽培では、土壌条件や圃地条件などの違いにより樹勢のコントロールが難しく、花芽着生が不安定であったり、果実品質や果実重の変動が大きい。そこで、本研究では、樹勢をコントロールしやすくするために根域制限栽培を行った。これまでの根域制限栽培はボックスやポットを用い、主にテンシオメーターにより土壌pF値が一定の値に達した時点で一定量の灌水を行う灌水方法が一般的であり、設定したpF値に達するまで灌水が行われなため土壌内水分は乾燥と過湿を繰り返す。また、根域制限土壌内の土壌水分は不均一であり（金原、2006）、テンシオメーターの設置位置に十分な注意を払っても不十分であった。果実肥大期に多量の水分を必要とするニホンナシでは、土壌水分の変化は果実肥大に影響を及ぼし（大谷ら、2006）、肥大不良による生産性の低下が懸念される。これらのことから、本研究での根圏制御栽培の灌水管理は、樹体の過度の水分ストレスを防ぐため樹体の吸水量に基づいた灌水量を設定した。盛土式根圏制御栽培は、培地を盛土とし吸水量に基づく灌水管理とすることにより、養水分を効率的に吸収できる細

根の発生が旺盛と発育枝の発生が良好となる（大谷・八巻、2010）。また、根圏制御栽培の着果性について、谷口・大野（1988）は根域制限していない樹よりも1樹当たりの着果数が多いことを報告している。本試験のY字根圏区においても、植付け1年目から総新梢長が13.5 m、平均新梢長が113 cm（第7-2表から算出）、栽植の配当面積1 m²当たり花芽数が36.8個と早期に優良な結果枝が確保できた。さらに、植付け2年目以降も良質な新梢の発生が多く、配当面積1 m²当たり30個を上回る花芽が着生する優良な結果枝が確保され、根圏制御栽培は初期収量の向上に大きく貢献したと考えられる。

本試験では初期の着果数を増やすためには葉数の確保が必要だと考え、密植ができるコンパクトな大きさでのY字形の樹形について検討した。Y字根圏区はY字形の棚を採用しており、単位面積当たりの棚面積が平棚地植区とくらべて1.55倍に拡大した。さらに、平棚地植区の4本主枝にくらべ2本主枝であるため剪定強度は増し、植付け1年目から新梢の発生が多くなった。しかし、先に述べたとおり根圏制御栽培では、培土量、施肥管理および灌水管理などにより樹勢コントロールが容易であることから、花芽着生の優れる新梢を多数確保できた。また、その多くを結果枝として利用することが可能であったため、良質な新梢に加え、棚面積の拡大により早期に葉数の増加が図られた。これらのことによりY字根圏区のLAIは植付け2年目に2.3、5年目に4.2となり葉面積の増加が大きく、また、第6章で示したとおり、Y字根圏区はLADが1層に集中することなく、下層から上層まで高い値を示したことにより受光体勢が良好となったと考えられた。さらに、個葉の光合成速度は平棚地植区との差はみられなかったことから、乾物生産量が高まったと考えられた。さらに、Y字根圏区は花芽着生の向上により着果量も多く確保されている。大谷・八巻（2010）は、根圏制御栽培の果実への同化産物分配率は地植栽培よりも高まることを明らかにしている。これらのことからY字根圏区は、早期の多着果条件を補うだけの同化産物生産能力の高さがあり、さらに果実への同化産物分配率が高く、‘幸水’では植付け2年目に1.8 t・10 a⁻¹、3年目に2.8 t・10 a⁻¹と栃木県で一般的に行われている慣行の地植平棚栽培成園並の収量を早期に確保できたと考えられる。5年目には‘幸水’で慣行の2倍程度の6.1 t、‘にっこり’では2.5倍程度の12.1 tと多収が実現された。すなわち、早期成園化に加え、単位面積当たり収量の倍増により、‘にっこり’では10 tを超える超多収が可能となった。以上をとりまとめると、Y字根圏区は根域制限栽培と適切な灌水管理により、早期に優良な結果枝が

多数確保され着果数の確保が可能となった。また、コンパクトな樹形により密植栽培ができ早期に樹冠占有面積の拡大が図られたことに加え、樹形をY字形とすることで延べ棚面積の拡大が図られ、葉数の増加が大きくなったために早期成園化、収量の増加が図られたと考えられる。

また、倉橋（1997）はリンゴのY字型棚整枝が従来の主幹形よりも光利用効率が高いため樹当たりの光合成生産量が多く、果実への分配率が高まるため多収で果実品質が優れることを明らかにした。本試験のY字根圏区は結果枝を主枝から45～50度程度斜立するY字形の整枝であり、先端の新梢伸長が良好となるため結果枝途中からの不要な新梢の発生が少ないことが観察された。また、第6章で示したとおり、LADは下層から上層まで高く、結果枝基部から先端まで十分光が当たる条件となり、根圏制御栽培におけるY字仕立てはリンゴのY字形棚整枝同様、結果枝の日射条件の良さが生産性の向上に有利に働いたことが示唆された。

平棚地植区の植付け5年目の10 a換算収量は、‘幸水’ 1.3 t、‘にっこり’ 1.8 tと低い値であった。これは、本試験で調査に用いた樹は永久樹であり、植付け後数年は樹冠の拡大を目的に剪定を行ったため、結果枝の配置が遅れ低い数値となったと考えられる。なお、第1次間伐樹および第2次間伐樹は、主枝数を多くしたり暫定垂主枝を積極的に配置したため調査に用いた永久樹よりも初期収量が多く、これらを含めた処理21樹による10 a換算収量は植付け5年目に2.1 tであり、加藤（2001）、押田（2001）の平棚での4本主枝仕立ての収量と同程度であった。しかし、間伐樹を含めたとしても、平棚地植区はY字根圏区の1/3程度の収量であり、Y字根圏区の早期多収性の高さが伺われた。

一方、Y字地植区は花芽着生が不良な徒長枝の発生が多く、十分な着果数が確保できずY字根圏区の収量および果実品質に劣った。吉田（2008）は‘ゴールド二十世紀’において、主枝本数の多い剪定は、樹体の剪除率が移植当初から小さいため樹冠拡大と結果部の形成が早くなること、新梢成長が相対的に少なくなるため乾物生産に占める果実への分配が多くなり多収につながると考察している。本試験のY字地植区の主枝本数は2本と少なく、樹体剪除率は植付け1年目は小さかったものの、植付け3年目には75%と最大となりその後も他の2区より大きく推移した。地植栽培のため樹勢のコントロールが難しく、強樹勢のまま経過したため花芽着生は少なく、早期多収が得られなかったと考えられる。しかし、明田・田中（2003）は、‘豊水’や‘新高’において大苗を用い低

樹高の2本主枝Y字仕立てである改良むかで整枝で、定植2年目から結実し成園化を早めることができていることから、肥沃な黒ボク土においても樹勢調節が可能なわい性台木などの育種が進めば本県での実用化も可能であると考えられる。

このように、根圏制御栽培による一文字Y字仕立ての育成方法は2年目から結実し多収生産が可能なることから「根圏制御栽培における二年成り育成法」と命名した（大谷・林，2008b）。

第7章のまとめ

ニホンナシ‘幸水’の盛土式根圏制御栽培（培土量150 L）におけるY字仕立て密植栽培（Y字根圏区）が、樹体生育、収量および果実品質に及ぼす影響を地植Y字仕立て（Y字地植区）および慣行の平棚地植栽培4本主枝仕立て（平棚地植区）と比較検討した。Y字根圏区の10 a換算収量は植付け2年目から‘幸水’で1.8 tとなり、平棚地植区、Y字地植区より早期多収であった。その後も収量は着果数の増加とともに増加し、植付け5年目が6.1 t、5年間の累積収量は15.1 tと平棚地植区の8.5倍と極めて多収となった。果実品質では果重が大きく果実糖度も高く推移した。樹体生育をみるとY字根圏区は2年目から花芽着生が良好な結果枝が確保され、葉数の増加も大きく、植付け3年目にはLAIが3を上回った。このようにY字根圏区で早期多収が可能となった要因として、Y字根圏区は根域制限により樹体がコンパクトになり密植が可能なること、樹体の吸水量にあった灌水管理により花芽数の多い結果枝が多く確保できることが挙げられる。さらに、Y字仕立てにより棚面積の拡大やLADが一層に集中することなく0.5～3.5 mの高さに配置され、早期の葉数増加や受光体勢が良好となったためであると考えられた。

第8章 底面給水による 低コスト根圏制御栽培法の開発

第6章および第7章では、点滴灌水による根圏制御栽培は慣行の地植平棚栽培とくらべ早期多収が図られるとともに、成園化後も収量が倍増し高品質果実が生産できることを明らかにした。しかし、点滴灌水には灌水制御盤や点滴装置などが必要で導入経費が大きいため、現地普及にあたっては低コストで安定的に給水できる灌水システムの開発が課題として挙げられる。

底面給水法は鉢底から養分や水分を与える手法の総称であり、施与方法も多様である。また、灌水制御盤が不要となるため、設置費用が安価な利点がある。しかし、ニホンナシにおいては底面給水による栽培事例は見当たらず、栽培の可能性も未知数である。

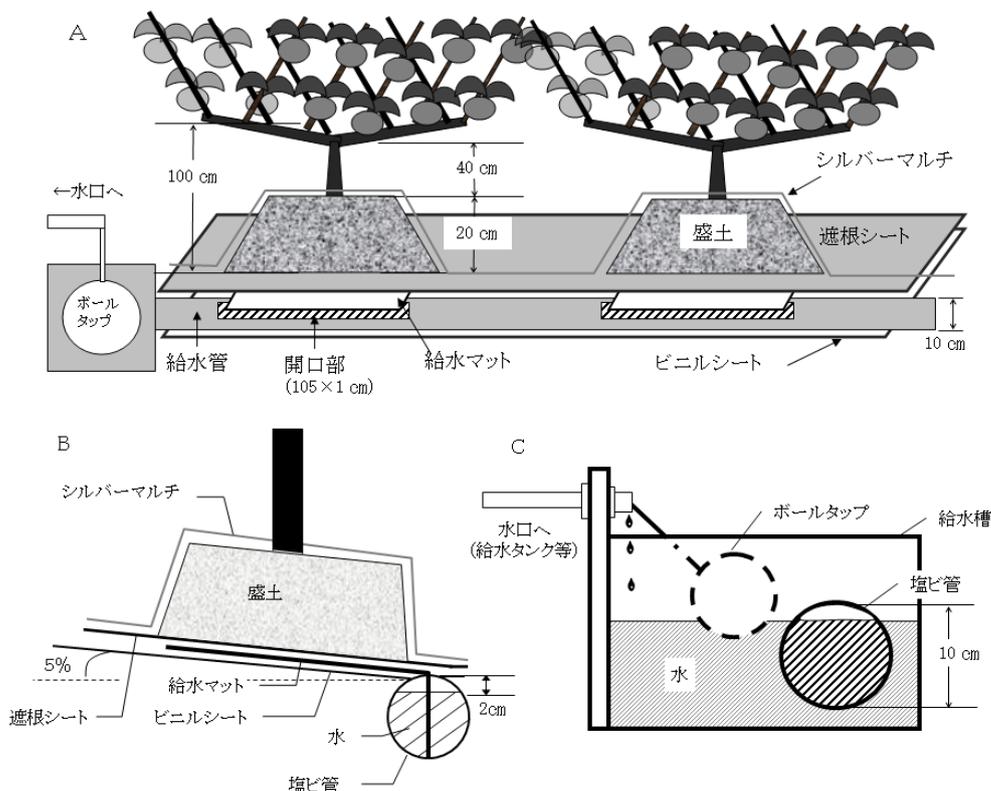
そこで、根圏制御栽培において導入コストの低減を図るため、ニホンナシに適する底面給水法の開発を行った。さらに、根圏制御栽培における底面給水法が樹体生育、収量および果実品質に及ぼす影響を明らかにし、低コスト根圏制御栽培法の確立を図った。

第1節 底面給水による 盛土式根圏制御栽培システム

本節では、低コストで設置ができ、安定的に給水できるシステムとして開発した底面給水法の概要について述べる。

1. 底面給水システムの概要

底面給水法は、盛土の底に設置した給水マットから毛管吸引を利用して盛土に給水させる給水方法である。底面給水は、給水マット（幅100 cm×奥行き70 cm）をビニルシートと遮根シートの上に敷設し、水平をとった給水管（塩ビ管、内径10 cm）上部に105×1 cmの開口部を設け、給水マットの一方を挿入し給水管内の水を供給することで行う（第8-1図A, B, 写真8-1）。給水マットは黒と白のポリエステル100%の長繊維不織布の二層となっており、給排水性能が良く寸法安定性が良い不織布製毛管マットを用いる。さらに、盛土上面にシルバーマルチをして盛土からの蒸発を抑制し、盛土の上面と底面の水分率の差を小さくする。なお、給水管側から盛土の奥側に5%の傾斜をつけ、給水した水が反対側に流れ落ちないようにした（第8-1図B）。



第8-1図 底面給水による根圏制御栽培の概要
A: 正面図（見取り図）
B: 底面給水の側面図（断面図）
C: 底面給水装置の側面図（断面図）

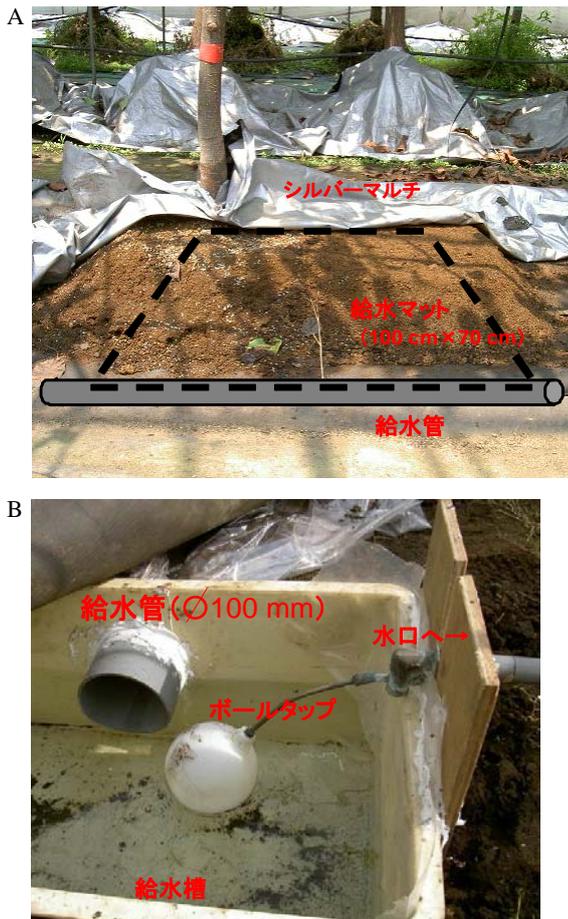
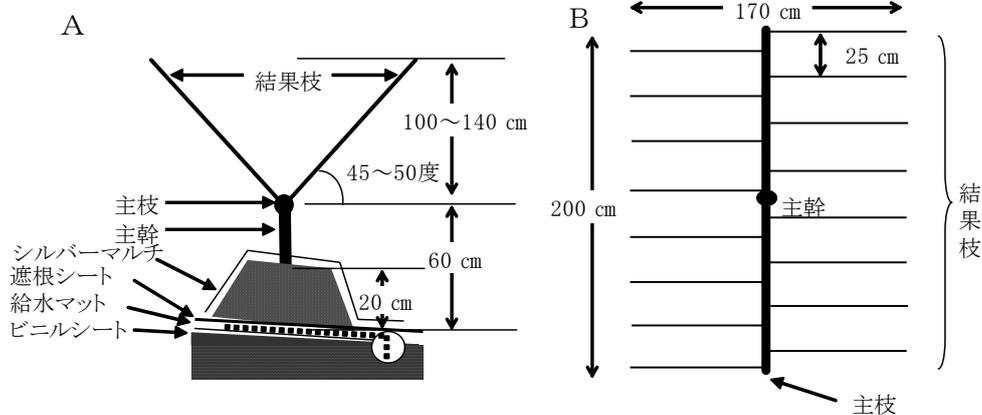


写真8-1 底面給水による根圏制御栽培の状況
A:正面図(見取り図) B:底面給水装置

2. 給水マットの特性

マットの給水特性は垂直方向へ10 cm、水平方向へ200 cmの浸透特性を示す。また、傾斜を5%つけた場合、垂直方向への浸透特性は水面から約10 cmの高さである。マットの給水能力は、盛土をせず水位を0 cm、マット幅を100 cmとした場合、水平方向に2 L・h¹程度である。



第8-2図 底面給水による根圏制御栽培樹の仕立て方
A:側面図 B:平面図

給水水位は給水槽内のボールタップの設置位置を上下することにより水位を任意の高さに保つことができる(第8-1図C)。

3. 栽培の概要

第8章の試験は栃木県農業試験場内のヤマナシ台‘幸水’を供した。作型は雨よけ無加温ハウス栽培とし、3月中旬から収穫後の9月中旬までビニル被覆した。

栽培は底面給水による根圏制御栽培とし、2004年3月に1年生苗を植付けた。根圏制御栽培は、厚さ0.1 mmのビニルシートの上に、給水マット、耐久性、透水性および耐摩耗性に優れるポリエステル100%の不織布製の遮根シートを敷き、その上に赤玉土とバーク堆肥を容積比2:1に混合した培土150 Lを盛土(底面135×60 cm、上面125×55 cm、高さ20 cm)し苗木を植付けて行った(第8-1図A)。

仕立て方は2本主枝Y字仕立てで、主枝先端が地上100 cmの高さになるように主枝を2本分岐させ、長さ約130 cmの結果枝を上方に50度の角度で誘引した(第8-2図)。満開日は4月16日で、着果管理は満開後20日に予備摘果、満開後50日に仕上摘果、満開後90日に補正摘果を行い葉果比を概ね35となるように摘果した。また、満開後30日にジベレリン成分2.7%のジベレリン塗布剤を果梗部に処理した。

栽植方式は樹間2.0 m×列間2.5 mの南北方向の並木植えて、10 a換算の栽植本数を200本とした。各処理とも5樹を1ユニットとして処理し、南北両端の1樹を除いた3樹を調査に供した。

施肥は緩効性被覆肥料(リニア型100日タイプ、窒素(N)12%-リン酸(P₂O₅)14%-カリ(K₂O)12%)を用い、N成分で1樹当たり100 gを4月上旬(催芽期)に施用した。また、重焼りん、苦土炭酸カルシウム肥料および微

量要素肥料（マンガン（ MnO_2 ）4.0%，鉄（ Fe_2O_3 ）10.0%，亜鉛（ ZnO ）4.0%，銅（ CuO ）4.0，ホウ素（ B_2O_3 ）2.0%，モリブデン（ MoO_3 ）0.2%）をそれぞれ1樹当たり180 g，96 g，7.5 g施用した。病虫害防除はハウス慣行防除とした。

調査は10 cm以上の新梢長を落葉直前に調査した。葉柄の水ポテンシャルは、満開後89日（7月14日）および116日（8月10日）の日の出直前の午前5時に、各樹の果そう葉5枚をプレッシャーチャンバー（model 600, PMS）で測定した。

第2節 給水水位が樹体生育，収量および果実品質に及ぼす影響

本節では、底面給水による根圏制御栽培において、給水水位を変えた場合の樹体生育，収量および果実品質に及ぼす影響を検討し，安定多収のための給水水位を明らかにした。

材料および方法

本試験では給水水位の違いが樹体生育，収量および果実品質に及ぼす影響について，2007年に催芽期から収穫期までの給水水位を盛土底面から-2 cm，-5 cm，-8 cmの3水準として検討した。なお，給水マットの幅は100 cmとした。満開日は4月15日であった。

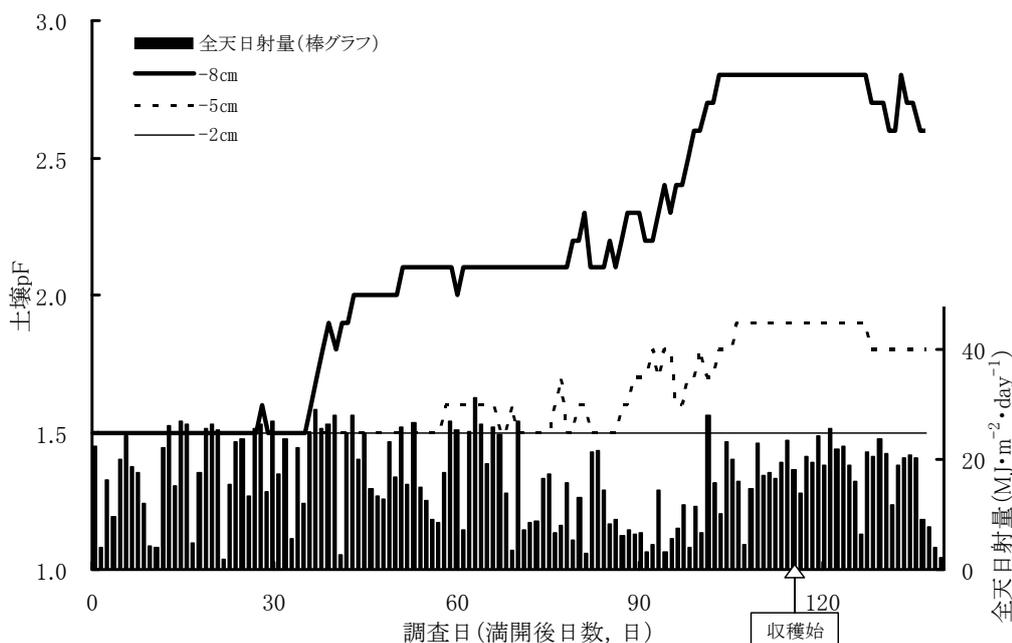
樹体調査（枝，葉数および葉面積），樹冠占有面積および収量，果実品質調査は第3章と同様に行った。樹体の日吸水量は，ポータルタップにつながる給水タンクの減水量を1ユニット当たりの樹数（5樹）で除して算出した。土壌pFの測定は，毎日10時に給水管から50 cm，盛土底面から5 cmの位置をテンシオメーターで測定した。樹体

結 果

給水水位が期間ごとの日吸水量，果実横径，収量および果実品質に及ぼす影響を第8-1表に示した。日吸水量は満開後30日までを除き給水水位が高いほど多い傾向があり，-2 cm区では果実肥大が最も旺盛な満開後91～120日に29.3 L/樹/日と最大となった。日吸水量の処理区間差は生育が進むほど大きい傾向となり，満開後91～120日では-2 cm区と-5 cm区との差は23%，-2cm区と-8 cm区との差は59%と大きくなった。

土壌pFは-2 cm区では全期間を通じて1.5で推移した（第8-3図）。-5 cm区では満開後60日頃から上昇し90日頃から概ね1.8～2.0の推移を示した。-8 cm区では35日頃から上昇し45日頃から2.0以上で，105日頃から2.8と高い値で収穫期を迎えた。

果実横径は，満開後90日で-2 cm区67.2 mm，-5 cm区66.8 mm，-8 cm区62.1 mmと，-2 cm区および-5 cm区が-8 cm区よりも大きかった（第8-1表）。収穫期は-2 cm区92.8 mm > -5 cm区90.3 mm > -8 cm区82.1 mmと，給水水位が高いほど大きかった。果重は給水水位が高いほど大きく，-2 cm区で365 gと最大，-8 cm区で最小の280 gとなり-2 cm区にくらべ85 g低下した。植付け4年目の10 a換算収



第8-3図 給水水位が土壌pFの推移に及ぼす影響

第8-1表 給水水位が期間別日吸水量, 果実横径, 収量および果実品質に及ぼす影響

処理区	日吸水量 ^z (L/樹/日)				果実横径 (mm)				果重 g	着果数 果/樹	収量 t・10 a ⁻¹	糖度 Brix	硬度 lbs
	0~30 ^y	31~60	61~90	91~120	30日 ^y	60日	90日	収穫期					
-8 cm	9.8	9.1	10.3	12.1	21.3	38.6	62.1 b ^x	82.1 c	280 c	59.0	3.3 c	14.6 a	5.6 a
-5 cm	8.8	15.8	22.1	22.5	21.4	39.1	66.8 a	90.3 b	333 b	62.3	4.1 b	13.3 b	4.8 b
-2 cm	9.5	19.7	25.1	29.3	21.9	39.3	67.2 a	92.8 a	365 a	62.0	4.5 a	13.3 b	4.5 b
有意性 ^w	-	-	-	-	ns	ns	*	**	**	ns	*	**	*

^z日吸水量は晴天日の平均値

^y数値は満開後日数

^x多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

^w有意性の**は1%, *は5%水準で有意, nsは有意差なし。-は反復なし

第8-2表 給水水位が樹体生育および葉柄の水ポテンシャルに及ぼす影響

処理区	新梢長 m/樹	総葉数 枚/樹	LAI	葉柄の水ポテンシャル (MPa)	
				満開後89日	116日
-8 cm	33.1 b ^z	2,003 b	3.0 b	-0.99 b	-1.03 c
-5 cm	49.2 a	2,858 a	4.3 a	-0.63 a	-0.71 b
-2 cm	48.8 a	2,955 a	4.3 a	-0.61 a	-0.66 a
有意性 ^y	*	*	**	**	**

^z多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

^y有意性の**は1%, *は5%水準で有意

量も給水水位が高いほど大きく、-2 cm区で4.5 tとなった。糖度は給水水位が最も低い-8 cm区で他の2区より高くなったが、-2 cm区でも13.3%と栃木農試の露地地植平圃栽培‘幸水’（以下、慣行栽培）の平年値11.7%を1%以上上回った。果実硬度は、給水水位が最も低い-8 cm区で5.6と高く食味が劣った。

給水水位が樹体生育および葉柄の水ポテンシャルに及ぼす影響を第8-2表に示した。新梢長は-8 cm区が33.1 m/樹と他の2区よりも小さかった。-8 cm区は総葉数2,003枚、LAI3.0と他の2区よりも小さかった。満開後89日の7月14日および116日の8月10日の日の出前の葉柄の水ポテンシャルは、給水水位が低いほど低い傾向にあり、-8 cm区ではそれぞれ-0.99 MPa、-1.03 MPaとなり、7月中旬以降の昼間には葉のしおれが観察された。

第2節では給水水位を地面から-2 cmとすることで樹体生育が良好で、収量および果実品質が優れることを明らかにした。本節では、樹体生育、収量および果実品質が優れる給水マットの幅を明らかにするため、給水マットの幅を3段階に設定し検討した。

材料および方法

本試験では底面給水における給水マットの幅が樹体生育、収量および果実品質に及ぼす影響を明らかにするため、2008年に給水マットの幅を20 cm、50 cm、100 cmの3水準として検討した。給水水位は-2 cmとした。満開日は4月14日であった。

調査方法は本章第1節の方法に加え、土壌pFの測定を毎日10時に盛土に植付けた樹の主幹から50 cm北側、盛土底面から5 cmの位置をテンシオメーターで測定した。

第3節 給水マットの幅が収量および果実品質に及ぼす影響

結果

給水マットの幅が生育時期ごとの日吸水量、果実横径、収量および果実品質に及ぼす影響を第8-3表に示した。

第8-3表 給水マットの幅が生育時期ごとの日給水量, 果実横径, 収量および果実品質に及ぼす影響

処理区	日吸水量 ^z (L/樹/日)				果実横径 (mm)				果重 g	着果数 果/樹	収量 t・10 a ⁻¹	糖度 %Brix	硬度 lbs
	0~30 ^y	31~60	61~90	91~120	満開後30日	60日	90日	収穫期					
20 cm	6.1	12.4	11.9	12.1	21.0	36.8	59.5 b ^x	80.3 c	275 c	81.0	4.5 c	14.3 a	6.3 a
50 cm	8.8	16.7	18.8	21.3	20.9	37.8	62.0 a	89.1 b	322 b	80.3	5.2 b	13.5 b	5.3 b
100 cm	9.1	19.3	23.7	28.8	20.3	37.2	63.8 a	93.5 a	373 a	82.0	6.1 a	12.7 c	4.9 c
有意性 ^w	-	-	-	-	ns	ns	*	**	**	ns	*	**	*

^z日吸水量は晴天日の平均値

^y数値は満開後日数

^x多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

^w有意性の**は1%, *は5%水準で有意, nsは有意差なし。-は反復なし

日吸水量は給水マットの幅が広いほど多く、100 cm区では新梢伸長が停止し果実肥大が最も旺盛となる満開後91～120日に28.8 L/樹/日と最大となった。

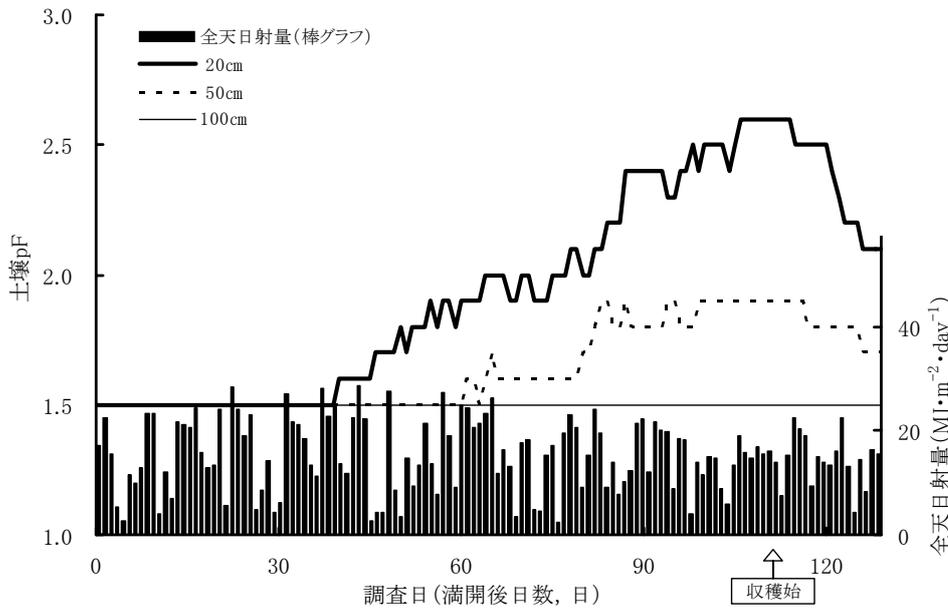
日吸水量の処理間差は生育が進むほど大きい傾向となり、満開後91～120日では100 cm区と50 cm区との差は23%、100 cm区と20 cm区との差は59%と大きくなった。

土壌pFは100 cm区では全期間を通じて1.5で推移した(第8-4図)。50 cm区では満開後60日を過ぎた頃から上昇し、80日以降1.8～1.9程度で推移した。20 cm区では満開後40日頃から上昇し、満開後85日頃から2.4以上で推移した。

果実横径は満開後90日で100 cm区63.8 mm、50 cm区62.0 mm、20 cm区59.5 mmと100 cm区および50 cm区が20 cm区よりも大きかった(第8-3表)。収穫期は100 cm区93.5 mm>50 cm区89.1 mm>20 cm区80.3 mmと給水マット幅が広いほど大きかった。果重は給水マットの幅が広いほど大きく、100 cm区で373 gと最大、20 cm区が最小の275 gで100 cm区に比べ98 g低下した。植付け5年目の10 a換算収量は給水マットの幅が広いほど大きく、100 cm

区で6.1 tとなった。糖度は給水マット幅が最も狭い20 cm区で他の2区より高くなったが、100 cm区でも12.7%と栃木農試の慣行栽培の平年値11.7%を1%上回った。果実硬度は、給水マット幅が最も狭い20 cm区で6.3と高く食味が劣った。

給水水位が樹体生育および葉柄の水ポテンシャルに及ぼす影響を第8-4表に示した。新梢長は20 cm区が36.3 m/樹で他の2区よりも小さかった。同様に20 cm区は総葉数2,225枚、LAI3.1と他の2区よりも小さかった。満開後90日の7月13日および112日の8月4日の葉柄の水ポテンシャルは給水マットの幅が狭いほど低く、20 cm区ではそれぞれ-0.92 MPa、-0.98 MPaとなり、7月中旬以降の昼間には葉のしおれが観察された。



第8-3図 給水マットの幅が土壌pFの推移に及ぼす影響

第8-4表 給水マットの幅が樹体生育および葉柄の水ポテンシャルに及ぼす影響

処理区	新梢長	総葉数	LAI	葉柄の水ポテンシャル(MPa)	
	m/樹	枚/樹		満開後90日	112日
20 cm	36.3 b ^z	2,225 b	3.1 b	-0.92 c	-0.98 c
50 cm	49.3 a	2,663 a	3.8 a	-0.77 b	-0.89 b
100 cm	53.1 a	2,757 a	3.9 a	-0.56 a	-0.68 a
有意性 ^y	*	*	**	**	**

^z多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

^y有意性の**は1%、*は5%水準で有意

第4節 収穫前の給水水位が収量および果実品質に及ぼす影響

第2節および第3節において、給水水位を地面から-2 cm、給水マットの幅を100 cmとすることで樹体生育、収量および果実品質が優れることを明らかにした。給水マットの幅は一度設置すると変更は容易でないが、給水水位は給水槽のボールタップを上下することで容易に調整可能である。大谷ら（2006）は満開後91日以降の土壤乾燥により糖度向上を図れることを、伊藤ら（2003）は満開日から低水分で管理した後満開79日から高水分とすることで果実重および果実糖度が上昇することを明らかにしている。そこで、底面給水において収穫1か月前から15日間程度乾燥を加えた後高水分とすることで果重を低下させることなく糖度を向上させることができるか検討した。

材料および方法

底面給水において果重、収量を低下させず果実糖度を向上させる灌水方法を明らかにするため、2009年に満開後91日以降の水位を-2 cmおよび-8 cmとし収穫まで一定水位とする-2 cm区および-8 cm区、満開後91日～105日を-8 cmとし106日～収穫期まで-2 cmと水位を変動させる-8-2 cm区の3処理区を設けた。なお、満開後90日までは水位を-2 cmとした。満開日は4月12日であった。

調査方法は第8章第3節の方法に加え、土壤水分率

（体積水分率）を満開後110日の7月31日に給水管側と給水管側の反対側の培土を測定した。土壤水分率の測定は盛の底面から10 cm、側面から5 cmの位置を内径5 cmの採土管で採取し乾土法で測定した。

結 果

収穫前の給水水位が日吸水量、土壤水分および葉柄の水ポテンシャルに及ぼす影響を第8-5表に示した。処理開始直後の満開後91～105日の日吸水量は-2 cm区で24.6 L、-8-2 cm区および-8 cm区で9.0～9.3 Lであった。106日～125日では-2 cm区および-8-2 cm区で23.7～24.7 L、-8 cm区で8.7 Lとなり、水位を下げた-8 cm処理で吸水量が減少した。満開後110日の盛土手前の土壤水分率は、-2 cm区および-8-2 cm区で44%程度と高く、-8 cm区で17%と乾燥が進んだ。また、盛土の手前と奥でくらべると、奥は手前よりも4～6%低かった。なお、盛土の土壤pFは-2 cm処理では1.5程度、-8 cm処理では2.6程度で推移した（図表省略）。葉柄の水ポテンシャルは-2 cm区および満開後121日調査の-8-2 cm区では-0.6 MPa程度、-8 cm区および満開後105日調査の-8-2 cm区では-0.8～-1.0 MPaとなり給水水位が高いほど高くなった。

収穫前の給水水位が果実横径、果実品質および収量に及ぼす影響を第8-6表に示した。-2 cm区の果実横径は満開後105日に86.0 mmと-8 cm区の84.1 mmより大きくなり、収穫期までその傾向は変わらなかった。-8-2 cm区の果実横径は水位が-8cmと低い満開後105日までは83.6 mmと-2 cm区より小さかったが、-2 cmと水位を上げた後は果実肥大が良好となり、120日94.5 mm、収穫期96.3 mmと-

第8-5表 収穫前の給水水位が日吸水量、土壤水分率および葉柄の水ポテンシャルに及ぼす影響

処理区	日吸水量(L/樹/日)			期間別日吸水量(L/樹/日)		土壤水分率(%) ² ;110日 ²		葉柄の水ポテンシャル(MPa) ²	
	最少	平均	最大	満開後91～105日	106～125日	手前	奥	満開後105日	121日
-2 cm	9.2	20.1	36.6	24.6	23.7	44.0 a ^y	40.0 a	-0.56 a	-0.61 a
-8-2 cm	4.3	15.8	37.2	9.3	24.7	44.2 a	38.6 a	-0.81 b	-0.58 a
-8 cm	4.0	8.7	13.3	9.0	8.7	17.1 b	13.2 b	-0.83 b	-1.03 b
有意性 ^x	—	—	—	—	—	**	**	**	**

²土壤水分率は満開後110日の11時、葉柄の水ポテンシャルはそれぞれの日の5時(日の出前)に調査した

^y多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

^x有意性の**は1%、*は5%水準で有意

第8-6表 収穫前の給水水位の違いが果実横径、果実品質および収量に及ぼす影響

処理区	果実横径(mm)				収穫盛 月/日	果重 g	着果数 果/樹	収量 t・10 a ⁻¹	糖度 %Brix	硬度 lbs
	満開後90日	105日	120日	収穫期						
-2 cm	72.1	86.0 a ^z	93.7 a	95.0 a	8/11 b	369 a	81.0	6.0 a	12.7 c	4.9
-8-2 cm	71.5	83.6 b	94.5 a	96.3 a	8/14 a	381 a	80.7	6.1 a	13.5 b	4.9
-8 cm	72.4	84.1 b	90.7 b	91.2 b	8/10 b	334 b	79.7	5.3 b	13.7 a	5.0
有意性 ^y	ns	*	*	*	**	*	ns	*	**	ns

^z多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

^y有意性の**は1%、*は5%水準で有意、nsは有意差なし

2 cm区と同程度となった。収穫量は-8-2 cm区が-2 cm区および-8 cm区より3~4日遅れた。果重は-2 cm区が369 g、-8-2 cm区が381 gと-8 cm区の334 gよりも優れた。10 a換算収量は-2 cm区および-8-2 cm区が6 tを上回り-8 cm区よりも大きかった。一方、糖度は-8-2 cm区および-8 cm区で13.5%を上回り-2 cm区よりも0.8~1.0%高かったが、-2 cm区でも12.7%と栃木農試の慣行栽培の平年値11.7%を1%上回った。果実硬度において処理間に有意な差はみられなかった。

考 察

植物を給水マットで栽培する場合、液槽内の水位は植物の生育に大きな影響を及ぼす。岩尾ら(1993)は、毛管水耕装置で給液部の水位を0~5 cm下に維持することにより、収量に著しい低下をきたすことなく品質の高いトマト生産が可能であること、この場合、給液槽の水位を下げると培養液の給液量が減少し、糖度の高いトマトが生産できる一方、草勢が弱まり収量が大きく減少することを明らかにしている。本試験においても樹体の吸水量は水位が高いほど多く、-2 cm区の生育時期ごとの日吸水量は、点滴灌水による根圏制御栽培(大谷, 2008)と同程度からやや多い値を示した。このため-2 cm区での新梢長は1 m²当たり9.8 mで、大谷・八巻(2010)の点滴灌水による根圏制御栽培と同程度で良好な生育となった。また、10 a換算収量は植付け4年目で4.5 tと、栃木県の慣行栽培での2.5~3.0 tに比べ1.5倍程度と優れた。さらに、果実糖度も慣行栽培よりも1%以上優れた。

給水管に挿入し給水を行う給水マットの給水特性は材質によって異なる。本試験では、材料および方法で示したとおり黒と白二層のポリエステル100%の長繊維不織布で、給排水性能が良く寸法安定性が良い不織布製毛管マットを用いた。マットの給水特性は、盛土をせず水位を0 cm、マット幅を100 cmとした場合水平方向に2 L・h⁻¹程度の給水能力を持つものを使用した。マット幅20~50 cmでは、新梢伸長が停止し葉が完全展葉した後の果実肥大が最も旺盛になる満開後90日以降の吸水量が劣り、特に20 cm区では昼間には葉のしおれが認められた。根圏制御栽培における満開後91~120日の晴天日の日吸水量は26.8 L(大谷, 2008)であり、20 cm区では12.1 Lと樹が必要とする量の1/2以下と劣り樹体の水要求量を満たすことができず果実肥大が劣ったと考えられる。10 cm区では全期間を通じて大谷(2008)の示した日吸水量と同等からやや多い値となった。樹体の要求量に応じ

た灌水量を確保できたことで1 m²当たりの新梢長は10.6 m、10 a換算収量6.1 t、果実糖度12.7%と樹体生育が良好となり、収量も慣行栽培の2倍程度、果実糖度も高くなった。このことから、ニホンナシの根圏制御栽培において灌水を底面給水で行う場合、給水マットの幅は100 cm、給水水位は地面(盛土の底面)から-2 cmとすることで樹体吸水量に応じた給水を行うことができ、高品質で慣行栽培の2倍程度の多収が得られることが明らかとなった。

給水マットの幅および給水水位を変えることで灌水量を操作できることが明らかとなった。そこで、第4節では安定的に糖度を高めることができる灌水管理法を検討した。収穫1か月前の満開後91日~105日の給水水位を-8 cmまで下げ、灌水量を一時的に減らしたあと、満開後106日から給水水位を-2 cmに上げることで果重381 g、糖度が13.5%と大玉で高糖度の果実が得られた。大谷ら(2006)は満開後91日以降の土壌乾燥により糖度向上を図れることを明らかにしており、底面給水においても収穫1か月前から15日間程度乾燥を加えた後、十分な灌水量を与えることで果重を落とすことなく糖度を向上させることができると考えられた。

ニホンナシの水要求量を満たすためには、用いる土壌の毛管機能も重要な要素となる。鈴木ら(1984)は底面給水による野菜の鉢育苗において有機物の混合割合を25%とすることで生育が優れることを明らかにしている。本試験では赤玉:パーク堆肥=2:1の混合土を用い有機物の割合を33%としたが、給水水位が-2 cmのとき満開後110日の盛土上部の土壌水分率は30%以上と高く(図表省略)、十分毛管機能を発揮できる培地であった。さらに赤玉の混合割合も大玉:中玉:細粒を1:2:1の比率とすることで保水性、物理性が15年程度と長期にわたり維持できることを確認している(未発表)。

なお、本栽培法は閉鎖系の灌水管理であり、排水がなく環境負荷の少ない栽培方法である。閉鎖系の養液栽培では培養液を更新することなく使用を続けるとCaやMgなどの濃度が高まり培地内溶液が施用した培養液の組成と異なる(板東ら, 1998; 佐々木・板木, 1978; 山下・林, 1997)とする報告が多い。本栽培法での施肥管理は樹齢ごとの1年間の樹体の成分吸収量を調査し、全窒素で1年目32 g、2年目50 g、3年目74 g、4年目94 g、5年目102 gであることを明らかにしている(第5章)。この値をもとに、成分吸収量に応じた施肥管理を行っているため、基肥施用前の主要成分が過剰となることはなかった。また、ニホンナシにおいてはリン酸やカリの過剰施用による生育阻害の影響は比較的少ないが、今後、樹

齢を重ねていく中で培地内残存成分が高まることも考えられる。このため、残存成分と施肥量との関係については、継続して検討していく必要があると考えられる。

点滴灌漑法による根圏制御栽培の導入には、10 a当たり1,906千円（2010年試算、加圧ポンプ・電気工事含まない）が必要で、そのうち49%が灌水関係経費であり、特に灌水制御装置が大きなウエイトを占める。また、給水圧を高めるための加圧ポンプや装置を駆動させるための電源などの設備が別途必要となる。そこで、底面給水では灌水経費の低コスト化を図るため灌水制御装置、ポンプおよび電源などの設備が不要となる灌水システムとして開発を進めた。生育に大きな影響を及ぼす生育時期ごとの給水量はボールタップを用い水位で制御することができることが明らかとなったことから、灌水制御盤およびそれを駆動するための電源の施設が不要となる。また、灌水ノズルが不要となるため給水圧を高めるためのポンプも不要となりコスト低減が図れるうえ、底面給水を導入するための装置は337千円と点滴灌漑の36%に削減できる。このため、10 a当たりの導入経費は1,271千円となり点滴灌漑による根圏制御栽培の67%と低コスト化が実現できた。さらに、10 a換算収量は、点滴灌漑同様2年目から2 t程度、5年目に6.1 tと早期多収が図れることから経営改善効果の高いシステムである。

た。底面給水法は点滴灌漑法にくらべ導入時の灌水関係経費を36%程度に抑えることができると試算される。

第8章のまとめ

ニホンナシ‘幸水’の盛土式根圏制御栽培において初期導入経費削減の可能性を探るため底面給水の導入を試み、給水水位と給水マットの幅が樹体生育、収量および果実品質に及ぼす影響を検討した。給水水位を催芽期以降地面から-2 cm、-5 cm、-8 cmに一定にしたところ、-5 cmおよび-8 cmは生育半ばから樹体の吸水量が減少し、-8 cmでは満開後91日以降-2 cmの1/2以下の吸水量となり葉のしおれが観察された。-2 cmは吸水量が多く収量、果実品質が優れた。また、給水水位を-2 cmとし給水マットの幅を20 cm、50 cm、100 cmとしたところ、50 cmおよび20 cmは生育半ばから樹体の吸水量が減少し、20 cm区は満開後91日以降100 cmの1/2以下の給水量となり葉のしおれが観察された。100 cm区は吸水量が多く10 a換算収量6.1 t、果重373 g、糖度12.7%と慣行栽培の2倍程度の多収となったうえ、高品質となることが明らかとなった。さらに、満開後91日から15日間給水水位を-8 cmに下げ盛土をpF2.6程度に乾燥させた後、給水水位を-2 cmにもどし樹体の必要量相当の給水とすることで果重を低下させることなく糖度を向上させることができ

第9章 根圏制御栽培における結果枝更新技術の開発

「二年成り育成法」は、仕立て方が2本主枝Y字仕立てで、「幸水」では植付け2年目に $2\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 、5年目に $6\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 程度と早期多収を図ることができる。早期多収を得るためには、植付け後初期に結果枝を主枝上に多数配置するため、同年枝の結果枝が揃うこととなり、植付け4年目以降順次結果枝枝の更新が必要となる。そこで、効率的に結果枝更新を行うため、結果枝基部から新梢発生が良好となる技術および花芽着生が良好となる予備枝育成技術を検討した。

第1節 くさび処理による結果枝更新技術の開発

本節では、結果枝基部からの新梢発生が良好となる技術として、結果枝基部にV字の切込みを入れるくさび処理について検討した。

材料および方法

作型は2009年3月16日にビニル被覆した雨よけ栽培で、根圏制御栽培した5年生「幸水」を供試した。培地は地面にビニル、給水マット、遮根シートの順に敷いた上に赤玉土とパーク堆肥を2:1に混合した培土150Lを用い底面が $135\text{ cm}\times 60\text{ cm}$ 、高さ20 cmの盛土とした。灌水は底面給水法で水位を常時地面から-2 cmとし樹体の吸水量に応じた灌水を行った。施肥は催芽期に緩効性肥料（ロング100日タイプ：窒素-りん酸-加里，14-12-14）を窒素成分で1樹当たり100 g施用した。栽植密度は列間2.5 m、樹間2 mの10 aあたり200本植えとした。仕立て方は主幹長60 cm（地上から80 cm）の2本主枝Y字仕立てとし、

主枝から側枝を斜め上方50度に配枝した。処理は試験1として、剪定時に側枝基部にV字の切込みを行うくさび区、側枝を基部5 mmを残して切取る切返し区および側枝に処理を行わない無処理区の3処理とし、それぞれ5樹を供試した（第9-1図）。着果管理は予備摘果を満開後20日、仕上摘果を50日、補正摘果を90日に行い最終着果量を1樹当たり60果（ $12\text{果}\cdot\text{m}^{-2}$ ）とした。また、果梗部へのGAペースト処理を満開後30日に行った。調査は、新梢発生調査として側枝基部からの新梢発生数、新梢長および新梢発生率を落葉時に測定した。また処理した側枝に着果した果実の果実横径を満開後30日から30日おきに、果重および果実品質を収穫期の8月5日～17日に調査した。

また、さらに、くさび処理時期の影響を検討するため、くさび処理時期を1月中旬、2月中旬、3月中旬に行う1月処理区、2月処理区、および3月処理区を設け、処理を行わない無処理区と比較した。

結 果

1. 新梢発生処理効果（試験1）

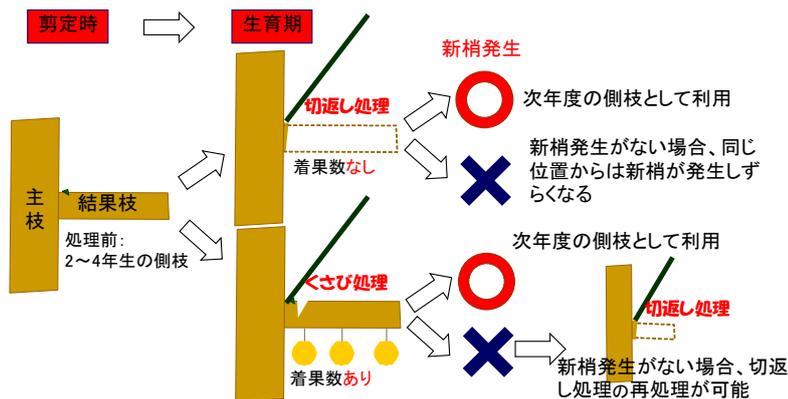
新梢発生率はくさび区で81%と切返し区および無処理区よりも高かった（第9-1表）。新梢発生数はくさび区で1.0本と高く、切返し区で0.4本、無処理区では0.1本と少なかった。平均新梢長はくさび区と切返し区でそれぞれ98 cm、111 cmで無処理区よりも長かった。花芽着生数は処理間で差はなかった。果実の生育はくさび区と無処理区で同様の推移を示し、収穫時には果重380 g程度、糖度は13%を上回り処理間に有意な差はみられなかった（第9-2表）。果実硬度にも差はなかった。

第9-1表 側枝更新処理が新梢発生および花芽着生数に及ぼす影響

処理区	新梢発生率 %	新梢発生数 本	平均新梢長 cm	花芽着生数 個/枝
くさび	81 a [†]	1.0 a	98 a	6.1
切返し	32 b	0.4 b	111 a	5.6
無処理	10 c	0.1 c	64 b	4.7
有意性 ²	**	**	*	ns

²有意性の**は1%、*は5%水準で有意。nsは有意差なし。

[†]多重比較はTukey法により同符号間で有意差なし。



第9-2表 側枝更新処理が果実横径および果実品質に及ぼす影響

処理区	果実横径 mm				果重 g	糖度 %Brix	硬度 lbs
	30日	60日	90日	収穫時			
くさび	21.3	42.3	71.5	94.8	388	13.3	4.8
切返し	-	-	-	-	-	-	-
無処理	20.9	40.7	70.3	94.4	378	13.6	4.9
有意性 ^z	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^z有意性のnsは有意差なし。

2. 処理時期の影響 (試験2)

第9-3表に結果枝基部へのくさび処理時期が新梢発生に及ぼす影響を示す。新梢発生率および新梢発生数は、1月~3月処理区が無処理区よりも有意に高く推移した。処理区間に差はなかった。落葉期の平均新梢長は、処理間に有意な差はなかった(第9-2図)。

第9-3表 結果枝基部へのくさび処理時期が新梢発生に及ぼす影響

処理区	新梢発生率 %		新梢発生数 本		平均新梢長 cm	
	満開時	落葉期	満開時	落葉期	満開時	落葉期
	1月処理	67 a ²	90 a	0.7 a	1.2 a	3
2月処理	65 a	80 a	0.6 a	1.4 a	1	122
3月処理	55 a	80 a	0.6 a	1.2 a	2	125
無処理	3 b	17 b	0.0 b	0.2 b	2	91
有意性 ^y	**	**	**	**	ns	ns

²多重比較はTukey法により同符号間で有意差なし

^y有意性の**は1%水準で有意。nsは有意差なし



くさび区 新梢発生率、新梢長とも優れる



切返し区 くさび区に次いだ効果

着果数が確保できない

第9-2図 結果枝更新処理による新梢発生状況

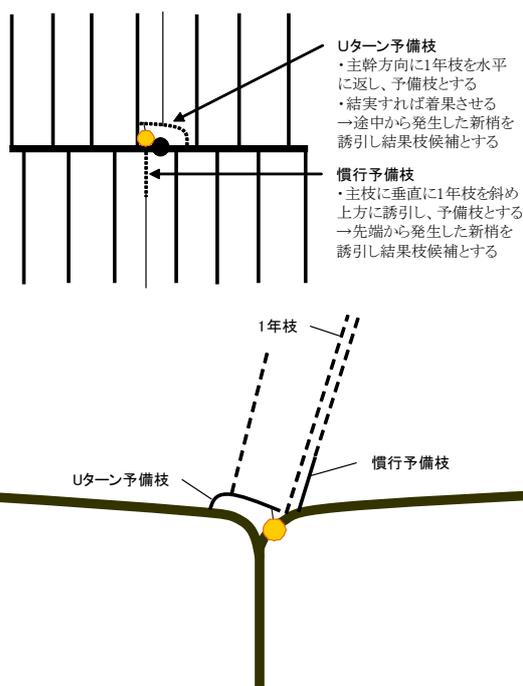
第2節 Uターン予備枝による腋花芽着生技術

主幹に近い主枝基部から発生する新梢を予備枝として利用する場合、発生する新梢は強勢となりやすく、新梢が太く腋花芽着生率が低下する欠点がある。そこで、主枝基部からの予備枝育成技術について検討した。

材料および方法

作型は2010年3月15日にビニル被覆した雨よけ栽培で、根圏制御栽培した6年生‘幸水’を供試した。栽培方法は前節と同様とした。

処理区は、主幹下方に向かって誘引するUターン予備枝区、約60度の角度で誘引する慣行予備枝区および新梢を利用する1年枝区の3処理区を設けた(第9-3図)。



第9-3図 主枝基部の結果枝更新処理が花芽着生に及ぼす影響

結果

慣行予備枝は予備枝先端から強勢な新梢が発生し、新梢長および新梢径が大きくなり腋花芽着生率が劣った(第9-4表)。Uターン予備枝は予備枝先端に着果させ予備枝途中から発生する新梢を利用することで、新梢長が121 cmと中庸で腋花芽着生率が67%と高く優良な結果枝が育成できた。新梢を利用した1年枝は33%と腋花芽着生率が劣った。

第9-4表 側枝基部への側枝更新処理が新梢発生に及ぼす影響

処理区	予備枝長 cm	新梢長 cm	新梢基部径 mm	腋花芽着生率 %
Uターン予備枝	33	121 b ²	12 b	67 a
慣行予備枝	35	143 a	18 a	43 b
1年枝	-	113 a	17 a	33 c
有意性 ³	ns	*	*	**

²多重比較はTukey法により同符号間で有意差なし

³有意性の**は1%, *は5%水準で有意, nsは有意差なし

考 察

多収を得るために側枝を多く配置する根圏制御栽培において課題となる結果枝更新技術を検討した。結果枝基部に剪定時V字の切込みを入れるくさび処理は、新梢発生率が高く平均新梢長も1m程度となり次年度の結果枝を確保できることが明らかとなった。また、処理した結果枝に着果した果実の肥大や品質への影響もみられず、結果枝を利用しながら新梢確保ができた。

各務・安井(2000)および松本ら(2005)は、摘らい作業の省力化のため、不要な花芽をせん定時に除芽するという方法が検討された結果、省力化の実現とともに除芽跡の不定芽から葉や新梢が発生することが認められた。本試験においては、除芽という作業ではないものの、不定芽上部に切込みを入れたが、松本ら(2005)が報告しているように不定芽からは正常に葉が展葉した。

島根県(2010)では、ナシ‘幸水’の側枝基部に3月下旬から4月上旬頃に環状剥皮を行うと、予備枝候補となる基部径8 mm以上の新梢を高頻度で発生させることができる」と報告している。本試験においては、環状剥皮の効果については試験区に組込んでいないが、予備試験における結果においても、島根県(2010)同様、50%程度の新梢発生率を示した。しかし、摘花や受粉など短期間に集中して行わなければならない開花期前後に行うことが効果的であること、環状剥皮処理に時間を要し作業効率が悪いことから、くさび処理に劣ると評価した。

ブドウやリンゴ、ナシ等で確実に発芽させるための手段として芽傷処理があり、これは発芽させたい芽の先5 mm程度の位置に深さ2 mm程度(形成層に達する程度)の傷を入れる方法である。この切り口により、植物成長ホルモンのオーキシンが逆流して芽を刺激することで、芽吹きが始まるといわれており、露地栽培ブドウにおいては、樹液流動が始まる3月上～中旬に行うと効果が高い。環状剥皮同様、予備試験において3月中旬および4月中旬に芽傷処理を行ったが、新梢発生率は10～20%程度と低く、4月中旬処理では発芽後枯死する新梢が

発生するなど効果が低かった。これらのことから、作業時期、作業効率および処理効果を総合的に判断すると、剪定時に行えるくさび処理は、結果枝基部からの新梢発生に有効な方法であると考えられる。特に、結果枝上の果実を着果したまま行えること、さらに、くさび処理は当年十分な新梢伸長が得られなくても、次年度に切返し処理による再処理ができる利点がある。

なお、くさび処理は露地の平棚栽培においても試験しており、本試験同様の結果を得ていることから、慣行栽培においても結果枝基部からの新梢発生促進に有効であるといえる。

主枝基部から発生する新梢は強勢となりやすい。このため、主枝基部から発生する新梢は、結果枝として利用が困難であるとともに、強勢な結果枝を利用すると、主枝先端の結果枝が弱り、樹形を乱すこととなる。そこで、試験2では、主枝基部から発生する新梢伸長を調節し、花芽着生が良好な優良結果枝を育成するため、予備枝を主幹部方向に戻す(Uターン)させるとともに、予備枝先端に結実させた。その結果、新梢伸長は慣行予備枝にくらべ短く、発生した新梢の基部径は、67%程度に抑制された。花芽着生も良好であったことから、優良な結果枝が育成できた。

Uターン予備枝を育成するためには、花芽の着生が必要となる。弱勢な予備枝をUターンさせることで、ある程度、樹勢を弱めることができるが、着果により新梢伸長が弱いときには摘果を、強いときには2果着果させるなどの調節ができるからである。このために、主枝基部から発生する中庸な新梢は、前年の夏季に水平からやや下向きに誘引しておくことで、花芽着生を促すことができるので、当年枝を利用するだけでなく、前年のうちから準備しておく必要がある。なお、Uターン予備枝に着果した果実については、肥大および品質とも通常の結果と変わらないことを確認している(図表略)。

このように、Uターン予備枝は、予備枝を主幹下方に誘引し、先端に着果させることで予備枝中間から発生する新梢伸長が旺盛となることが抑制され腋花芽着生率の向上を図ることができることが明らかとなった。

第9章のまとめ

結果枝基部からの新梢発生が良好となる結果枝更新技術を検討した。結果枝基部に剪定時V字の切込みを入れるくさび処理は、新梢発生率が高く平均新梢長も1m程度となり次年度の結果枝を確保できることが明らかとなった。また、処理した結果枝に着果した果実の肥大や品

質への影響もみられず、結果枝を利用しながら新梢確保ができる。さらに、くさび処理は当年十分な新梢伸長が得られなくても、次年度に切返し処理による再処理ができる利点がある。主枝基部からの有料結果枝を育成するための予備枝養成方法を検討した。Uターン予備枝は、予備枝を主幹下方に誘引し、先端に着果させることで予備枝中間から発生する新梢伸長が旺盛となることが抑制され腋花芽着生率の向上を図ることができる

第10章 根圏制御栽培の現地における実証

栃木県のニホンナシの栽培は1960年代半ば頃から長十郎を中心に栽培面積が増加し、その後1980年頃から‘幸水’および‘豊水’に品種が切替わった。2009年には栽培面積858 haで全国第6位、収穫量23,300 tで第4位となっている。ニホンナシの10 a当たり収量は2.7 tと栽培面積上位10位以内の県の中で1位となっているが、‘幸水’で樹齢25年生以上の栽培面積は70%以上と高く、高樹齢化が進んでいるため収量が年々減少傾向にある。特に、1993年の冷夏年以降の収量は1.7~2.5 tで推移し、1970~1985年の平均2.8 tにくらべると0.6 t程度低下している。生産性の向上のためには改植や新植により樹の若返りを図ることが必要であるが、植換えにより無収入期間が数年程度発生するため改植、新植が進んでいない。

根圏制御栽培は第7章で示したように植付け後2年目から結実し、3年目に栃木県の慣行栽培並の $3 \text{ t} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 程度、5年目以降慣行の2倍の $6 \text{ t} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ 程度を得ることができると明らかとなった。しかし、数百本規模での実証実績はなく、生産現場での実証試験が望まれていた。

栃木県では根圏制御栽培の現地普及を図るため、根圏制御栽培導入に関する補助金制度を設けたところ、2007年および2008年に栃木県宇都宮市において3戸の生産者が事業の導入を決定したことから、3戸の生産者の協力を得て現地実証試験を行った。

材料および方法

現地実証試験として、宇都宮市城山地区の3戸の根圏制御栽培導入園（F氏園、O氏園、A氏園）で調査を実施し、第7章第1節のY字根圏区（栃木農試）と比較した。供試品種はF氏園、O氏園および栃木農試はヤマナシ台‘幸水’、A氏園はマメナシ台‘幸水’とした。F氏園は2007年3月上旬に1年生苗を植付けし、奥行き60 m~40 m×間口5 mの単棟ハウスに第2-4図のY字棚を2列組み、1年目は露地栽培、2年目以降は雨よけ栽培とした。施肥、灌水管理、着果管理、整枝・剪定およびその他の管理はニホンナシの根圏制御栽培マニュアル「なしの盛土式根圏制御栽培法（大谷・林，2008a）」に基づき行った。灌水は点滴灌水とした。導入面積は14 aであった。O氏園は2006年3月上旬に1年生苗を地上部から60 cmに切戻し、10 Lの培土を入れ底に6 mmの穴を16個開けた肥料袋に植付け、灌水を毎日2 L程度行った。施肥は緩効性

被覆肥料（リニア型100日タイプ、窒素（N）12%-リン酸（ P_2O_5 ）14%-カリ（ K_2O ）12%）を用い、N成分で1樹当たり10 gを植付け時に施用した。2007年3月上旬に2年生となった苗を根圏制御培地植付けし、その後の管理はF氏園同様、大谷・林（2008a）に基づき行った。導入面積は7 aであった。A氏園は2007年3月上旬に1年生マメナシ苗に‘幸水’を接ぎ木し、培土量10 Lを入れ底に直径6 mmの穴を16個開けた肥料袋に植付けし、灌水を毎日2 L程度行った。施肥は緩効性被覆肥料（リニア型100日タイプ、窒素（N）12%-リン酸（ P_2O_5 ）14%-カリ（ K_2O ）12%）を用い、N成分で1樹当たり10 gを植付け時に施用した。2008年3月上旬に2年生となった苗を植付けし、その後の管理は灌水以外はO氏園の1年目以降の管理と同様とした。灌水は底面給水法で、水位を地面から-2 cmで収穫まで一定とした。作型は雨よけ栽培とした。導入面積は10 aであった。

樹体調査、収量および果実品質調査は第7章第1節と同様に行った。

経営試算はF氏園および本試験場の根圏制御栽培データを用い、農業経営診断指標（栃木県，2008）の調査項目に準じて試算した。

結 果

現地実証園における着果数、収量および果実品質を第10-1表に示した。F氏園は10 a当たり着果数が対照の栃木農試と同等で推移した。果重は栃木農試にくらべて3年生では小さかったが、4年生以降同程度以上であった。収量は栃木農試区並で推移した。糖度は11.8~12.4%で栃木農試よりも低かったが、栃木農試慣行の平年値11.7%と同程度以上であった。O氏園は2年生苗を植付けたため樹齢4年目（植付け後2年目）からの比較となる。着果数は5年生で栃木農試と同等であった。果重は4、5年生とも栃木農試と同程度以上であった。収量は栃木農試にくらべて着果数が少なかったため4年生は15%程度減少したが、5年生は $4.7 \text{ t} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ と果重が優れた分やや上回った。糖度は11.7~12.0%で栃木農試よりも低かったが、栃木農試慣行の平年値11.7%と同程度以上であった。ただし、植付け後年数でO氏園と栃木農試をくらべると、着果数および収量ともO氏園が栃木農試を上回った。A氏園はO氏園同様2年生苗を植付けたため樹齢4年目（植付け後2年目）からの比較となる。着果数は栃木農試をやや下回った。果重は4年生は436 gでと大玉となったが、5年生は栃木農試と同程度の364 gであった。収量は栃木農試にくらべるとやや小さい値で推移した。糖度は12.0

%で栃木農試よりも低かったが、栃木農試慣行の平年値11.7%と同程度以上であった。ただし、植付け後年数でA氏園と栃木農試をくらべると、着果数、果重および収量ともA氏園が栃木農試を上回った。

現地実証園における樹体生育、旧枝長当たりの新梢長、樹冠占有面積および花芽数を第10-2表に示した。現地実証園3園の結果枝本数は栃木農試よりも結果枝間隔を広くとる傾向であったため、4年生以降同程度以下で推移した。結果枝長も現地実証園が栃木農試よりも短かった。新梢長は5年目にF氏園およびO氏園が栃木農試よりも長くなり樹勢がやや強くなった。A氏園の旧枝長当たりの新梢長は4、5年生とも栃木農試と同程度で推移した。樹冠占有面積は結果枝長に類似した推移を示した。総花芽数および栽植の割当面積当たりの花芽数は栃木農試が現地実証の3園よりも大きく推移した。

F氏園の導入経費、収入および経費を第10-3表に示した。点滴灌水による根圏制御栽培にかかる経費は根圏システム設置経費で2,221千円、栽培棚設置経費で517千円および雨よけハウス設置経費で2,220千円、その合計経

費で4,958千円（第10-3-1表）であり、農試で試算した根圏システム経費1,906千円（第8章考察）を上回った。根圏制御栽培では二年成り育成法により植付け後2年目から結実するため2年目から収入が発生するが、2年目までは支出が収入を上回り赤字であった。3年目には10 a換算で2.8 tの収量となるため1,016千円の収入が得られる。2年目の支出は肥料費、出荷経費が発生するため530千円となったが、収入が支出を上回り所得は486千円と地植平棚‘幸水’の成園を大きく上回った。4年目はさらに収量が増加したため、収入が1,676千円となり、支出615千円に対し所得は1,061千円と100万円台の数値となった。

第10-1表 現地実証園における着果数、収量および果実品質

		樹 齢			4~5年生の 累積・平均 ^z
		3年生	4年生	5年生	
10 a当たり 着果数 (果・10 a ⁻¹)	栃木農試	5,400	8,600 a ^y	12,400 a	21,000 a
	F氏園(点滴)	4,800	8,200 a	12,600 a	20,800 a
	O氏園(点滴) ^x	-	6,600 b	12,400 a	19,000 b
	A氏園(底面) ^x	-	5,200 b	11,000 b	16,200 c
	有意性 ^w	ns	*	*	**
果重 (g)	栃木農試	333	331 c	350 ab	333 b
	F氏園(点滴)	300	351 b	333 b	328 b
	O氏園(点滴)	-	364 b	376 a	370 ab
	A氏園(底面)	-	436 a	364 a	400 a
	有意性	**	*	*	**
10 a当たり 収量 (t・10 a ⁻¹)	栃木農試	1.8	2.8 a	4.3 b	7.1 a
	F氏園(点滴)	1.4	2.9 a	4.2 b	7.1 a
	O氏園(点滴)	-	2.4 b	4.7 a	7.1 a
	A氏園(底面)	-	2.3 b	4.0 b	6.3 b
	有意性	ns	*	*	**
糖度 (Brix)	栃木農試	13.5	13.2 a	12.9 a	13.1 a
	F氏園(点滴)	12.4	12.0 b	11.8 b	11.9 b
	O氏園(点滴)	-	12.0 b	11.7 b	11.9 b
	A氏園(底面)	-	12.0 b	12.0 b	12.0 b
	有意性	**	**	**	**

^z着果数、収量は累積値、果重、糖度は平均値

^y多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

^xO氏園およびA氏園の樹は1年苗を1年間養成後移植したため、植付け後年数は1年ずつ減る

^w有意性の**は1%、*は5%水準で有意

盛土式根域制限栽培によるニホンナシの早期多収に関する研究

第10-2表 現地実証園における樹体生育, 旧枝長当たりの新梢長, 樹冠占有面積および花芽数

樹齢	処理区	結果枝本数 本/樹	結果枝長z m/樹	新梢長 m/樹	旧枝長	樹冠	花芽数	
					当たりの 新梢長 m・m ⁻¹	占有 面積 m ² /樹	総花芽数 個/樹	栽植の割当 面積当たり 個/m ²
2年生	栃木農試	-	-	13.5	9.0	-	184	36.8
	F氏園(点滴)	-	-	12.8	8.5	-	103	20.6
	O氏園(点滴) ^y	-	-	-	-	-	-	-
	A氏園(底面) ^y	-	-	-	-	-	-	-
	有意性 ^x	-	-	ns	ns	-	*	*
3年生	栃木農試	7.8	6.3	31.8 a ^w	3.0	1.7	166 a	33.2 a
	F氏園(点滴)	9.8	8.4	28.7 ab	2.3	1.7	111 b	22.2 b
	O氏園(点滴)	-	-	26.3 ab	10.5	-	121 b	24.2 b
	A氏園(底面)	-	-	23.2 b	9.3	-	125 b	25.0 b
	有意性	ns	ns	*	**	-	*	*
4年生	栃木農試	17.0 a	17.0 a	44.5 a	2.0	3.4 a	223 a	44.7 a
	F氏園(点滴)	10.9 c	15.0 b	46.9 a	2.3	3.4 a	141 b	28.2 b
	O氏園(点滴)	14.0 b	15.0 b	43.5 a	1.8	3.1 a	140 b	28.0 b
	A氏園(底面)	11.8 c	12.8 c	33.6 b	2.0	2.6 b	140 b	28.0 b
	有意性	*	*	*	ns	**	*	*
5年生	栃木農試	16.7	18.3	43.4 b	1.9 b	4.7 a	207	41.3
	F氏園(点滴)	15.2	17.0	52.2 a	2.4 a	4.6 a	-	-
	O氏園(点滴)	13.4	17.4	55.6 a	2.5 a	4.4 a	141	28.2
	A氏園(底面)	14.6	15.2	40.2 b	2.0 b	4.0 b	-	-
	有意性	ns	ns	*	*	*	*	*

^z結果枝長に主幹, 主枝および予備枝は含まない

^yO氏園およびA氏園の樹は1年苗を1年間養成後移植したため, 植付け後年数は1年ずつ減る

^x有意性の**は1%, *は5%水準で有意, nsは有意差がないことを示す

^w多重比較はTukey法により同符号間に5%水準で有意差なし

第10-3-1表 導入経費(10a換算)

項目	金額 千円
根圏システム	2,221
栽培棚	517
雨よけハウス	2,220
合計	4,958

第10-3-2表 収入および経費(10a換算, '幸水'での試算)

項目	根圏制御栽培(植付け後年数)				地植平棚 成園
	1年目	2年目	3年目	4年目 ^z	
収入(千円・10a ⁻¹)	-	360	1,016	1,676	750
収量(kg・10a ⁻¹)	-	1,429	2,878	4,190	3,000
単価(円・kg ⁻¹)	-	252	353	400	250
支出(千円・10a ⁻¹)	374	424	530	615	462
流動費	43	94	200	284	351
成園費					44
肥料費	7	14	18	28	20
農薬費	23	43	39	43	25
小農具費					1
修繕費					12
動力光熱費	13	13	13	13	5
雇用労賃費					18
出荷経費	0	23	129	200	216
諸材料費					6
雑費					2
固定費	331	331	331	331	112
減価償却費	331	331	331	331	112
所得	-374	-64	486	1,061	288

^z4年目は3年目の数値をもとに算出した

考 察

根圏制御栽培の現地での普及性を検討するため、2007年および2008年に導入した生産者3名の協力を得て、生産性および経営状況の調査を行った。導入した生産者の2名（F氏およびA氏）はニホンナシの経営規模が2 ha程度で、水稻との複合経営を行っている地域でも中核となる生産者である。ニホンナシは‘幸水’、‘豊水’および‘にっこり’を主幹品種としている。雨よけハウス‘幸水’により作期の拡大をねらい早期多収である根圏制御栽培を導入した。O氏は30代前半の後継者で、農外からUターン就農して数年経過し根圏制御栽培を導入した。同時にブドウの根圏制御栽培も取り入れ、直売を中心に販路の拡大を広げている。

F氏は本報告第7章と同様、1年生苗を春に盛土に移植した。樹体生育、着果数、果重および収量については本試験のY地根圏区と同程度の値を示し、本栽培法の現地適応性は高いと判断できた。しかし、果実糖度は12%程度とY地根圏区よりも1%程度低かった。栃木農試の収穫基準は地色2.5～3.0程度で適熟果を収穫しているのに対し、現地では収穫から選果、市場流通、小売店を経て初めて消費者の手に渡るため、地色1.0～1.5程度のやや未熟の果実を収穫する。地色および糖度は熟度が進むほど高くなる（吉岡、1983）ため、地色が大きくなるほど糖度は高くなる。実際、地色1.5時点での糖度12%の果実は、地色が2.5まで進むと12.5～13.0%程度まで上昇する（データ省略）。このことが、F氏園で糖度が低い原因であると考えられる。同様の傾向はO氏園およびA氏園でも確認された。

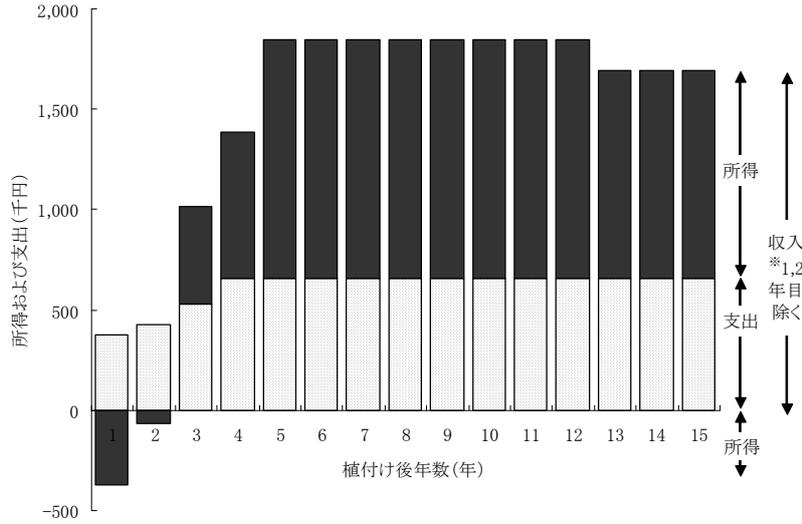
O氏園およびA氏園は1年生苗を培土量10 Lのポット（肥料袋を利用した簡易ポット）で1年間養成後、盛土に植付けを行った。このため樹体の初期生育は良好で、植付け後3年目（樹齢、5年生）には樹形が概ね完成し10 aあたり収量は4 tを上回り、栃木農試およびF氏園の植付け後3年目（樹齢、4年生）の数値2.8～2.9 tを上回り早期に超多収が得られた。現在調査中であるが、O氏園の6年生樹（2010年産、植付け後4年目）は果実肥大がやや劣り収量が前年をやや下回った（データ省略）。ニホンナシの果実肥大は前年の貯蔵養分で初期肥大量が決まり、生育中期以降は日射量が多いほど日肥大量が良好となる（杉浦、1997）。O氏園の4年生樹（植付け2年目）の10 aあたり収量は4.7 tと栃木農試の1.7倍程度と大きかったため、貯蔵養分の蓄積が少なくなり次年度の初期肥大に影響したと考えられる。このことから、収量を上げるために着果数を増やしても葉果比が極端に低くなら

なければ当年の収量は増加するが、次年度の初期生育への影響が懸念される。特に、根圏制御栽培のようにコンパクトな樹体での栽培は当該年度別の着果基準を超えた多着果はすべきでないと考えられる。

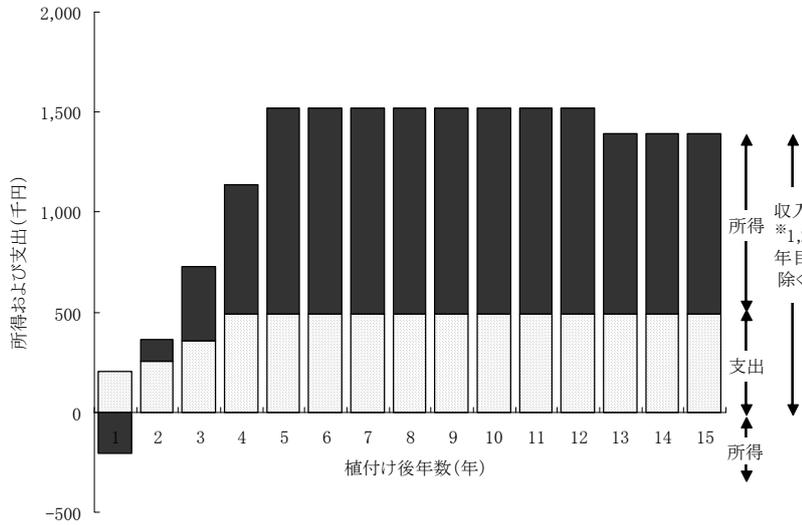
根圏制御栽培は早期多収が図れるとともに成園後も慣行の2倍以上の多収となる。そこで、F氏園を例に根圏導入から15年間の経営収支を試算した。なお、根圏システム、栽培棚および雨よけハウスなどの導入経費は減価償却期間を15年として試算し、固定費として支出に組入れた。また、1kg当たり平均単価は、雨よけハウス栽培308円、露地栽培253円で計算した。単棟ハウスを利用した根圏制御栽培（第10-1図）では、2年目以降収入が増加し、5年目～12年目まで1,189千円の所得を維持する。累積所得は3年目以降プラスに転じ、植付け5年目に2,347千円、10年目に7,892千円となる（第10-4図）。また、露地平棚を利用した底面吸水（第10-2図）では、初期投資が少ないため2年目には収支がややプラスに転じ、2年目以降は収量の増加により収入が増加し、累積所得も単棟ハウス同様に年々増加する。一方、地植平棚栽培（第10-3図）の場合は、初期投資は根圏制御栽培にくらべて少ないものの、収穫開始が4年目からと遅れるとともに、収量の増加や成園化後の収量が根圏制御栽培にくらべ半減するため、10年目の累積所得は610千円で、根圏制御栽培が5年目に到達した2,347千円にさえ達しなかった。このように、根圏制御栽培では制御盤や新規に棚を設置するのに初期投資はかかるものの、その後の収量の増加が飛躍的に多くなるため、経営改善効果は高いと考えられる。

第10章のまとめ

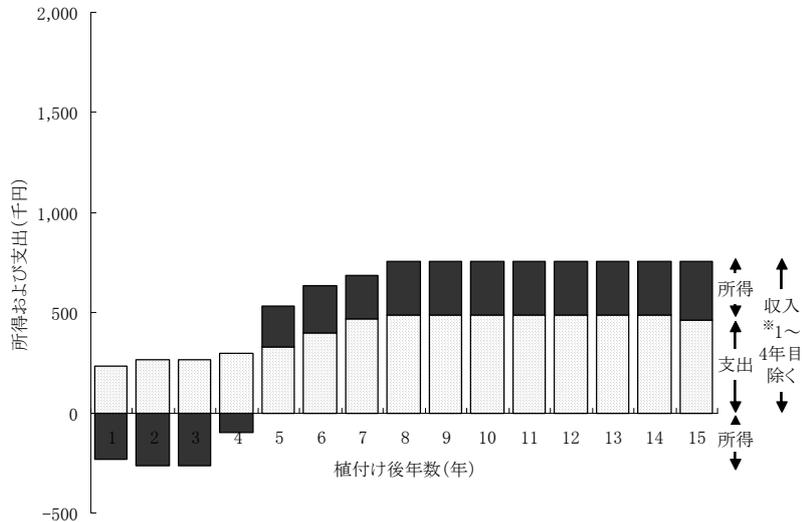
2007～2008年に根圏制御栽培を導入した3戸（F氏園およびO氏園：点滴灌水、A氏園：底面吸水）のほ場で、現地実証試験を行った。樹体生育、果実肥大および収量は栃木農試（本試験で検討した第7章のデータ）と同等で、普及性は高いと考えられた。果実糖度は栃木農試よりも1%程度低い数値であったが、これは栃木農試よりも熟度が若い果実を収穫基準としているためであると考えられた。根圏制御栽培導入にかかる経営収支を検討した。根圏制御栽培は初期投資が大きいが、収穫開始が早く早期に多収が得られるため収支がプラスに転じるのが早く、その後の累積所得の増加が慣行の地植平棚栽培にくらべ格段に大きい。このことから、根圏制御栽培は経営改善効果の高い栽培法であると考えられる。



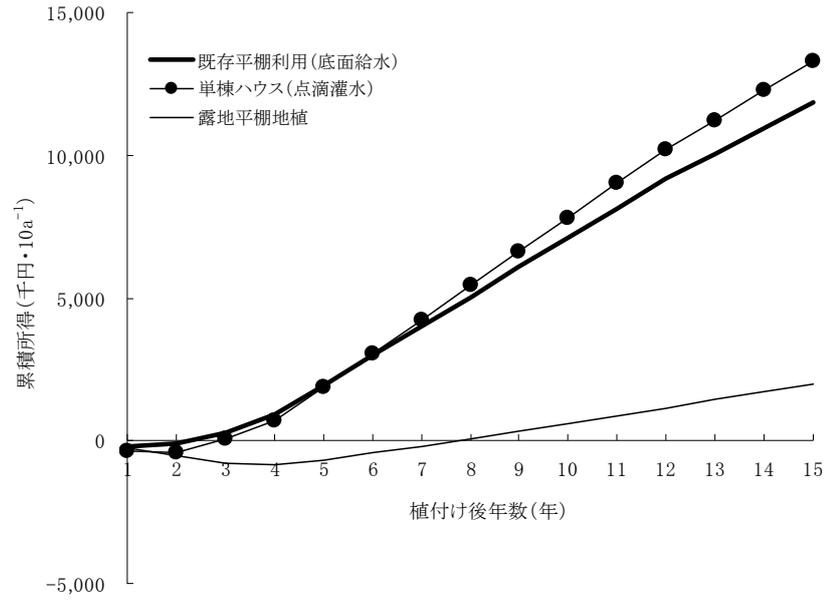
第10-1図 F氏園単棟ハウスでの根圏制御栽培(点滴灌水)の経営収支
 4年目までは実際の数値を用いた。5年目以降は推定値で10 a換算収量6 t、(1
 2年目以降は5.5 t)、1 kg当たりの平均単価308円で試算した。



第10-2図 露地平棚を利用した根圏制御栽培(底面給水)の経営収支
 4年目までは実際の数値を用いた。5年目以降は推定値で10 a換算収量6 t、
 (12年目以降は5.5 t)、1 kg当たりの平均単価253円で試算した。



第10-3図 地植平棚栽培の経営収支
 農試データをもとに、1 kg当たりの平均単価253円で試算した



第10-4図 栽培様式の違いが累積所得に及ぼす影響

第11章 総合考察

ニホンナシは老木化による樹勢低下、萎縮症による樹体の枯死（中村，2005）および紋羽病などの土壌病害（渡辺，1963）により収量および果実品質が低下している。新植および改植により樹の更新を図ることが最も効果のある対策であるが、現在の地植平棚栽培では成園となるまでに7、8年程度を要するため樹の更新が進んでいない。そこで、本研究では早期多収および高品質多収を図ることができる盛土式根圏制御栽培（根圏制御栽培）の技術開発を目的とした。根圏制御栽培は遮根シートにより地面と隔離した盛土に苗を植付ける栽培方法で、次のような特徴がある。①ビニルシート、遮根シートの上に培土を盛土して根圏を地面から隔離し、養水分の管理により生育を制御する栽培方法である。滞水による湿害の発生がなく、培土量、灌水量、施肥量などにより樹勢を制御することができる。②灌水は1回当たりの灌水量を少なくし、生育時期ごとに1日の必要量を数十回に分けて与える点滴灌水法が基本であり、植物の生育に合わせた水分調節が可能である。③樹勢制御により密植栽培が可能で、慣行法（露地地植平棚栽培）では計画密植においてさえ成園まで7、8年程度を要するが、「二年成り育成法」により植付け2年目から2 t・10 a⁻¹程度、3年目には3 t・10 a⁻¹程度と慣行成園程度の収量が得られ早期成園化が図れる。また、5年目以降6 t・10 a⁻¹程度と慣行の2倍以上の収量となる上、果実品質も優れる。④仕立て方は2本主枝Y字仕立てにより、受光体勢が良好になるとともに上向きの作業が減少し軽労化が図れる。このように、ニホンナシにおいて作業性が良く、早期多収および高品質多収の図れる栽培方法は根圏制御栽培のみである。また、根圏制御栽培導入の最大のネックとなる導入経費を削減するため、第8章では植物の生育に合わせた水分制御が可能で低コストで導入できる底面給水法について検討し、実用性の高い灌水システムを開発した。さらに、現地実証を行い実用化を確認した。ここでは、現在のニホンナシ生産で抱える課題について、本結果で得られた結果の活用および今後の課題を整理する。

1. 根圏制御栽培による早期成園化

のための仕立て方

植付け後の初期収量を多くするためには、計画密植（薬師寺，1970）により高密度に植えておき順次間伐していくことが有効である。栃木県のニホンナシ園では2

間植（3.6×3.6 m，栽植密度77本/10 a）とし、1次間伐、2次間伐を経て10 a当たり20本植とする方法が一般的であり、これまで永久樹、間伐樹にかかわらず幼木を4本主枝に仕立てる整枝法が一般的である。

ニホンナシの整枝法については多くの記述がある（古田，1997；林，1960；廣田，1993；金戸，1958；木下，1958；牧田，1994；永澤，1973；大友，1997；米山，1980）。これらは、剪定を容易にし、さらに収量を確保しつつ果実品質を揃えるためには整然とした骨格枝が重要であることを指摘しており、主枝本数3本または4本の肋骨型整枝法を推奨している。一方、吉田（2008）は‘ゴールド二十世紀’において、主枝本数の多い剪定は樹体の剪除率が移植当初から小さいため樹冠拡大と結果部の形成が早くなること、新梢成長が相対的に少なくなるため乾物生産に占める果実への分配が多くなり多収につながると考察している。これらの整枝法については、計画密植が前提で、永久樹と間伐樹とで剪定方法が異なる。樹ごとに剪定方法を変えなければならないことを考えると、密植のまま整然とした配枝ができる2本主枝は魅力である。加藤（2001）や押田（2001）は2年～3年育苗した大苗を用いる2本主枝の一字やH型整枝により成園化を早めることができるとしている。本試験では主枝本数を2本と少なくし、単位面積当たりの平棚の延べ面積拡大が図れるY字地植区を設け密植により早期成園化についても検討した。樹体剪除率は植付け1年目は主枝の延長を図るため小さかったものの、植付け3年目には75%と最大となりその後も4本主枝よりも大きく推移した。栃木農試の果樹園のようにCECが35と高く肥沃な土壌においては、主枝本数が少なく主枝の設置位置が低いY字仕立ては地植栽培とすると強樹勢となるため樹勢の制御が難しくなり、花芽着生も不良となるため早期多収が得られなかったと考えられる。

永澤（1968）は、果樹における早期多収を実現する条件として、①幼木のうちから花芽の着生、結実確保を図ること、②栄養成長と生殖成長の均衡を保つため台木の選択や長果枝と中短果枝をバランス良く配置した構成の樹相に誘導すること、③密植栽培することを挙げている。そこで、本試験では積極的に栽培環境を調節できる根域制限栽培を用い、密植による早期多収について検討した。整枝法についてはより簡易で整然とした結果枝が配置でき受光体勢が良い2本主枝Y字形の整枝法を採用した。栽植間隔と培土量について検討した結果、樹間2.0 m×列間2.5 m，培土量150 Lとし、樹体の吸水量や窒素吸収量に応じた灌水および施肥管理とすることで中庸な樹勢を維持でき、花芽着生も良好となり2年目から結実し

早期成園化を実現できた。根圏制御栽培は培土量、施肥および灌水量などにより樹勢の制御が容易である。また、2本主枝Y字仕立てで並木植とする根圏制御栽培は、全てが同じ樹形に3~4年で達し、間伐することがなく15年程度整枝剪定を繰り返す。簡便で整然とした整枝を行うことができる2本主枝Y字仕立ては、吉田（2008）が示す間伐樹に多主枝整枝を採入れ、園全体をレイアウトしながら園全体の収量性を上げていく整枝法と真逆の方法である。しかし、2本主枝Y字仕立ては密植と根圏制御栽培とを組み合わせることで早期多収を得ることが可能であるため、ニホンナシ栽培において有効な整枝法であると考えられる。

地植栽培では強樹勢となり、有利性を見いだせなかったY字仕立てだが、今後は、わい性台木の研究とあわせ、地植における密植での2本主枝Y字仕立ての研究を進め、より低コストでの早期多収技術開発を進めていく考えである。

2. 根圏制御栽培による高品質多収技術

果樹の収量は乾物生産量と果実への分配率により決定され（平野，1989），高橋（1998）は高生産のポイントとして果実への分配率を多くすることを挙げている。‘二十世紀’の果実への乾物分配率について、内田・高橋（1995）は34.5%，小豆沢・伊藤（1983）は高生産樹で32.9%であったと報告している。第6章における平棚地植栽培の18年生‘幸水’は32.5%が果実へ分配されており、露地栽培の‘二十世紀’の高生産樹との差異は小さく、10 a当たりの収量は2.8 tと高かった。Forshey・Mckee（1970），福田・瀧下（1993）は、リンゴのわい性台木樹は強勢台木樹より果実への分配率が高く、新梢・旧枝および地下部への乾物分配率が低いことを、倉橋（1997）はリンゴのY字形整枝樹が主幹形整枝樹より果実への乾物分配率が高く、新梢および旧枝への乾物分配率が低いことを報告した。また、果実への分配率は着果程度（果実/葉乾物重比）に影響され、福田ら（1991）はリンゴで、文室（1997）はニホンナシで着果程度が高いほど果実への乾物分配率が高まり、旧枝や地下部への乾物分配率が低下することを認めた。

根圏制御栽培は根域を制限することで樹をコンパクトにできる。さらに、水分ストレスや根量の減少によって樹勢が落ちつき花芽の着生が促進され、着果数が確保できる。Y字仕立ての根圏制御栽培では、m²当たり38個程度の花芽が確保できるため、着果数はm²当たり16果と栃木県の‘幸水’の着果基準11果よりも5割程度多く、着

果数を多く確保できることが果実への分配率が高まり高収量が得られた要因と考えられる。

しかし、着果数が多くなると、それに見合った乾物生産量が伴わないと果実肥大が促進されない。乾物生産量を高めるためには、光合同化産物を生産するための葉量と光合成能力を高める必要がある（高橋，1998）。葉数を増加させれば葉量は増えるが、果そう葉への受光量が低下し果実品質や花芽形成に悪影響を及ぼす（田辺ら，1982）ため最適なLAIは3前後である（文室・村田，1989）。1葉面積を70 cm²，10 a当たりの樹幹占有面積率を85%とすると，10 a当たりの葉数は約36.5万枚となり，葉果比を35で設定すると，10 a当たりの着果数は約10,500果，収量は3.5 t程度が‘幸水’の最大収量となる。本研究では、まず葉数を増加させるための方策として、これまでの平棚栽培では限界があると考え、樹形の検討を行った。平棚栽培は立木仕立てより収量が多いこと（岸本，1972），オウトウ（富田，2006）やリンゴ（倉橋，1997）においてはY字仕立てで収量・品質が優れることから、Y字仕立てでの検討を行った。その結果、延べ棚面積を平棚栽培の1.55倍程度に増やすことができた。平棚と同様に算出すると、葉数が56万枚、着果数が16,000果で収量5.6 t・10 a¹が推定された。第6章、第7章および第8章において植付け後5~8年生のY字根圏区の10 a当たりの葉数は65万枚程度で収量が6 tを上回っている。仕立て方は2本主枝のY字仕立てで主枝が一文字に配置されたため、結果枝を主枝に垂直に整然と配置でき4本主枝よりも結果枝密度を高められた。加えて、根圏制御栽培により必要量の灌水が供給できたため推定以上の収量が図られたと考えられる。さらに観察すると、平棚栽培の葉は展葉後ほぼ棚面に水平に広がる。一方、Y字仕立てでは葉が斜立~水平に展開しても、発生する高さが異なるため、真上から見て重なっていても、光は各個葉にまんべんなく照射されており、光環境は平棚の場合よりも良好になっていると考えられた。さらに、高さ別のLADは0.5~3.5 mまで高い値を示し、下層から上層まで葉層が展開されたことから、個葉の光合成は向上し群落としての光合成能力が高まったと考えられた。なお、単位葉面積当たりの光合成速度は慣行と根圏制御栽培間に有意な差はみられなかった。また、第7章では‘にっこり’についても検討を行っている。‘にっこり’は晩生で1 kg程度の大玉で、栃木県内の現地における平棚栽培でも5~6 t・10 a程度の収量を上げている園もみられるが、根圏制御栽培は‘幸水’同様に10 a当たりの着果数を通常の2倍程度の12,000果程度とすることで、10 a当たりの収量を12 t程度まで引き上げることができた。

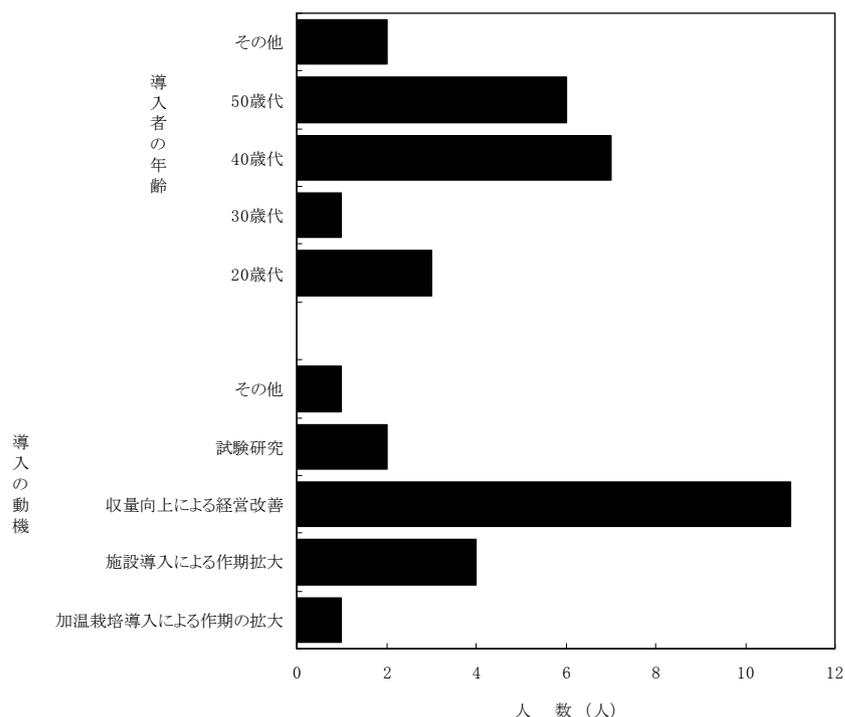
このときの果実への乾物分配率は5割を超え（未発表）極めて高い値を示した。‘にっこり’は成熟期間が180日程度と長いことから、果実への光合成産物の転流が増加し収量増加につながったと考えられる。‘にっこり’は露地での栽培でありビニルハウス等の施設の増設は必要ない。また、‘にっこり’は底面給水においても点滴灌水同様の結果を得ている（未発表）ことから、‘幸水’以上の所得を得ることが可能であるため今後の普及が望まれる。

3. 現地普及に向けた根圏制御栽培導入効果

平成22年10月時点で、ニホンナシの根圏制御栽培は、栃木県で4戸、埼玉県、千葉県ほかで15戸の生産者が導入または導入予定で進めており、そのうち10戸が底面給水である。また、（独）果樹研究所や東京都農林総合センターにおいて試験栽培としての導入が進み、栃木県内外で73 aの栽培面積へと広がりを見せている。さらに、灌水関係の業者を通じて青森県、新潟県ほか生産者からの問い合わせを受けている。導入者の年齢および導入動機を第10-1図に示した。年齢は40～50歳代の経営主が全体の7割弱を、20～30代の後継者も2割を占めており経営主、後継者とも導入が進んでいる。導入の動機は大きく2分され、都市近郊で直売や宅配を中心とした導入者は、限られた面積での土地生産性の向上を目的としている。一方、栃木県では、作業労力の分散を図るため作期の拡大による収量向上、経営改善を目的に導入が進んでいる。このように、生産環境や販売目的によって導入目的が異

なる。そこで、今後の根圏制御栽培の普及に向けた取組みについて低コストで導入可能な底面給水による根圏制御栽培導入効果について考察する。

ニホンナシは無農薬での栽培はまず考えられないためスピードスプレーヤーなどの機械や、収穫した果実の運搬に運搬車が必要など、新規に栽培を始めるためには多くの経費を要するため、現在、ニホンナシ栽培を行っている生産者による導入が前提となる。まず、栃木県のように1戸当たりの栽培面積が大きい生産者の場合である。基本的には現在の栽培体系で経営が成り立っているため、後継者の就農をきっかけとした経営分担の一部門としての根圏制御栽培の導入が有力である。特に、作期分散を図るための施設化や早生や晩生など主要品種の‘幸水’、‘豊水’と収穫期が異なる品種との組み合わせなど、これまでの露地栽培とは作業体系の異なる部門での取組みが考えられる。栃木県での一般的な栽培面積200 aでの予想される10年後の根圏制御栽培導入効果について、第10-1-1表および第10-1-2表に示した。‘幸水’＋‘豊水’＋‘あきづき’＋‘にっこり’に作期分散を目的に雨よけハウスを30 a導入した場合、200 aで7,525千円であった所得が12,205千円と4,680千円の導入効果がみられる。また、同じ栽培面積のまま萎縮症や高樹齢化で生産性が落ちている‘幸水’および‘豊水’を早生系統に切替えて30 a導入すると、同じ栽培面積にもかかわらず4,065千円の導入効果がみられる。早生系統の育成は栃木県内の生産者も期待をしており、根圏制御栽培とのセットでの取組みで導入効果が上がると考えられる。



第11-1図 根圏制御栽培の導入者の年齢および導入動機

一方、栽培面積は大きくないが、直売や宅配などの販路で経営を行っている生産者の場合についての導入効果を第10-1-3表に示した。この場合、収量の向上は所得改善に直に結びつく。萎縮症や高樹齢化で生産性が落ちている‘幸水’の一部20 aを根圏制御栽培‘幸水’に切替えた場合、100 aで29 tであった収量が36 tとなり、増収効果は7 t、増収率で24%が得られる。GA処理を加え8月上中旬での販売を考えると、1kg当たりの平均単価が500円としても3,500千円の収入の向上が図れる。

このように、土地生産性の高い根圏制御栽培は、導入

により飛躍的に収量が向上するため、経営改善効果が高い栽培方法であることがいえる。

第11-1-1表 根圏制御栽培(底面給水)導入10年後の予想所得の比較(経営規模200 a→230 a)

－現在－			－10年後－			
品種	面積 a	所得 千円	品種	面積 a	所得 千円	経営改善効果 千円
幸水 ²	80	2,500	ハウス根圏幸水	30	4,680	4,680
豊水	60	2,100	幸水	80	2,500	-
あきづき	30	1,050	豊水	60	2,100	-
にっこり	30	1,875	あきづき	30	1,050	-
合計	200	7,525	にっこり	30	1,875	-
			合計	230	12,205	4,680

² 平均単価は無加温ハウス幸水400円、幸水250円、豊水、あきづき200円、にっこり250円として試算
10 a当たりの収量は早生新系統6 t、幸水2.5 t、豊水、あきづき3.5 t、にっこり5 tとして試算
所得率は根圏制御栽培65%、幸水、豊水、にっこり50%で試算

第11-1-2表 根圏制御栽培(底面給水)導入10年後の予想所得の比較(経営規模200 a→200 a)

－現在－			－10年後－			
品種	面積 a	所得 千円	品種	面積 a	所得 千円	経営改善効果 千円
幸水 ²	80	2,500	早生新系統	30	5,040	5,040
豊水	60	2,100	幸水	60	1,875	-625
あきづき	30	1,050	豊水	50	1,750	-350
にっこり	30	1,875	あきづき	30	1,050	-
合計	200	7,525	にっこり	30	1,875	-
			合計	200	11,590	4,065

² 平均単価は早生新系統400円、幸水250円、豊水、あきづき200円、にっこり250円として試算
10 a当たりの収量は早生新系統6 t、幸水2.5 t、豊水、あきづき3.5 t、にっこり5 tとして試算
所得率は根圏制御栽培70%、幸水、豊水、にっこり50%で試算

第11-1-3表 根圏制御栽培(底面給水)導入10年後の予想所得の比較(経営規模100 a→100 a)

－現在－			－10年後－			
品種	面積 a	収量 ² t・10a ⁻¹	品種	面積	収量 ² t・10a ⁻¹	経営改善効果 t・10a ⁻¹
幸水	60	15	根圏幸水	20	12	12
豊水	30	11	幸水	40	10	-5
その他	10	3	豊水	30	11	0
合計	100	29	その他	10	3	0
			合計	100	36	7

² 10 a当たりの収量は根圏幸水6 t、幸水2.5 t、豊水、その他3 tとして試算

引用文献

- 明田郁夫・田中 守. 2003. ニホンナシ‘豊水’の整枝法が果実収量, 品質及び作業性に及ぼす影響. 園学雑. 72(別2): 118.
- 小豆沢 斉・伊藤武義. 1983. 二十世紀ナシの乾物生産と養分吸収. 島根農試研報. 18: 31-47.
- 板東一宏・町田治幸・古藤英二. 1998. トマトのロックウール栽培実用化技術の確立(第2報)循環方式における培養液濃度及び給液法が品質, 収量におよぼす影響. 徳島農試研報. 25: 27-35.
- 土居新一・山田正純. 1979. 根域制限下における施設ブドウの適正管理技術の確立. 昭和54年度落葉果樹試験研究打合せ会議資料(栽培関係): 84-85.
- 遠藤 久. 1995a. オウトウのコンテナ栽培. 農耕と園芸. 50(2): 164-166.
- 遠藤 久. 1995b. オウトウのコンテナ栽培. 農耕と園芸. 50(3): 174-176.
- Forshey, C. G. and M. W. Mckee. 1970. Production efficiency of a large and a small ‘Mcintosh’ apple tree. Hort Science 5: 164-165.
- 福田博之・瀧下文孝. 1993. 強勢台木とわい性台木を用いたリンゴ‘ジョナゴールド’樹の乾物生産およびその分配の比較. 園学雑. 62: 513-517.
- 福田博之・瀧下文孝・工藤和典・榎村芳記. 1991. M. 9 わい性台木利用リンゴ樹における乾物生産とその樹体内分配に対する着果程度の影響. 園学雑. 60: 495-503.
- 文室政彦. 1997. 雨よけ栽培におけるナシ‘幸水’樹の成長, 乾物生産および分配に及ぼす着果程度の影響. 園学雑. 66(別1): 176-177.
- 文室政彦. 2000. 被覆条件下のニホンナシ‘幸水’樹の成長, 乾物生産と分配に及ぼす着果程度の影響. 園学雑. 69: 724-731.
- 文室政彦・村田隆一. 1989. ナシ‘幸水’の果実品質と花芽形成に及ぼす夏季せん定の影響. 滋賀農試研報. 30: 66-73.
- 文室政彦・上田和幸・沖嶋秀史. 1999. 被覆条件下のニホンナシ‘幸水’樹および‘豊水’樹の乾物生産と分配の季節的变化. 園学雑. 68: 364-372.
- 古原剛二・吉田智也・芝田展幸・小出 聖・松本誠司. 1987a. モモの施設栽培第1報開花期の温度・湿度と結実. 園学雑. 昭62秋: 190~191.
- 古原剛二・吉田智也・芝田展幸・松本誠司. 1987b. モモの施設栽培第2報成熟期の水分ストレスと品質. 園学雑. 昭62秋: 192~193.
- 古田 収. 1997. 二十世紀(ゴールド二十世紀)の整枝剪定と管理. p. 143-164. 町田 裕編著. ニホンナシの整枝剪定. 農文協. 東京.
- 古山竜二・高畑正人・中島和幸. 2005. オウトウの根域制限Y字形仕立てにおける栽培適性について. 滋賀農総セ農試研報. 45: 44-50.
- 蒲生英美・文室政彦. 2001. 根域制限カキ‘新秋’の早期成園化および軽労働化技術. 滋賀総セ農試研報. 41: 23-31.
- 後藤明彦. 1997. わい性台木, 低樹高仕立て手法等による研究開発の現状と将来展望. p. 55-64. 全国果樹低樹高省力化技術体系普及推進協議会講演要旨.
- 林 公彦・牛島孝策・千々和浩幸・姫野周二・吉永文浩・鶴 丈和. 1995. ニホンナシ‘幸水’の育成樹相が収量および果実品質に及ぼす影響. 福岡農総試研報. 14: 137-141.
- 林 真二. 1960. 果樹栽培生理新書 梨. p. 224-236. 朝倉書店. 東京.
- 平野 暁. 1989. 果樹栽培における物質生産の重要性とその研究の意義. P. 15-24. 平野 暁・菊池卓郎編著. 果樹の物質生産と収量. 農文協. 東京.
- 平田克明・秋元稔万・小林英良. 1980. 日本梨幸水, 新水の品種特性及び生産力増強に及ぼす影響. 広島果試研報. 6: 16-34.
- 広部 誠. 1998a. コンテナを利用した移動式栽培技術による果樹の高付加価値化(1). 農業技術. 53(6): 20-24.
- 広部 誠. 1998b. コンテナを利用した移動式栽培技術による果樹の高付加価値化(2). 農業技術. 53(7): 15-19.
- 廣田隆一郎. 1993. 早期化・低樹高時代の整枝・せん定. 農文協. 東京.
- 本美善央・木村伸人・榎原正義・仙田太洋. 1994. イチジクのコンテナ栽培における仕立て法と樹勢の調節及び維持法. 愛知農総試研報. 26: 275-280.
- 本美善央・榎原正義・木村伸人・仙田太洋. 1995. モモのコンテナ栽培における根域土壌容積, かん水及び施肥が生育, 収量に及ぼす影響. 愛知農総試研報. 27: 251-258.
- 藤原多見夫. 1994. ブドウの根域制限による超密植早期多収栽培における養水分管理. 土肥誌. 65: 66-73.
- 茨城県. 2001. 日本ナシ‘幸水’の窒素吸収特性に基づく効率的施肥法. 平成12年度関東東海農業成果情報.

- 池田隆政. 2009. ニホンナシの気温に対する応答反応の解明と高糖度果実の生産技術に関する栽培生理学的研究. 鳥取農林総研園試特報. 1: 1-72.
- 今井俊治. 1989. 根域制限栽培. p. 286の40-43. 農業技術体系 果樹編2 ブドウ. 追録第4号. 農文協. 東京.
- 今井俊治. 1991. 密植・根域制限栽培による4倍体ブドウの早期成園化の実証. 広島果試特研報. 31: 1-94.
- 今井俊治. 1992. 早期成園化をねらったブドウの根域制限栽培法. 農業技術研究. 46 (10) : 20-21.
- 今井俊治. 1996a. ブドウの根域制限栽培の実際とその考え方. 果樹種苗. 63: 15-19.
- 今井俊治. 1996b. 果樹の根域制限栽培の新技術. 根域制限栽培の考え方とその実際. p. 59-64. 第17回日本施設園芸推進中央集会資料.
- 今井俊治・本田敏夫・藤原多見夫. 1994. ナシ‘幸水’における果実, 幹径の日変化に及ぼす土壌水分の影響. 生物環境調節. 32 (3) : 155-162.
- 今井俊治・岩尾憲三・大保絃一. 1988. ブドウの生体情報の測定と解析による土壌水分管理法の指標化(第3報) 土壌の乾燥と果粒径ならびに茎径の日変化特性. 園学雑. 63 (別2) : 188-189.
- 井上 宏・石 雪暉・片岡郁雄. 1988. 根域制限がカラタチ台ウンシュウミカンの生長に及ぼす影響. I 鉢植えの1年生苗木について. 香川大学農学部学術報告. 40 (1) : 25-30.
- 石原良行・人見秀康・八巻良和. 2006. 毛管給液を併用したトマトの閉鎖型養液栽培における培養液組成が培地内溶液濃度および収量に及ぼす影響. 園学研. 5: 265-270.
- 伊藤純樹・藤田耕之輔・藤原多見夫. 2003. 土壌水分がニホンナシ‘幸水’の側枝・果実の径変化および果実生長・形質に及ぼす影響. 日本土壌肥料学雑誌. 74: 301-308.
- 伊東明子・羽山裕子・吉岡博人. 1997. ニホンナシの新梢誘引処理は側芽中のサイトカイニンの代謝変動を引き起こす. 園学雑. 66 (別2) : 16-17.
- 伊東明子・八重垣英明・吉岡博人. 1996. ニホンナシの新梢に対する誘引処理が花芽の分化期の内生ホルモン含量に及ぼす影響. 園学雑. 65 (別2) : 208-209.
- 岩尾和哉・西森裕夫・佐田明和. 1993. 毛管水耕における水位がトマトの生育収量におよぼす影響. 園学雑. 62 (別1) : 38-39.
- 鎌田憲昭・安間貞夫. 2004. イチジクの根域制限栽培における用土量が樹体生育, 果実収量, 品質及び乾物生産に及ぼす影響. 静岡柑試研報. 33: 19-25.
- 金子友昭・山崎一義・三坂 猛・青木秋広・松浦永一郎. 1988. 日本ナシ幸水のせん定後の適正な側枝の配置密度について. 栃木農試研報. 35: 51-62.
- 管 温江・森本佐喜子・三塚夏子. 1989. 植木鉢. 特開平01-010929.
- 金原啓一. 2006. ドリップ栽培による盛土式根圏制御栽培. p. 286の47の8-18. 農業技術体系 果樹編2 ブドウ 追録第21号. 農文協. 東京.
- 金原啓一・岸 祐子・鷺尾一広・小島耕一. 2005. 果樹類の盛土式根圏制御栽培方法. 特許公開 2005-204662.
- 金戸橋夫. 1958. 整枝と剪定. p 134-164. 梶浦 実編. 梨—果樹作りの技術と経営—. 農文協. 東京.
- 加藤 修. 2001. 2本主枝—文字整枝. p. 306の4-13. 農業技術体系 果樹編3 ナシ 西洋ナシ 追録第16号. 農文協. 東京.
- 川俣恵利. 1992. ボックス栽培によるブドウの高品質果実生産. 農業技術研究. 46 (10) : 18-19.
- 川野信寿. 1982. 早生温州の加温ハウス栽培における土壌水分管理 (2). 農及園. 57 (10) : 1275-1280.
- 川野信寿・柴 茂・白石利雄. 1982a. 早生温州の加温ハウス栽培における土壌水分管理に関する研究 第1報 土壌水分が果実品質に及ぼす影響. 九州農研. 44: 252.
- 川野信寿・柴 茂・白石利雄. 1982b. 早生温州の加温ハウス栽培における土壌水分管理に関する研究 第2報 土壌水分が果実肥大に及ぼす影響. 九州農研. 44: 253~254.
- 各務裕史・安井淑彦. 2000. ニホンナシの花芽摘芽痕からの不定芽の発芽について. 近畿中国農研. 99: 61-64.
- 木村伸人・金原敏治. 1998. イチジクのボックス栽培. 昭62落葉果樹試験成績概要集: 591-592.
- 木下貞治. 1958. 果樹園の設定と植え付け. p. 49-66. 梶浦 実編. 梨—果樹作りの技術と経営—. 農文協. 東京.
- 岸本 修. 1972. ニホンナシの整枝剪定に関する研究. III. せん定の適正度の判定基準としての新しょうの葉枝比と, 樹体各部の重量および根群分布. 園試報 A (平塚) : 15-39.
- 岸本 修. 1975. ナシとカキにおける摘果の適正範囲と最適果重の推定. 園学雑. 43: 368-376.

- 北野欣信・藤本欣司・小川正毅. 1988. モモのハウス栽培試験土壌水分管理試験. 昭62落葉果樹に関する試験成績概要集: 569~570.
- 久保田尚浩. 1996. 根域制限およびBox栽培. p. 423-430. 日本ブドウ学. 養賢堂. 東京.
- 倉橋孝夫. 1997. リンゴのY字形棚整枝における物質生産と栽培法に関する研究. 島根農試研報. 31: 1-59.
- 牧田 弘. 1994. ナシの基本樹形. p. 102-105. 柴壽監修. 図解・落葉果樹の整枝せん定. 誠文堂新光社. 東京.
- 真子正史・伊與部有一. 1988. カンキツのボックス栽培に関する研究 (第1報) ウンシュウミカン苗木の早期育成法. および用土の種類, 腐植の割合, 施肥量の違いと収量, 品質との関係. 園学雑. 57 (別2): 46~47.
- 真子正史・伊與部有一・重田利夫. 1998. ウンシュウミカンのボックス栽培試験 (1) 施肥量, 客土の有無と収量, 果実品質 (青島系). 昭63常緑果樹試験成績概要集: 293~294.
- 真子正史・伊與部有一・重田利夫. 1990. カンキツのボックス栽培に関する研究 (1) 施肥量, 整枝法の違いがウンシュウミカン樹の生育, 収量, 果実品質に及ぼす影響. 神奈川園試研報. 40:1-10.
- 真子正史・真壁敏明. 1988. ウンシュウミカンの高糖化をねらった断根及びマルチ処理が樹勢・収量・果実品質に及ぼす影響. 神奈川園試研報. 42: 11-19.
- 丸尾 達・伊藤 正・林 敏隆. 1990. NFT並びにロックウールシステムにおける吸水速度の簡易測定法. 園学雑. 59 (別1): 314-315.
- 松本和紀・矢羽田二郎・牛島孝策・栗原実. 2006. ワセウンシュウの高うねマルチ栽培における根域制限方法と生育, 収量, 果実品質. 福岡総農試研報. 25: 65-70.
- 松本辰也・本永尚彦・榎並 晃・児島清秀. 2005. ニホンナシ自家和合性品種の新品種を想定した省力結実管理方法の検討. 園学雑. 74(別2):125.
- 松村博行. 1992. カキの根域栽培研究のねらいと現状. 農業技術研究. 46 (10): 15-17.
- 松村博行. 1996a. カキの新しい栽培の試みについて. p. 82-94. '96果樹施設化シンポジウム「21世紀への輝かしい未来を拓こう」. 日本農園芸資材研究会.
- 松村博行. 1996b. カキの施設栽培におけるボックス栽培と用土. 果実日本. 51 (12): 36-39.
- 松波達也・吉岡正明・平井一幸・本間素子・渡辺一郎. 2001. ポリエチレンネットを利用したポットによるモモの根域制限栽培法. 群馬園試研報. 6: 7-38.
- 松野英行. 2006. 波状棚利用栽培. p. 306の26-33. 農業技術体系 追録第21号. 農文協. 東京.
- Matsuura, K. and K. Fukui. 2002. Early mature orchard system of 'Osa-Nijisseiki' pear by two primary scaffold branch system and high plant density. Acta Hort. 587:581-585.
- 三好恒和・川口松男・星川三郎. 1974. 群馬県における日本ナシ長十郎の品質に関する諸要因について. 群馬園試研究報. 3: 40-49.
- 三好恒和・村田邦三・星川三郎・川口松男. 1976. 日本ナシ幸水の良品安定生産のための諸要因について. 群馬園試研報. 5: 47-60.
- 水田泰徳・西谷延彦. 1997. 根域制限資材の種類と施肥量がウンシュウミカンの生育及び果実品質に及ぼす影響. 兵庫農技研報. 45: 55-60.
- 長村智司. 1995. 鉢花の培養土と養水分管理. p. 96-126. 農文協. 東京.
- 長野県果樹試験場. 1994. モモの省力・生産安定のための低樹高栽培技術の開発. 平成1~5年度地域重要新技術開発促進事業研究成果報告書.
- 永澤勝雄. 1968. 栄養成長と生殖成長. p. 6-77. 小林章編著. 果樹の早期増収と早期出荷. 誠文堂新光社. 東京.
- 永澤勝雄. 1973. ナシの整枝・剪定. p. 88-129. 永澤勝雄著. 図解. 果樹の整枝・剪定 (新訂正版). 博友社. 東京.
- 中原正一. 2004. 培地バッグとそれを用いた養液栽培方法. 特開2004-201518.
- 中村三夫・福井博一. 1994. ボックス栽培からみた施肥時期の改善. p. 168-173. カキの生理生態と栽培新技術. 誠文堂新光社. 東京.
- 中村 仁. 2005. 重要病害・萎縮症. p. 329-330の3. 農業技術体系 果樹編2 ナシ西洋ナシ 追録第20号. 農文協. 東京.
- 新田浩通・小笠原静彦・今井俊二. 1998. ナシ白紋羽病防除におけるフルアジナムSCの効果. 広島農技セ研報. 66: 7-14.
- 野並 浩. 2001. 水ストレスと生理代謝の関係. p. 6-7. 植物水分生理学. 養賢堂. 東京.
- 農林水産省統計. 2010. http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/sakkyou_kazyu/index.html
- 押田政義. 2001. 2本主枝H型整枝. p. 306の14-19. 農業技術体系 果樹編3 ナシ 西洋ナシ 追録第16号.

- 農文協. 東京.
- 大友忠三. 1997. 品種に共通した剪定技術. p. 71-98. 町田 裕編著. ニホンナシの整枝剪定. 農文協. 東京.
- 大谷義夫. 2008. 盛土式根圏制御栽培. p. 306の1の2-1 3. 農業技術体系 果樹編3 ナシ 西洋ナシ 追録第23号. 農文協. 東京.
- 大谷義夫・朝倉利員・林 雅子. 2007. 根圏制御栽培におけるニホンナシ‘幸水’に対するPRDかん水制限試験. (第1報) かん水制限が樹体生育及び果実品質に及ぼす影響. 園学研. 6 (別1) : 83.
- 大谷義夫・朝倉利員・杉浦俊彦. 2006. 収穫前のかん水制限がニホンナシ‘幸水’果実の成熟に及ぼす影響. 園学雑. 75 (別1) : 56.
- 大谷義夫・林 雅子. 2008a. なしの盛土式根圏制御栽培法. 栃木県新技術シリーズNo.12.
- 大谷義夫・林 雅子. 2008b. ニホンナシ盛土式根圏制御栽培の‘二年成り育成法’による早期多収技術. 園学研. 7 (別1) : 69.
- 大谷義夫・八巻良和. 2010. 根圏制御栽培における仕立て方の違いがニホンナシ‘幸水’の樹体生育, 収量および物質生産に及ぼす影響. 園学研. 9: 467-475.
- 大谷義夫・鷲尾一広・金原啓一. 2006. ニホンナシの盛土式根圏制御栽培における底面給水法. 園学雑. 75 (別2) : 56.
- 佐野憲二・松下加奈穂・立田芳伸. 1981. 秋冬季の土壤乾燥が雨除け栽培ボンカンの果実品質に及ぼす影響. 九州農研. 49: 231.
- 佐々木皓二・板木利隆. 1978. 果菜類における養液栽培技術の確立に関する研究 (第2報) 数種培養液処方 that トマトの生育・収量におよぼす影響. 神奈川園試研報. 25: 52-58.
- 澤野郁夫. 1993. ウンシュウミカン栽培における2, 3の方式と問題点. 園芸学会平5秋シンポ講要. 13-25.
- 澤野郁夫・山崎俊弘・杉山和美・谷口哲微. 1998. ウンシュウミカンの根域制限栽培における土壤容積と生育, 収量および果実品質との関係. 静岡柑試研報. 27: 1-6.
- 澤野郁夫・山崎俊弘・杉山和美・谷口哲微. 2001. ウンシュウミカンの根域制限栽培における夏秋季の水ストレスが生育および果実品質に及ぼす影響. 静岡柑試研報. 30: 1-8.
- 柴田健一郎・川嶋幸喜. 2005. 樹木の樹体ジョイント仕立て法. 特開2005-304495.
- 島根県農業技術センター. 2010. 環状はく皮を利用したナシ‘幸水’の側枝更新のための新梢発生方法. 近畿中国四国推進会議成果情報.
- 須藤佐蔵. 1994a. コンテナ栽培での問題点と対策. 農耕と園芸. 49 (1) : 198-200.
- 須藤佐蔵. 1994b. オウトウのコンテナ栽培の問題点と今後の課題. 果樹種苗. 53110-14.
- 末澤克彦・若林義則. 1991. モモの果実品質に及ぼす光条件の影響. 香川農試研報. 42: 33-39.
- 杉浦俊彦. 1997. ニホンナシの気象生態反応の解析と生育予測モデルの開発. 京都大学学位論文.
- 鈴木義彦・鄭 胃鎬・小田雅行・志村 清. 1984. 底面給水による野菜の鉢育苗法. 野菜試験場報告A. 12: 155-166.
- 鈴木 富. 1989. カンキツ類のボックス栽培技術の体系化 (2) ボックス栽培用土壌の検討. 昭62常緑果樹試験成績概要集: 221~222.
- 鈴木 富・岡田長久・鈴木晴男. 1989. カンキツ類のボックス栽培技術の体系化 (1) ボックス栽培が高林早生の果実品質等に及ぼす影響. 昭62常緑果樹係試験成績概要集: 219-220.
- 高橋国昭. 1998. 物質生産理論による落葉果樹の高生産技術. p. 2-304. 農文協. 東京.
- 高木伸友. 1980a. マスカット・オブ・アレキサンドリアのガラス室栽培. 園芸シンポジウム要旨. 昭55秋 : 23-32.
- 高木伸友. 1980b. 施設ブドウ (マスカット・オブ・アレキサンドリア) の根域の設定と管理技術. 近畿中国地域における新技術. 14: 47-58.
- 田辺賢二・林 真二・伴野 潔・村尾和博. 1982. 果樹園の光環境とナシ‘二十世紀’の果実品質. 園学雑. 昭57秋: 64-65.
- 谷口哲微. 1988. ハウス内でのウンシュウボックス栽培. 農耕と園芸. 43 (7) : 172~174.
- 谷口哲微. 1990. 果樹のボックス栽培技術. p. 1-64. 新技術導入手引 (1). 農業改良資金協会.
- 谷口哲微. 1992. 防根布による根域制限栽培. p. 406の26-34. 農業技術体系 果樹編1 カンキツ 追録第7号. 農文協. 東京.
- 谷口哲微. 1993. ウンシュウミカンの根域制限栽培 (2). 農及園. 68 (5) : 48-50.
- 谷口哲微・大野文征. 1988. カンキツ類の施設栽培に関する研究 (第6報) 根域制限BOX栽培温州ミカンの発育生態品質特性. 園学雑. 57 (別2) : 42-434.
- 寺門 巖・江橋賢治. 2005. 欧州系ブドウに対する根域

- 制限と新梢に対する摘心が生育および果実品質に及ぼす影響. 茨城農総セ園研報. 13: 1-10.
- 栃木県. 1998. 栃木県農作物施肥基準. p. 33-34. 栃木県.
- 栃木県. 2001. 栃木県病害虫雑草防除基準. p. 174-181. 栃木県.
- 栃木県. 2002. 栃木県病害虫雑草防除基準. p. 187-195. 栃木県.
- 栃木県. 2003. 栃木県病害虫雑草防除基準. p. 179-187. 栃木県.
- 栃木県. 2008. 12 なし. 農業経営診断指標 平成20年版. 栃木県.
- 徳留秀昭・佐野憲二・迫田和好. 1981. 早生温州のハウス栽培に関する研究第4報糖度上昇のための灌水方法試験. 九州農研. 43: 227.
- 富田栄一・岩本和也. 1987. マーコットハウス栽培の土壌水分, 摘果, GA処理と果実肥大, 品質ならびに結果量の多少と葉成分の変化. 園学雑. 昭62秋: 34-35.
- 富田 晃・猪股雅人・新谷勝広. 2006. 垣根仕立てによるオウトウの早期多収と果実品質の均一化. 園学雑. 5 (1) : 51-55.
- 内田吉紀・高橋国昭. 1995. ナシ‘二十世紀’における物質生産と無機成分の季節変化. 島根農試研報. 29 : 125-137.
- 牛田 均・松崎朝浩・白井英清. 1996. ロックウール栽培におけるキュウリの吸水量と葉面積, 日射量との関係. 香川農試県法研報47: 25-30.
- 臼田 彰・島津忠昭・牧田 弘. 1987. 幸水の着果管理法の策定に関する研究. 第1報. 幸水の葉果比に関する試験. 園学雑. 昭62秋: 748.
- van den Ende, B., D. J. Chalmers, and P. H. Jerie. 1987. Latest developments on training and management of fruit crops on tatura trellis. Hort Science 22: 561-568.
- 渡辺文吉郎. 1963. 白紋羽病菌の生態ならびに防除に関する研究. 農林省指定試験 (病害虫) . 3: 1-110.
- 渡辺公敏. 1979. 鉢物花きかん水法. 園芸学会東海支部第25回シンポジウム集: 60-62.
- 渡辺柳蔵. 1934. 苹果樹各部比率の変化に関する一考察. 園学雑. 6 (1) : 26-34.
- 渡辺柳蔵. 1935. 苹果樹各部比率の変化に関する考察 (第2報) . 園学雑. 7 (1) : 1-11.
- 葉師寺誠司. 1968. 温州ミカンの早期多収の理論と実際. p. 245-398. 小林 章編著. 果樹の早期増収と早期出荷. 誠文堂新光社. 東京.
- 葉師寺誠司. 1970. 温州みかんの栽培密度に関する研究—計画密植栽培の基礎理論. 愛媛果試研報. 6: 1-86.
- 山西久夫. 1995. モモの省力・生産安定のための低樹高栽培技術の開発. 農業技術. 50 (3) : 114-118.
- 山下文秋・林 吾朗. 1997. 水耕トマトの低段密植栽培による周年生産 (第4報) 循環式における培養液管理技術. 愛知農総試研報. 29: 103-110.
- 山崎俊弘・澤野郁夫・杉山和美・谷口哲微. 1990. ウンシュウミカンの根域制限栽培に関する研究. (第1報) 根域制限法の違いが樹体の生育, 着花に及ぼす影響. 園学雑. 59 (別2) : 22-23.
- 米山寛一. 1980. 梨栽培の実際. p. 208-249. 農文協. 東京.
- 吉田 亮. 2008. 幼木の整枝法改善によるニホンナシ‘ゴールド二十世紀’の早期増収技術に関する研究. 鳥取園試特報. 10: 1-47.
- 吉岡四郎. 1983. 収穫適期の判定. p. 102-107. 農業技術体系 果樹編3 ナシ 西洋ナシ. 農文協. 東京.

The Development of Soil Mound Rhizosphere Restricted Culture System for Japanese Pears

Yoshio OYA

Summary

- 1 Nursery trees of 'Kousui' Japanese pears were planted on soil mounds separated from the ground by root-proof sheets to monitor the water consumption rate at each tree age and growth stage in order to develop a soil mound root restricted culture system (SM) with irrigation suitable to each tree age and growth stage in aim to establish a technique for early-high yield and high quality fruit production.
- 2 The substrate of the soil mound was a mixture of 2 volume red grain earth with 1 volumes of bark compost. Irrigation was performed by drip irrigation controlled by a computer. The irrigation system was consisted of a flow meter, a control board, a solenoid controlled valve, etc. Irrigation to the soil mound was controlled by a timer and drip irrigated. Irrigation rate was decided for each tree age and growth stage according to the absorption rate calculated from differences of the irrigation rates and exhaust volumes from the soil mounds previously measured. Irrigation was conducted 20 times a day in 40 minutes intervals through 8 irrigation nozzles placed on top of each soil mound.
- 3 The suitable soil volume for high yield of high quality Japanese pear fruit production on the SM was investigated. A soil volume of 150 L performed best on a plant spacing of 2.0 m between trees and 2.5 m between rows.
- 4 Irrigation method was investigated by monitoring daily water consumption by trees of each tree age and growth stage in order to conduct irrigation without water stress to tree growth and fruit growth. Water consumption was maximum (29.3L) from 91 to 120 days after fullbloom (DAF) on 8 year old trees. Water consumption had a high correlation with the number of leaves on the tree, hence irrigation volume could be estimated by the number of leaves. Water consumption per hour depended on solar radiation, the peak being between mid-noon and 2 pm. A manual for irrigation per hour for each growth stage was drawn up.
- 5 The effects of soil drying differed according to the growth stage of the tree. Soil drying from 31 to 60 DAF decrease irrigation volume while improving lateral flower bud induction. Drying after 61 DAF decreased fruit growth, but increased soluble solid content (Brix) of fruit juice if conducted after 91 DAF.
- 6 Nitrogen absorption rate and increase in dry matter content at each tree age was investigated to establish an effective fertilizing technique suitable for the nutrient absorption pattern of the tree. Nitrogen absorption by the tree and increase in dry matter content of the tree increased in accordance to tree age and reached 17,800 kg·ha⁻¹ and 204 kg·ha⁻¹ respectively. A nitrogen fertilizing manual suitable to tree age was drawn up. The fertilizer used was a 100 day linear type controlled release fertilizer with a dissolving pattern similar to the absorption pattern of the tree from bud break until harvest.
- 7 The effects of different training systems and culture methods on tree growth, yield and dry matter production was investigated. The investigated training systems and culture methods were as follows: 1) a two scaffold Y-shaped dense-planting system on SM of 150 L (2SY/SM), 2) a 2 scaffold Y-shaped training system in an

open field (2SY/OF), and 3) a conventional four scaffold pergola training system in an open field (4SP/OF).

Fruits from 2SY/SM had higher Brix and the yield was double of the 4SP/OF. Trees on soil mounds had more fine roots than trees in the open field to result in better tree growth. LAI increased by training in a Y shape to result in increase of dry matter production, partitioning rate of assimilates to the fruits increased by keeping the tree compact, thus resulting in high yield and high Brix.

- 8 Growth, yield and fruit quality was investigated on 'Kosui' trees from the first year to 6 years of plantation year to evaluate the early-high yielding effect on the 2SY/SM. Yield of trees on 2SY/SM was $18 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ on the second year proving its early-high yielding characteristics. The yield continued to increase in accordance with age to reach $61 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ resulting in a sum of $151 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ in 5 years, which was 8.5 times the yield of the 4SP/OF. Fruit weight and Brix were higher on trees on 2SY/SM. The cause of the early-high yield could be attributed to the facts that trees on the SM were compact to enable dense plating, had more bearing shoots with more flower buds owing to the irrigation program which suited the water consumption of the tree, increased space for the leaves to expand by training the tree to a Y shape, thus increasing the leaf number.

When 'Nikkori' trees were used, yield on the 5th year was $127 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$, an extraordinary high yield for this variety.

- 9 A capillary watering system was investigated for its possibility to decrease the introduction expenditure of the root restricted culture system. Irrigation to meet the water consumption by the tree could be fulfilled by adopting a water supplying mat with a width of 100 cm, and setting the water level 2 cm lower than the ground level. In this system, a yield of $61 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ with fruits weighing 373 g with a Brix of 12.7% could be attained. The yield was double of the conventional culture (4SP/OF) with superior fruit quality. When the pF was raised to 2.6 for 15 days after 91 DAF by lowering the water level to 8 cm below ground level, then returned to pF 1.5 by raising the water level to 2 cm below ground level, Brix could be raised without decreasing fruit weight. The capillary watering system could suppress initial expenditure of the irrigation system to 36% of the drip irrigation system.

- 10 Proof tests in three practical Japanese pear orchards were conducted in 2007 and 2008. Two growers adopted the drip irrigation system and one grower the capillary watering system. Tree growth, fruit growth and yield were the same or higher than the experiments conducted in Tochigi Agricultural Station, which was described above, hence the possibility of 2SY/SM to come into wide use is expected to be high. However, Brix was about 1% lower than fruits of Tochigi Agricultural Station, but this could be because growers harvest younger fruits. Though the 2SY/SM require greater initial expenditure than the conventional 4SP/OF, heavier yield can be attained in a younger tree age so that profit is attained much earlier, and increase in the sum of income is much greater. It could be concluded that the 2SY/SM is a culture system with high effects in improving administration.

謝 辞

宇都宮大学教授八巻良和博士には、本研究の実施に当たり終始適切な御指導を賜りました。深甚謝意を表します。

宇都宮大学教授本條均博士，東京農工大学大学院教授荻原勲博士，宇都宮大学准教授山根健治博士，茨城大学准教授井上栄一博士には本論文の校閲を賜りました。記してお礼申し上げます。

根圏制御栽培を設置し現地試験に取り組んでいただいた宇都宮市の福田修一氏，安納輝雄氏，大柿高志氏に感謝の意を表します。

本研究のとりまとめにあたり，栃木県農業試験場の元場長，関一男氏，元場長，鈴木芳博氏および現場長の鈴木崇之氏には，種々の御配慮をいただきました。衷心より感謝の意を表します。園芸技術部元部長の高橋健夫氏，現部長の稲葉幸雄博士，園芸技術部果樹研究室の元室長，金原啓一氏および現室長の三坂猛氏には終始暖かい励まし，御支援をいただき感謝申し上げます。園芸技術部果樹研究室とともに栽培管理などに携わり，多大な御尽力をいただきました研究員，技術員，パート職員および研修生の皆様に深謝いたします。また，独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構果樹研究所の皆様には，依頼研究員として在籍中，また以降も様々な御指導をいただきました。心より御礼申し上げます。