

イチジク低温障害軽減のための
栽培技術開発に関する研究

筑波大学大学院

生命環境科学研究科

先端農業技術科学専攻

博士（農学）学位論文

真野 隆司

目次

第 1 章 緒論	1
第 2 章 環状剥皮がイチジクの低温障害に及ぼす影響	9
第 1 節 緒言	9
第 2 節 材料および方法	11
第 3 節 結果	15
第 4 節 考察	18
第 5 節 摘要	23
第 3 章 栽植密度が低温障害後の収量回復および不織布 マルチ被覆による生育と果実品質に及ぼす影響	36
第 1 節 緒言	36
第 2 節 材料および方法	38
第 3 節 結果	41
第 4 節 考察	44
第 5 節 摘要	49
第 4 章 主枝高がイチジクの低温障害発生に及ぼす影響	63
第 1 節 緒言	63
第 2 節 材料および方法	64
第 3 節 結果	67
第 4 節 考察	70
第 5 節 摘要	75
第 5 章 総合考察	90
Summary	97
謝 辞	100
引用文献	102

第1章 緒論

イチジク (Fig, *Ficus carica* L.) はクワ科イチジク属の落葉小高木で、古くから栽培されてきた果樹である。その栽培はギリシャ、ローマ時代から行われてきたとされているが (Condit 1947)、さらに近年、約 11,400 年前のヨルダンの溪谷の遺跡から野生種でないイチジクが発見されており、従来最古とされてきた小麦 (約 9,000 年前) を上回る世界最古の栽培植物であるとの可能性が示唆されている (Mordechai ら 2006)。イチジクの出産地は小アジアの Caria 地方とされ、種名にも ‘*Carica*’ が用いられてきたが、現在ではアラビア半島南部の肥沃かつ半乾燥の亜熱帯地域が原産地とされている (Eisen 1901)。世界におけるイチジクの生産量は約 110 万トン、うちエジプトが最多で 35 万トン、以下トルコ 24.4 万トン、アルジェリア 8.4 万トンと続き (FAO 2009)、他の主産地もアフリカおよびヨーロッパの地中海沿岸や、アメリカ・カリフォルニア地方など、いずれも冬季温暖で年降水量、特に夏半期 (4~9 月) の降水量が比較的少ない地域である。それに比べるとわが国の気候は寒暖の変動が大きく、夏季の雨量がきわめて多いことから、イチジクの栽培に適さない (細井 1979)。従って、わが国におけるイチジクの出産地は、気候温暖かつ夏季の雨量の比較的少ない関東以西の地域に限られ、栽培北限は東北地方中部とされている。しかし近年、果物全体の消費が低迷する中であってイチジクは健康果実として比較的安定した価格で販売されていること、また比較的栽培技術も平易であるため、主に高齢者、女性を担い手とした新規イチジク栽培が全国各地で増えつつある。

国内産イチジクの栽培品種は、80%以上が ‘榊井ドーフィン’ で、残りはほとんど ‘^{ほうらいし}蓬萊柿’ が占めており、おおむねこの 2 品種で経済栽培が行われている

（松浦 1993）。このうち、‘榊井ドーフィン’は日本のみの名称であり、1909年に榊井光次郎がアメリカ、カリフォルニア州から導入したものであるが、国外では一般に‘San Piero’もしくは‘San Pedro Black’と呼称されている（Condit 1947; 佐藤 1953）。

イチジクはわが国への落葉果樹中、最も低温に弱い（平田 1986）。特に‘榊井ドーフィン’（第 1-1 図）は、イチジクのなかでもさらに低温に弱い品種である（松浦 1993）。真野ら（2010b）は、低温障害発生時におけるイチジク 45 品種の低温障害発生程度を比較し、‘榊井ドーフィン’はこれらの品種の中でも、地上部の完全芽の枯死率が最も高く、主枝背面部が胴枯れ症状をおこし崩壊する被害程度もきわめて大きいことを明らかにしている。しかしながら、‘榊井ドーフィン’は他の品種より著しく大果で、果実収量が多く生食向きである（Condit 1947）ことから、わが国での栽培が多い（佐藤 1953）とされており、現在のところ‘榊井ドーフィン’に代わる品種はない。

兵庫県は、商業栽培として‘榊井ドーフィン’が日本で初めて産地化した地域であり、2011 年現在、‘榊井ドーフィン’が導入されてから 86 年が経過している（兵庫県内務部農務課 1932）。兵庫県におけるイチジク産地の面積は 2009 年現在で 91 ha、生産量では、愛知県、和歌山県に次いで全国第 3 位となっているが、主な産地分布は県南部および淡路島の沿岸地域に限られ、内陸部での栽培は行われていない（第 1-2 図）。内陸部は気温の日較差が大きく、夜間から早朝にかけての冷え込みによって低温障害が発生するためであり、このことがイチジクの産地拡大を阻む最大の要因となっている。いったん厳しい低温障害が発生し、地上部が枯死した場合には、収穫皆無に近い状態となり、その影響

は数年間に及ぶ。また、そのような状態に達しない場合でも、主枝の先端部の枯死による樹冠の縮小、発芽不良による生育の遅延、結果枝の不着果により収量減がもたらされる。

近年の気象変動は、地球温暖化によるものとの指摘がある（環境省 2007）。この場合、落葉果樹では、ナシ、モモ、ウメなどでは開花、成熟などの生育期が前進する。リンゴ、カキ、ブドウなどでは果実の生育期が延長することによって着色不良、果肉軟化、貯蔵性低下などの問題が起きることが指摘されている。イチジクでは温暖化による低温障害の減少が指摘されている（杉浦ら 2007）。一方、内島（1991）は、近年の気象災害の特徴として気象が強度の異常値を示す例が多く、その結果として北半球における年平均気温の標準偏差が増大していることを指摘している。前述の温暖化によって想定される影響についても、気象の変動はより大きくなるとされ（環境省 2007）、平均的に地上気温は上昇すると考えられているが、その変化は均一ではなく、場所、時期、時間によっても異なり、低下する場合もある。そのため、地球表面の温度分布が変わることによって気圧配置が変わり、偏西風の蛇行などによりこれまでとは異なる気象現象が発生したり、気象現象の現れ方が変わったりすることが考えられている（環境省 2007）。

このような気象条件下で、イチジクにおける低温障害の発生は近年増加している。兵庫県においても、2008～2009 年と、2009～2010 年にかけての冬～春季に県下全域で被害が発生している。さらに近年、イチジクの販売は好調であり、その収益性が高いことから、全国的にも栽培面積は増加しつつあり、従来は栽培されてこなかった内陸の地域にも導入される動きが強まっているため、低温

障害発生危険性はさらに増大している。

イチジクの低温障害は、主枝背面部の組織崩壊もしくは芽や地上部の枯死などの症状を呈する（第 1-3 図）が、甚だしい場合には地上部全体が枯死し、数年間に及ぶ収量減となる。現在の生産現場における対策としては、稲ワラもしくはアルミ蒸着フィルム（堀本ら 1994）を樹体に直接被覆する方法が行われているが（第 1-4 図）、労力やコスト面からその実施は常襲地に限られ、何年かに一度の低温障害には十分に対応できていない。

これらのことから、わが国のイチジク栽培において低温障害を軽減、防止することは、生産拡大と産地の維持にとって極めて重要である。本研究では、第 2 章において低温障害を軽減する環状剥皮法を確立し、低温障害の発生条件を樹体の生育ステージや貯蔵養分を主体とした栄養条件の面から検討した。第 3 章では低温障害発生時の事後対策として、地上部がすべて枯死した状態からの早期回復を目指し、栽植密度を変えた超密植法を開発し、低温障害からの回復に及ぼす栽植密度の影響について検討した。同時に、超密植によって生じる強樹勢を抑制し、高品質果実を生産するために不織布マルチを樹冠下に被覆し、その効果を検討した。また、第 4 章では低温障害の軽減につながる整枝せん定法を開発し、微気象および樹体の栄養面から検討し、低温障害に強い樹形を明らかにしようとした。



第 1-1 図 イチジクの品種 ‘梶井ドーフィン’



第 1-2 図 兵庫県における主なイチジク産地の分布（数字は栽培面積）（兵庫県農産園芸課 2010 未発表）



第1－3図 低温障害の症状(A:主枝背面が崩壊したイチジク樹,
B:枯死した1年生枝)



第 1－4 図 イチジクの防寒被覆（A: 稲ワラによる防寒，B: アルミ蒸着フィルムによる防寒）

第 2 章 環状剥皮がイチジクの低温障害に及ぼす影響

第 1 節 緒言

イチジクは亜熱帯性の果樹であるため低温に弱い。大果で果実収量が多く、国内産イチジクの大部分を占める‘榊井ドーフィン’は、‘蓬莱柿’より耐寒性が劣るため（松浦 1993）、冬季温暖で気温の下がらない沿岸部を中心に産地が形成されてきた。しかし、近年イチジク果実の販売が比較的好調なことや、転作作物としての有利性が認識されてきたため、従来では不適地とされた内陸部まで栽培されるようになり、低温障害を受ける事例が増加している。

イチジクの低温障害に関して、栗村・正田（1994）は冬から春季における耐凍性の変化を報告し、春の低温の影響がより大きいことを報告している。また、堀本ら（1994）は防寒資材の効果を検討しているが、耐凍性に影響する要因として重要とされる貯蔵養分（黒田 1988）について、耐凍性との関連を検討したものはない。そこで本章では、イチジクの低温障害防止技術を開発するための基礎的な知見を得ることを目的に、環状剥皮の効果を検討した。環状剥皮は、形成層から外側の樹皮に一定の幅で傷を入れ、これを除去するものである。木部を通じて根からの養水分の上昇は行われるが、同化産物の下降は環状剥皮によって制限され、剥皮部より上部における貯蔵養分の蓄積を促す。

試験 1 では、秋季に環状剥皮処理を行い、環状剥皮部の上部で切断した 1 年生枝を挿し木材料とし、挿し木育苗時における低温障害の発生状況を検討した。試験 2 では、試験 1 と同様に、環状剥皮を行った後に切断して調整した 1 年生枝に対して、低温障害が発生しやすい萌芽期に低温処理を行い、試験 1 での低

低温障害発生温度や発生程度を精査した。さらに試験 3 では、圃場に定植した苗木に対して秋季に環状剥皮処理を行い、越冬期間中の低温障害発生に及ぼす影響を検討した。

第2節 材料および方法

1．環状剥皮がイチジク挿し穂の野外での萌芽と低温障害発生に及ぼす影響（試験1）

1995年10月1日に、兵庫県姫路市山田町の農家圃場において、8年生のイチジク‘梣井ドーフィン’の1年生枝30本の基部（元から2～3節目）に幅1cmの環状剥皮を行い（第2-1図）、12月14日に環状剥皮部の上部で切断後、同町の姫路市立園芸センター内圃場の土中に埋没させて貯蔵した。また、環状剥皮をしていない1年生枝（無処理区）を、同様に30本採取して土中に貯蔵した。これらの枝を1996年4月10日に掘り出した後、挿し木用の穂木を作成した。作成方法は、各枝の先端と元部約10cm程度を除く部位を先端部から上、中、下位節に3等分し、3節位とも3～4節、長さ約15cmに調整した。穂木の芽は先端の1芽のみを残し、他の芽（2～3芽）は削り取った。このようにして、各区80本の挿し穂を調製し、兵庫県姫路市山田町の姫路市立園芸センター内の露地圃場に設けた苗床に4月11日に挿し木した。挿し木後の調査は、4月18日、5月2日に行った。なお、この間の4月21日には0.6℃（最低気温）を記録する低温があった。4月18日には穂木の萌芽率と萌芽した芽の生育ステージを調査し、5月2日には低温障害によると推定される挿し穂の枯死率と生存し萌芽した挿し穂の生育ステージを調査した。なお、生育ステージは堀本ら（1994）が作成した基準を利用し（第2-1表、第2-2図）、萌芽の指標とした。生育ステージ2に達した時点を、挿し穂からの萌芽とした。

2．環状剥皮がイチジク挿し穂の貯蔵養分と萌芽および耐凍性に及ぼす影響（試験2）

2001 年 10 月 2 日に兵庫県加西市別府町の兵庫県立農林水産技術総合センター内の圃場において、6 年生イチジク‘梣井ドーフィン’の 1 年生枝 36 本の基部（枝元から 2～3 節目）に幅 1 cm の環状剥皮を行い、12 月 24 日に環状剥皮部の上部で切断後、湿潤を保つためにポリエチレン袋に密封し、4℃ に設定した暗黒の冷蔵庫内で貯蔵した。また、環状剥皮をしていない 1 年生枝（無処理区）も同様に 36 本採取し、4℃ で貯蔵した。

これらの枝を 2002 年 2 月 25 日に出庫後、環状剥皮区および無処理区ともにそれぞれ 31 本を供試し、挿し木用の穂木を作成した。すなわち、各枝を先端部から上、中、下位節に 3 等分し、3 節位とも 3～4 節、長さ約 15 cm に調製した。芽はいずれの節位の枝についても先端の 1 芽のみを残し、他の芽（2～3 芽）は削り取った。

上記の条件で調製した穂木を、川砂が入ったポット（容量 8 L）に挿し、2 月 25 日から 25℃ に設定した自然光人工気象室において加温し、萌芽させた。萌芽は試験 1 と同じ基準を利用し（第 2-1 表）、生育ステージ 2 に達した時点を挿し木からの萌芽所要日数とした。これらの挿し木個体を、加温開始後 18～24 日後（3 月 15～21 日）にポットのまま恒温器に搬入し、低温処理を行った。処理温度は 0℃、-1℃、-2℃、-3℃、-4℃、-5℃、-7℃（-2℃、-3℃、-4℃ は 5 反復、それ以外は 4 反復）とした。低温処理は、φ 0.1 mm の銅・コンスタンタン熱電対で芽の温度を測定しながら庫内温度を調節し、所定の温度に達してから 2 時間処理した。低温処理後は直ちに 25℃ 自然光下に戻し、処理 5 日後に芽を切断し、褐変の程度によって芽の生死を判定した。

貯蔵養分の分析は、冷蔵庫から出庫時に以下の方法で行った。そのフローチ

ヤートを第 2-3 図に示す。環状剥皮区および無処理区ともに 5 本の枝を供試し、各枝を挿し穂の調製と同様の方法で上、中、下位節に分けた。各枝は 60°C で 48 時間乾燥した後、秤量し、乾燥前の新鮮重で除して乾物率 (%) を計算した。これら乾燥した材料を粉碎後 80%メタノールで抽出し、遠心分離 (10,000 rpm, 10 分×3 回) 後、その抽出液を糖の定量に、残渣をデンプンの定量に供した。

乾燥させた残渣 0.3 g を 5 mL のジメチルスルホキシド (DMSO) を加えて沸騰水で 30 分加熱し、遠心分離 (10,000 rpm, 10 分) により上澄み液を採取後、残渣に再度 5 mL の DMSO を加え、遠心分離を 2 回繰り返してデンプンを抽出した。この抽出液を水で 100 mL に定容し、食品分析酵素試薬 (F-キットスターチ, ロシュ・ダイアグノスティックス) によってデンプン含量を定量した。すなわち、試料溶液にアミログルコシダーゼとクエン酸バッファーを添加し、55 ~60°C で 15 分間湯浴してデンプンをグルコースに加水分解した。次に、トリエタノールアミンバッファー (pH 7.8)、アデノシン 5'-3 リン酸、および、酸化型ニコチンアミドアデニンジヌクレオチドリン酸を添加し、これにヘキソキナーゼを加えてグルコース-6-リン酸を生成させた。これにグルコース-6-リン酸脱水素酵素を加え、生成した還元型ニコチンアミドアデニンジヌクレオチドリン酸の増加量を分光光度計で測定した。キュベットの光路長 1 cm、温度 20~25°C で、340 nm の吸光度を記録した。

糖は、フェノール硫酸法 (Dubois ら 1956) で定量した。すなわち、前述の 80%メタノール抽出液を水で 100 mL に定容した試料 1 mL に、1 mL の 5%フェノールおよび 5 mL の濃硫酸を加え、30 分室温で放置し発色させて分光光度計で測定した。キュベットの光路長 1 cm、温度 20~25°C で、490 nm の吸光度を記録し

た。なお、検量線作成はグルコースで行い、糖含量はグルコース換算とした。

以上の貯蔵養分の分析は、3 反復行った。

3 . 環状剥皮が野外でのイチジク幼木の凍害発生に及ぼす影響（試験 3）

苗木に対する環状剥皮の影響を調べるため、2002 年 4 月 2 日に兵庫県加西市別府町の兵庫県立農林水産技術総合センター内の露地圃場に栽植したイチジク‘榊井ドーフィン’1 年生 16 樹を供試した。発芽約 1 か月後に芽かきして 1 年生枝数を樹当たり 2 本に揃え、このうち 8 樹を用い、同年 10 月 11 日に主幹部（地際部から約 30 cm）に幅約 5 mm の環状剥皮を行い、残りの 8 樹を環状剥皮しない無処理区とした。また、全樹について 12 月 1 日に先端部の約 3 分の 1 を切除した。翌 2003 年 5 月 2 日に、萌芽と低温障害の発生調査を行った。萌芽の状況判定は前述の第 2-1 表を適用し、低温障害の発生程度の判定には、各樹の 1 年生枝上の完全芽における褐変の状況調査を行った。また、切除した新梢先端部は、12 月 2 日に貯蔵養分の測定に供した。測定法は試験 2 と同じ方法で乾物率を測定するとともに、デンプンと糖の定量を行った（1 区 1 樹 8 反復）。

第3節 結果

1．環状剥皮がイチジク挿し穂の野外での萌芽と低温障害発生に及ぼす影響（試験1）

1995年10月1日に環状剥皮を行った1年生枝では、せん定を行った12月14日までに剥皮部位の癒合は認められなかった。また、落葉期には無処理区の葉が緑色のままであったのに対し、環状剥皮区の葉は黄色に紅葉した（第2-4図）。挿し木後1週間が経過した1996年4月18日には、萌芽する個体が確認された。特に無処理区では環状剥皮区より生育ステージが進み、萌芽率が高く明らかに萌芽が早かった（第2-2表）。しかし、その後4月21日には最低気温が0.6℃となる冷えこみがあり、4月25日には、低温障害による穂木の芽の枯死が確認された（データ略）。5月2日には無処理区の個体は8割以上が枯死したが、環状剥皮区の枯死率は無処理区より少なく、5割程度であった。また、生存して萌芽した個体の生育ステージは、両試験区間に差はなかった（第2-2表）。

2．環状剥皮がイチジク挿し穂の貯蔵養分と萌芽および耐凍性に及ぼす影響（試験2）

2001年10月2日に環状剥皮を行った1年生枝において、せん定を行った12月4日までに剥皮部位の癒合は、試験1と同様に認められなかった。

供試個体の萌芽の早晚には、試験区によって明らかな違いが認められた。環状剥皮区の萌芽は、無処理区のそれより総じて遅く、特に中下位節は挿し木後20日を経過しても未萌芽の個体が多かった。このため環状剥皮区では、低温処理時点の生育ステージも進まず、特に下位節ほどその傾向は強かった（第2-3

表)。なお、これらの供試個体には、試験終了時においても不定根の発根は認められなかった（データ略）。

第2-4表には、環状剥皮が耐凍性に及ぼす影響を、挿し穂を採取した節位別に示した。低温処理した結果、環状剥皮処理、無処理区とも0～-2℃では枯死する芽は認められなかったが、-3℃以下では低温障害による枯死が確認された。-3℃では-4℃以下に比べ枯死率は低かったが、-4℃以下の各区では処理温度と低温障害の発生には一定の傾向は確認されなかった。また、環状剥皮区中位節の枯死率は無処理区の上中位節の枯死率より有意に低かった。そこで、この原因を精査するために、低温処理の結果を環状剥皮処理の有無と処理開始時点における芽の生育ステージ別、すなわち萌芽前（0～1）、萌芽後（2～4）、展葉後（5～6）に分けて示したものが第2-5表である。ただし、0～-2℃処理ではいずれの生育ステージの個体も枯死するものがなかったため、この表では省略した。同じ温度では生育ステージが進むほど枯死率は上昇した。例えば、無処理区の個体を-3℃で処理した場合、生育ステージ0～1では枯死する個体はなかったが、生育ステージ2～4にかけて枯死する個体が現れ、生育ステージ5以上では全個体が枯死した。また、環状剥皮区の生育ステージ0～1では無処理区より低温障害発生率が低かったが、その他の生育ステージでは差はなかった（第2-5表）。

挿し穂の乾物率は、無処理区では上位節で低く、下位節で高くなった。一方、環状剥皮区の乾物率も上位節が低くなったが、中位節の乾物率は下位節と差がなかった。また、環状剥皮区は無処理区よりも各節位の乾物率が有意に高かった（第2-6表）。

環状剥皮区のデンプン含量は、各節位とも無処理区に比べて有意に高かった。特に、環状剥皮区の中位節は、最も少ない無処理区の上位節の 10 倍近い含量であった。糖含量は、デンプン含量ほど処理区間の差はなかったが、上位節では環状剥皮区が高かった（第 2-6 表）。

3 . 環状剥皮が野外でのイチジク幼木の凍害発生に及ぼす影響（試験 3）

2003 年 1 月上旬に低温（1 月 6、7 日の両日に最低気温 -6.9°C を記録）となったため、供試樹には低温障害が発生し、2 月中旬には褐変して枯死した部位が確認できた（第 1-3 図 B）。環状剥皮区では無処理区より低温障害の発生は少なく、枯死した芽の率は約 4 分の 1 であった（第 2-7 表）。一方、当年の 4 月上中旬の萌芽期は比較的気温が高く、氷点下もしくは氷点下に近い気温を記録する冷え込みはなかった（データ略）。また、環状剥皮区の萌芽は、無処理区よりも約 1 週間遅く、5 月 2 日時点の生育ステージも無処理より遅れていた（第 2-7 表）。なお、試験終了後の供試樹は剥皮部の癒合が悪く、生育不良で 8 樹中 1 樹が枯死した。

この供試樹の 1 年生枝先端部の乾物率は、環状剥皮によって明らかに増加した。また、環状剥皮区のほうがデンプン含量、糖含量ともに高く、特にデンプン含量は無処理区との差が大きかった（第 2-8 表）。

第4節 考察

試験1では挿し木後1週間で供試個体の萌芽が確認されたが、試験2では早い試験区でも萌芽に2週間程度を要した。試験1は、穂木の貯蔵を屋外の土中に埋めて行ったため、3月末における平均地温は10°Cを超えており(データ略)、試験2で使用した冷蔵庫(4°C)より貯蔵温度が高く、内的な生育が進んでいたと考えられる。さらに、試験1では挿し木1週間後の生育ステージで、試験2では萌芽の所要日数で萌芽の早晚を比較したが、試験1、2とも環状剥皮区の方が明らかに遅かった。この傾向は苗木を用いた試験3においても同様であり、環状剥皮によって萌芽が遅れることが明らかになった。

試験1において、4月21日に記録された気温は0.6°Cであったが、この時イチジクが挿し木された地表面の温度は放射冷却により気温よりさらに低く、-3~-4°C程度に冷え込んだものと考えられる。また、5月2日の時点で生き残った芽の生育ステージには両区間で差がなかったことから、生育ステージの進んだ芽が低温障害を受けて枯死し、まだ萌芽にいたっていない個体が残った結果、両区とも同じように進んだものと考えられる。

実際に温度設定を行って、低温に遭遇させた試験2では、萌芽期のイチジクは-3°C以下で低温障害が発生した。これは、栗村・正田(1994)がポット苗木で行った結果とよく一致していた。これらの低温処理による芽の枯死率は、試験1と同様に環状剥皮によって減少する傾向が認められた。しかし、環状剥皮区の芽も、生育ステージが進めば低温障害を受けることが明らかになった。萌芽期において耐凍性が大きく弱まる生育ステージの境界は、無処理区、環状剥皮区ともに芽の緑化が明らかになる生育ステージ2~4であり、その温度は-3°C

以下であると判断された。従って、試験 1、2 で環状剥皮区の萌芽が無処理区より遅く、低温障害を受ける生育ステージに達していない芽が多いことが、イチジクの環状剥皮区に萌芽期の低温障害が少ない第一の理由と考えられた。また、試験 2 においては、 -4°C 以下では処理温度と低温障害の発生に一定の傾向は確認されなかったが、これは、各処理温度における穂木の生育ステージにばらつきがあり、生育ステージ 0~1 の穂木が多い処理温度において枯死率が低くなったことが原因であると考えられる。

カキでは、春の萌芽が早い‘平核無’は他品種にくらべて特に晩霜害を受けやすいことが知られている（大西・岩本 1997）が、換言すれば、萌芽の遅くなる条件では低温障害を受けにくいと推察される。試験 3 で実際に栽植した苗木においても、その萌芽は環状剥皮処理によって遅れる傾向にあり、挿し木で行った試験 1、2 の結果とよく一致していた。また、下位節の芽ほど挿し木後の萌芽が遅いことは、イチジクでは Kawamata ら（2002）、ブドウでは堀内ら（1981）が指摘している。萌芽が遅ければ、自然条件下では低温感受性の生育ステージで、春先に低温に遭遇する確率が低くなると考えられる。

試験 3 では、萌芽期より以前の厳寒期における低温障害について、環状剥皮の効果を明らかにできた。2002~2003 年冬季の最低気温は 1 月上旬に約 -7°C まで下がったが、実際の樹体は放射冷却によってさらに $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 冷却された可能性がある。栗村・正田（1994）、堀本ら（1994）によれば、休眠状態のイチジクの芽は -10°C 前後で枯死するとしており、2 月中旬には栽植した苗木に低温障害の症状がすでに発現していることから、この時点で低温障害が発生したものと考えられる。

なお、栽培現場において春先の萌芽に至らない時期の低温でも低温障害が発生することがある。堀本・荒木（1999）は、クリの冬～春季の凍害発生には、樹体内の水分の増加が密接に関係し、外観上は休眠していても樹体内は活動し、枝水分の多い個体ほど耐凍性が弱いことを明らかにしており、イチジクでも同様の現象が生じている可能性がある。樹体内の水分含量が低温障害に及ぼす影響については、今後の検討が必要である。

環状剥皮は、形成層から外側の樹皮に一定の幅で傷を入れてこれを除去するもので、同化産物の下降を制限することによる樹勢抑制効果がモモ（Fernandez-Escobar ら 1987; 水田ら 2002）、カキ（内藤ら 1981）などで認められ、花芽形成の促進、結実促進や果実肥大、品質向上効果がカンキツ（Cohen 1984 a, b; 大崎・佐宗 1942）、ブドウ（山根・柴山 2007）などで報告されている。本章では、環状剥皮処理によって糖含量、デンプン含量ともに増加した。特にデンプン含量の増加は著しかった。この原因は、環状剥皮の処理時期が貯蔵養分の蓄積期に当たる 10 月初めからであり、剥皮部は枝を採取した 12 月までに癒合しなかったため、光合成産物の転流が抑制され、貯蔵養分が顕著に蓄積したためであると考えられる。処理枝の葉が黄色化した現象も、蓄積した貯蔵養分が何らかの影響を及ぼした可能性があるが、この点についてはさらなる検討が必要である。また、乾物率も処理にともなって増加した。この時期は枝上に果実がほとんど存在せず、新梢伸長も停止した時期であるため、乾物の分配もほとんど枝中に集中し、乾物率が高まったものと推察された。

一方、本章の結果のように、環状剥皮によって萌芽が遅くなるという報告はなく、その理由についても知見に乏しいが、貯蔵養分と芽の休眠との関係につ

いてはいくつかの報告がある。高馬・北沢（1953）は、ブドウの枝中のデンプン濃度は休眠の最も深い 10 月上旬に最も高く、その後減少して還元糖およびショ糖濃度が高くなり、休眠が完了するとしている。イチジクにおいては、Kawamata ら（2002）が、芽の自発休眠導入期に当たる 10 月下旬に最もデンプン含量が多く、アブシジン酸（ABA）含量もこの時期が最も多いとしている。同時に、最も休眠の深い 11 月下旬には、本章と同じ 25°C 下における挿し木の萌芽所要日数が最長で 28 日であったとしている。これらのことから、環状剥皮により貯蔵養分、特にデンプンの多い節位では休眠が深く、そのことが萌芽の遅延と関係している可能性がある。しかし、本章では経時的に貯蔵養分の変化を測定しておらず、これらの知見との整合性は明確ではなかった。

試験 2 では、環状剥皮の効果を芽の生育ステージ別に比較した場合、早期の生育ステージ（0～1）では環状剥皮処理によって耐凍性自体も高まる可能性が示された。試験 3 では、イチジク幼木に環状剥皮を行った結果、厳寒期の 1 月上旬に発生したと考えられる低温障害も軽減された。また、試験 2、3 とも貯蔵養分は無処理のものより明らかに多かった。

木本類では糖含量の増加に応じて耐凍性が向上し（酒井 1957; Sakai 1962）、リンゴでも同様の結果が認められている（黒田ら 1985）。また、秋季に蓄積されたデンプン含量は越冬中の糖含量に大きく影響するため、越冬中の耐凍性はデンプン含量が多いほど高いことがクリ（沢野 1971）、リンゴ（黒田ら 1985）などで認められている。試験 3 の結果は、これらの傾向とよく一致しており、これらのことから、環状剥皮は貯蔵養分含量を高め、イチジクにおいても耐凍性を高めたと判断される。ただし、厳寒期の貯蔵養分や内的な生育ステージの

経時的变化については明らかになっておらず、また処理温度別、生育ステージ別の供試サンプル数も少ないため、この点に関しては再度検討を要する。

環状剥皮の効果は、貯蔵養分と同時に植物ホルモンの転流にも大きく影響するため、そのどちらが生育への影響の主因となっているのかは未だに明らかではない（Goren ら 2004）。環状剥皮にともなう植物ホルモンの動きとしては、剥皮部上部におけるサイトカイニンの減少があげられ（Cutting and Lyne 1993; Dann ら 1984）、その他ジベレリンやオーキシン、ABA などの植物ホルモンの動きについての知見もあるが、相反する結果や断片的な知見が多い（Goren ら 2004）。しかし、植物ホルモンも耐凍性に何らかの影響を及ぼすことが知られており、オーキシン、ジベレリンは耐凍性に抑制的に、ABA は促進的に作用するとされる（黒田 1988）。従って、本章の環状剥皮が引き起こした萌芽の遅延や耐凍性の増大にも植物ホルモンの動態が関与した可能性もあり、今後これらの植物ホルモンを人為的に与えるなどの試験も必要である。

ブドウでは、環状剥皮は光合成産物の移行を妨げ、根の発育を著しく害する（小林 1942）。試験 3 のイチジク苗木においてもこれと同様の現象が生じたため、翌年の生育期において生育不良を起こすとともに、萌芽も遅れた可能性がある。従って、実用面では低温障害を回避し、かつ樹勢の衰弱を防止するための適正な剥皮幅の検討が重要である。なお、本試験は苗木での結果であり、成木での効果も今後検討する必要がある。

第5節 摘要

イチジク‘柵井ドーフィン’に対する環状剥皮が低温障害の発生に及ぼす影響を検討した。露地圃場の挿し木個体は萌芽期の低温障害を受けたが、前年の秋季に環状剥皮処理を行った挿し穂を用いると、萌芽が遅くなり低温障害が軽減された。また、ポットの挿し木個体について、萌芽期に低温処理を行った結果、 -3°C 以下で枯死する芽が発生した。しかし、前年の秋季に環状剥皮を施し、かつ、より下位節から採取した挿し穂の方が糖やデンプン含量が高く、遅く萌芽して芽の枯死が少なかった。さらに、露地圃場に定植した幼木についても、秋季に環状剥皮を行った枝の糖とデンプン含量が高く、厳寒期の低温障害が少なかった。以上より、イチジク‘柵井ドーフィン’に対する環状剥皮処理は、休眠枝の貯蔵養分を高め、その生育ステージが遅延することによって、萌芽期や厳寒期の低温障害を軽減する効果があると考えられた。

第2-1表 イチジクの芽の生育ステージ
判定基準(堀本ら, 1994)

-
- | |
|----------------------|
| 0: 未発芽 |
| 1: ややふくらむ |
| 2: ややふくらみ, 一部緑化が見られる |
| 3: 全体が緑化し, ふくらむ |
| 4: 緑がふくらみ, 葉の一部がのぞく |
| 5: 葉が1枚展葉(葉先が芽から離れる) |
| 6: 葉が2枚展葉 |
-

第2-2表 環状剥皮がイチジク挿し穂の野外での萌芽と
低温障害発生に及ぼす影響(1996年)

試験区	4月18日		5月2日	
	生育ステージ	萌芽率(%)	生育ステージ ^z	枯死率(%)
無処理	3.4	77.5	3.6	87.5
環状剥皮	1.8	42.5	3.1	53.7
有意性 ^y	* *	* *	N.S.	* *

^z 5月2日の生育ステージの値は, 生存して萌芽した穂木の平均

^y * *: 1%水準で有意差あり, N.S.: 有意差なし

(生育ステージはt-検定法, 萌芽率, 枯死率は χ^2 検定法)

第2-3表 環状剥皮がイチジク挿し穂の節位別の萌芽に及ぼす影響(2002年)

試験区	節位	萌芽 所要日数	低温処理時点の 生育ステージ
無処理	上	13.2 a ^z	3.6 d
	中	14.7 ab	3.6 d
	下	16.1 b	2.6 c
環状剥皮	上	20.1 c	1.8 b
	中	23.5 d	1.5 b
	下	24.4 d	0.7 a

^z アルファベットの異符号間には5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定法)

第2-4表 環状剥皮がイチジク挿し穂の節位別の耐凍性に及ぼす影響(2002年)

試験区	節位	処理温度(°C)							有意性 ^y
		0	-1	-2	-3	-4	-5	-7	
無処理	上	0 ^z	0	0	60	100	100	100	b
	中	0	0	0	40	100	75	100	b
	下	0	0	0	40	100	75	75	ab
環状剥皮	上	0	0	0	40	100	75	100	ab
	中	0	0	0	20	40	25	0	a
	下	0	0	0	0	100	25	50	ab
有意性 ^y		a	a	a	b	c	c	c	

^z 数字は芽の枯死率(%)

^y アルファベットの異符号間には5%水準で有意差あり
(Arcsin-Radian変換後Tukeyの多重検定法)

第2-5表 環状剥皮がイチジク挿し穂の生育ステージ別の耐凍性に及ぼす影響(2002年)

試験区	生育 ステージ	処理温度(°C)				有意性 ^y
		-3	-4	-5	-7	
無処理	0～1	0.0 ^z	33.3	50.0	80.0	b
	2～4	30.0	100.0	100.0	100.0	c
	5～6	100.0	100.0	100.0	100.0	c
環状剥皮	0～1	0.0	25.0	28.6	14.3	a
	2～4	20.0	87.5	100.0	75.0	bc
	5～6	100.0	100.0	100.0	100.0	c
有意性 ^y		a	b	b	b	

^z 数字は芽の枯死率(%)

^y アルファベットの異符号間は5%水準で有意差あり
(Arcsin-Radian変換後Tukeyの多重検定法)

第2-6表 環状剥皮がイチジク挿し穂の節位別の乾物率と
貯蔵養分に及ぼす影響(2002年)

試験区	節位	乾物率 (%)	デンプン含量 (mg/g・fw)	糖含量 (mg/g・fw)
無処理	上	37.4 a ^z	8.1 a	28.8 a
	中	41.1 b	13.4 a	49.2 c
	下	42.6 c	26.4 b	49.2 c
環状剥皮	上	41.5 b	26.6 b	39.2 b
	中	45.9 d	78.9 d	58.4 c
	下	45.0 d	49.8 c	56.7 c

^z アルファベットの異符号間には5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定法)

第2-7表 環状剥皮がイチジク幼木の萌芽と厳寒期の
低温障害発生に及ぼす影響(2003年)

試験区	萌芽日	生育ステージ (5月2日)	枯死芽率 ^z (%)
無処理	4月19日	4.1	34.1
環状剥皮	4月26日	2.8	7.8
有意性 ^y	* *	* *	* *

^z 1年生枝上の完全芽の枯死率

^y * *: 1%水準で有意差あり(生育ステージはt-検定法,
枯死芽率は χ^2 検定法)

第2-8表 環状剥皮がイチジク幼木枝の乾物率と
貯蔵養分に及ぼす影響(2003年)

試験区	乾物率 (%)	デンプン含量 (mg/g・fw)	糖含量 (mg/g・fw)
無処理	32.1	6.9	21.7
環状剥皮	39.4	23.5	33.3
有意性 ^z	* *	* *	* *

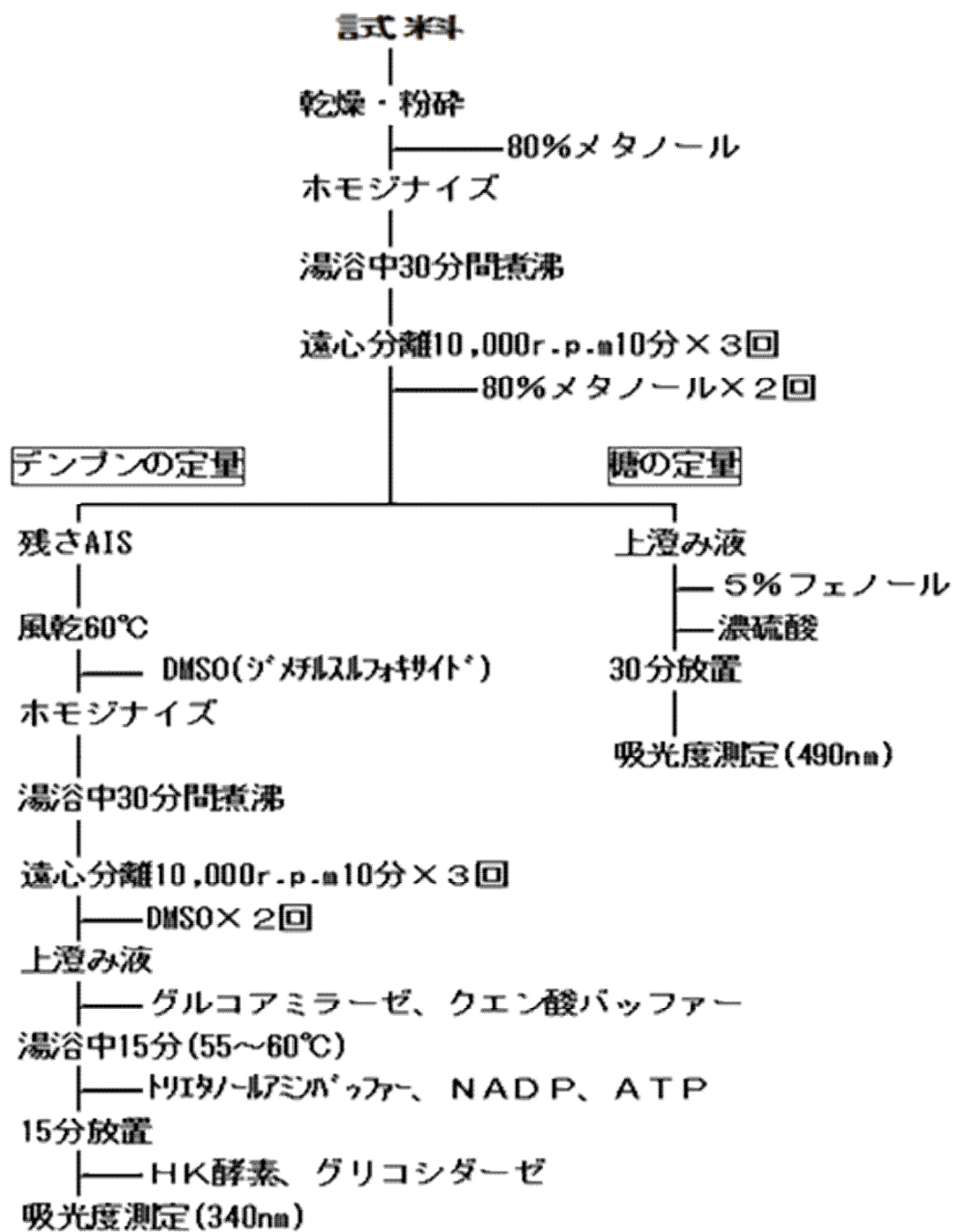
^z * * : 1%水準で有意差あり(t-検定法)



第 2-1 図 イチジク 1 年生枝に対する環状剥皮
(白矢印は剥皮部位かつ切断部位)



第 2-2 図 イチジクの萌芽状況 (A : 生育ステージ 0,
B : 生育ステージ 3, C : 生育ステージ 5)



第 2-3 図 デンプンと糖の定量法



第 2-4 図 イチジク 1 年生枝に対する環状剥皮が落葉期の
葉色に及ぼす影響 (右:環状剥皮枝, 左:無処理枝)

第3章 栽植密度が低温障害後の収量回復および不織布マルチ被覆による生育と果実品質に及ぼす影響

第1節 緒言

現在、イチジク‘榊井ドーフィン’は、その多くが一文字整枝法で栽培されている。本整枝法は樹高が低く、結果枝の高さと配列がほぼ一定であるため、作業性に優れている（中岡 1986）。一文字整枝法の栽植距離については、通路の作業性や光環境面で列間の検討がなされ、1.5～2.0 m が好適とされている（株本 1986）。しかし株間の栽植距離については、土壌条件や経営上の目標収量など、現場の経験に基づいて 4.0～6.0 m とされているものの、その根拠について詳細に調べた研究は少なく、栽植密度に関する試験としては、真野・濱田（2005）のほか、Yamakura ら（2008a, b）が報告している程度である。その中で真野・濱田（2005）および真野ら（2011）は、早期成園化を目的に通常の栽植密度（1.8 m×4.0 m）の2倍（1.8 m×2.0 m）から5倍（1.8 m×0.8 m）の超密植栽培を検討し、開園後2年目での成園化の達成と、いや地条件下における超密植栽培の有効性について明らかにしている。

第1章でも述べたように、低温障害の症状は、発芽不良、枝の枯死、主枝背面部の組織崩壊などとなって現れるが、甚だしい場合には地上部全体が枯死し、数年間にわたり収量減となる。そのため、被害を受けなかった主幹部や地際部から新たに発生する新梢を主枝として利用し、再度樹冠を構築するが、再び成園化するまで3～4年を要し、その間減収となる。

そこで、低温障害による減収を軽減する目的で、2005～2006 年にかけての冬季に発生した低温障害によって、大きく地上部が枯れ込んだ状態から、株間 0.8～2.0 m の超密植栽培における収量の回復状況を調査し、再度の早期成園化による収量回復が可能であるかを検討した。

一方、超密植栽培においては、栽植密度が高いほど強せん定となるため、樹勢が過度に強くなり（小林 1971）、葉面積（LAI）が増大することによって樹冠内部への日射量が低下し（株本 1986）、着色、糖度などの果実品質が低下することが想定される。近年、不織布製で白色のマルチシートが開発され、果樹でも地表面にマルチを行い、根圏土壌への水分供給を遮断して品質向上を図る技術がカンキツ（森永 2004）、オウトウ（山本ら 2008）などで普及している。カンキツでは糖度の上昇など果実品質の向上が、オウトウでは果実品質の向上に加え裂果の軽減効果が認められている。イチジクにおける不織布マルチの利用については、生育期に樹冠下に被覆し、着色、糖度などの果実品質および日持ちの向上、アザミウマ類の果実内侵入を防止する効果が認められている（真野 2004; 真野・濱田 2003）。しかし、不織布マルチ被覆が樹体の生育や土壌環境に与える影響、さらには不織布マルチ被覆下での水分管理法は明らかになっていない。

そこで、超密植により強樹勢となったイチジク樹に対して不織布マルチを行い、不織布マルチが樹体の生育と果実品質に与える影響を検討するとともに、強樹勢を抑制する手段としての不織布マルチ栽培の可能性を検討した。

第 2 節 材料および方法

1 . 栽植密度とイチジクの低温障害後の収量回復との関係（試験 1）

兵庫県立農林水産技術総合センター内圃場において、最初の定植である 1986 年に植え付けたイチジクの第 1 回目の改植を 1997 年に行った。さらに第 2 回目の改植を 2001 年に行い、この際に栽植密度を変えて本試験を実施した。栽植は‘榊井ドーフィン’1 年生苗を用い、3 月 10 日に栽植した。栽植間隔は、株間 0.8 および 2.0 m と、対照区として慣行の株間である 4.0 m に栽植した。栽植樹数は各区 12、8、8 樹とした。列間は、各区とも一文字整枝の標準とされる 1.8 m とした（株本 1986）。植え付け当年は各試験樹ともに新梢数を 2 本に制限し、2 年目以降は、株間 0.8 m 区は片側 30 cm までの短い主枝を 2 本配置し、主枝 1 本につき結果枝 2 本を主枝の左右交互にほぼ 20 cm 間隔になるよう、合計 4 本配置して果実を着果させた（第 3-1 図、第 3-2 図）。一方、2.0 m 区、4.0 m 区は慣行の一文字整枝法（株本 1986）に準じて主枝延長枝を約 1/3 切除し、0.8 m 区と同様、主枝の左右交互にほぼ 20 cm 間隔で結果枝を配置した。この処理を主枝延長枝が隣接樹に達するまで繰り返し、最終的な結果枝密度は、各区とも 2,778 本/10 a となるように調整した。すなわち、0.8 m 区で 4 本/樹、2.0 m 区で 10 本/樹、慣行の 4.0 m 区で 20 本/樹を目標結果枝本数とした。結果母枝のせん定は、通常の一文字整枝と同じく、基部の 1~2 芽で強く切り返した。各区の棚は一文字整枝樹の棚をそのまま使用し、結果枝の管理については、通常の一文字整枝と同様に上方に結果枝を立てて誘引した。また、主枝延長枝以外は 20 節で摘心し、副梢は発生時に随時除去した。各区の施肥は、毎年 2 月に元肥として緩効性化成肥料（N : P₂O₅ : K₂O = 8 : 8 : 8）を成分量で 16 kg/10 a 施用

し、6 月に追肥として、速効性化成肥料（N : P₂O₅ : K₂O = 15 : 15 : 15）を成分量で 3 kg/10 a 施用した。また、11 月に苦土石灰 100 kg/10 a を施用した。

これらの試験区において、第 2 回目の改植（2001 年）から 5 年目の冬に当たる 2005～2006 年の冬季に、低温障害を受けて地上部が大きく枯れ込んだ被害樹を（第 3-3 図 A）各区 3 樹選び、枯死した主枝を切除し（第 3-3 図 B）、残った主幹から発生した不定芽の新梢を 4 本残して結果枝とした（2006 年：低温障害後 1 年）。2 年目は、0.8 m 区は結果枝 4 本をそのまま 1、2 芽を残して短く切り返した。2.0 m 区、4.0 m 区は 2 本の結果枝を主枝候補枝として残し、慣行の一文字整枝法に準じて先端から約 1/3 を切除した。この主枝の左右交互に、約 20 cm 間隔で結果枝を配置した（2007 年：低温障害後 2 年）。

各年次とも落葉後に、各試験区の 1 樹につき 4 本の結果枝の新梢長、新梢上の副梢数（除去した数を含む）、新梢基部の直径および着果開始節位を調査した。また、結果枝の下位節から数えた着果開始節位と収穫時期についても調査した。

果実は各樹の収穫果数と収量を測定し、それぞれ結果枝当たり果数、10 a 当たり換算収量として算出した。果実品質は、各樹につき 1 結果枝を無作為に選び、成熟したすべての果実（n = 10～15 個/枝）について、果実重、果実の縦径、横径、および果頂部の目の裂開の大きさ（最大のものの長さ と 幅）、果皮色、果汁糖度を測定した。果皮色は、イチジク果実用の農林水産省果樹試験場基準カラーチャート（中川ら 1982）の値で評価した。糖度は、果実赤道面の花托と小花の部位をコルクボーラーで打ち抜き、搾汁したものを屈折糖度計で測定した。

2. 不織布マルチが超密植栽培におけるイチジク樹の樹体の生育と果実品質に及ぼす影響（試験 2）

試験 1 と同所の株間 0.8 m（栽植密度：625 本／10 a）、2.0 m（同：250 本／10 a）と慣行の株間 4.0 m（同：125 本／10 a）（列間は各区とも 2.0 m）に栽植したイチジク‘榊井ドーフィン’5 年生樹（一文字整枝、新植）を各 3 樹供試し、2009 年 7 月 3 日～10 月 20 日、その樹冠下地表面に不織布マルチを被覆した（第 3-4 図）。また、1 樹当たり結果枝数を 0.8 m 区は 4 本、2.0 m 区は 10 本、4.0 m 区は 20 本とし、面積当たり結果枝数を最終的に同一（2,500 本／10 a）に揃えた。発生した副梢は随時除去し、摘心は行わなかった。かん水はドリップにて 3 日に 1 回、雨量換算で 9 mm になるように（3 mm／day）行った。各栽植間隔の無被覆区も同様に設定し、かん水した。かん水期間中の土壌水分は pF メーター（DIK-8333、大起理化）を用い、マルチおよび無被覆の樹冠下各 3 地点、かん水チューブ孔からの距離約 30 cm、深さ 20 cm の pF 値を 7 月 3 日～10 月 20 日の間測定した。樹体の生育は、7 月 3 日に 1 樹につき 4 本の新梢を無作為に選び、新梢長を 10 日ごとに 10 月 1 日まで測定した。また、休眠期の 12 月 3 日にこれらの枝の長さ、節数、新梢基部径および新梢上の副梢数を測定した。果実品質の調査は、試験 1 と同じ方法で各試験区 1 樹につき 1 結果枝の全果について 8 月 10 日～11 月 13 日の間、測定した。樹体の生育は、1 樹につき 5 本の新梢を無作為に選び、新梢長、節数、新梢基部径および新梢上の副梢数を 11 月 30 日に測定した。摘心は実施しなかった。

第 3 節 結果

1 . 栽植密度とイチジクの低温障害後の収量回復との関係（試験 1）

2005～2006 年冬季の低温障害による樹体の損傷程度は、個体によりかなりばらつきがあったが、栽植密度による差は確認できなかった（データ略）。低温障害発生前（2005 年）のイチジク樹の生育は、新梢長、副梢数、新梢基部の直径とも 0.8 m 区が最も大きく、栽植密度が高いほど樹勢が強い傾向にあったが（第 3－1 表、第 3－5 図）、低温障害後 1 年目は 2.0 および 4.0 m 区の樹勢が強くなり、どの試験区とも同等の生育となった。また、低温障害後 2 年目には低温障害前の状態に近づき、栽植密度が高いほど樹勢が強くなった（第 3－1 表）。

果実の着果開始節位は、各試験区とも同一年次において差がなかったが、低温障害前後で大きく変化した。すなわち、低温障害前の果実の着果開始節位は第 3～4 節目であったが、低温障害後 1 年目は下位節がかなり不着果となり、第 6～8 節目となった。また、低温障害 2 年目も同様の傾向となり、果実の着果開始節位は第 6 節前後となった（第 3－1 表）。一方、低温障害後の果実の収穫開始時期は、低温障害前（8 月中旬）より大幅に遅れ、9 月下旬となったが、低温障害 2 年目にはやや早くなり、8 月下旬となった（第 3－1 表）。

低温障害 1 年目の 1 樹当たり収量は、株当たり結果枝数を 4 本に揃えたため、各試験区とも 1.5 kg 前後とほとんど同じであった。そのため、結果枝数の減少率が高い 4.0 m 区では、低温障害 1 年目の 10 a 換算収量が 228 kg と、低温障害発生前の 2,308 kg から約 90%減少したのに対し、0.8 m 区では 997 kg であり、低温障害発生前の 2,616 kg から約 60%の減少にとどまり、収量減は小幅であった（第 3－1 表）。

低温障害 2 年目には 2.0 m 区、4.0 m 区では樹冠の拡大を図ったため、1 樹当たりの収量は低温障害 1 年目に比べそれぞれ 6.91 kg (5.2 倍)、11.96 kg (6.6 倍) と大幅に増えたが、0.8 m 区の 1 樹当たり収量は 3.2 kg と、2 倍程度の増加であった。10 a 換算収量は栽植密度が高いほど多い傾向があったが、差の認められたのは 0.8 m 区と 4.0 m 区間のみであった (第 3-1 表)。

果実重や着色、糖度などの果実品質は、すべての年次において各栽植区間で有意な差は認められなかった (第 3-2 表)。

2. 不織布マルチが超密植栽培におけるイチジク樹の樹体の生育と果実品質に及ぼす影響 (試験 2)

樹勢は密植になるほど総体的に強く、枝は太く副梢数も多くなったが、不織布マルチによりどの栽植密度とも新梢の伸長は抑制された。各栽植密度別の新梢の生育は、不織布マルチの被覆直後にはあまり差はなかったが、7 月中旬以降、不織布マルチ区の新梢伸長は、同一栽植密度の無被覆区に比べて抑制された。また、栽植密度が高いほど新梢伸長は旺盛になる傾向であった (第 3-6 図)。各試験区とも節数に差はなかったが、副梢数はマルチ 0.8 m 区が多く、マルチ 4.0 m 区との間に差が認められた。枝の新梢基部径は無被覆 0.8 m、2.0 m 区が太く、無被覆 4.0 m 区との間に差が認められたが、不織布マルチを被覆した区ではどの栽植密度間にも差はなく、無被覆との間の差もなかった (第 3-3 表)。

土壌水分の変化は第 3-7 図のようになった。なお、栽植密度別の pF 値に差はなく、データはマルチの有無によってまとめた。pF 値は不織布マルチの被覆によって総体的に高くなり、無被覆より乾燥傾向であった。測定期間中の pF 値の平均はマルチ部分で 2.41、無被覆部分で 2.15 であった (データ略)。また、

無被覆部分の方が pF 値の変動は大きかった。なお、期間中の総雨量は 453 mm (1 日あたり 4.2 mm) であった。

時期別の果実品質を第 3-4 表に、通年の果実品質を第 3-5 表に示した。不織布マルチを被覆した区の収穫は 8 月中旬から始まったが、無被覆の各区では収穫開始時期が遅く、8 月下旬から始まった。果実の大きさは、何らかの差がみられる時期は 8 月下旬、9 月中旬、10 月中下旬であったが、これらの時期は不織布マルチを被覆した区の方がやや果実が小玉傾向にあった。しかし通年でみた場合、果実の大きさはすべての試験区間に差が認められなかった。一方、果実の着色は 10 月中旬以降を除き、総じて不織布マルチを被覆した区の方が良好であった。特に 8 月下旬の着色は無被覆の区との差が大きかった(第 3-8 図)。糖度も時期によってばらつきはあるが、どの栽植密度においても不織布マルチを被覆した区の方が無被覆の区より優れていた(第 3-5 表)。

第 4 節 考察

試験 1 は低温障害からの回復を試みたもので、栽植密度を高めることによる減収期間短縮の可能性について検討した。低温障害発生直後の 2006 年は、2.0 および 4.0 m 区で低温障害発生前の 2005 年よりも新梢長は長くなり、副梢数も多くなった。これは、2.0 および 4.0 m 区では低温障害を受けて枯死した主枝を強く切り戻したため、結果として強せん定を行った場合と同様に樹勢が強くなり、0.8 m 区では低温障害の前後で 1 樹当たりの結果枝本数（4 本）に変動がなく、大幅な主枝の切り戻しもないため、それほど新梢長に差がなかったものと考えられる。また、各区とも着果が始まる節位が高くなるとともに、低温障害の影響で遅れて発生した新梢を結果枝としたため、収穫開始時期は前年（8 月中旬）より大幅に遅れ、9 月中下旬となったと考えられる。

イチジク果実は新梢の伸長につれて下位節から順次各節に着果し、着果後 75～80 日で成熟する（平井 1966）。低温障害後に発生する新梢上に着果する果実の数や成熟特性についての知見は過去にないが、松浦（2001）は、イチジクの下位節の着果には前年の貯蔵養分が大きく影響し、前年の遮光処理や摘葉処理が着果位置に悪影響を及ぼすとしている。本章において、低温障害発生後の新梢上の着果開始節位が高くなり、下位節の果実着生が少なくなったことは、これらが遅れて新たに発生する新梢であるため、松浦（2001）の指摘するように貯蔵養分などが不足している可能性がある。

これらのことから、イチジク樹が低温障害を受けた場合、栽植密度が低いほど収量の減少は大きいことが明らかになった。また、低温障害発生後 2 年目には 0.8 および 2.0 m 区で収量は回復し、栽植密度が高いほど元の水準に早く回復

できることが明らかになった。ただし、密植を行っても低温障害をこうむれば当年の収量減は大きいことから、実際の栽培では低温障害の発生を防止することが重要であり、そのためにはワラ巻きなどの防寒対策を十分に実施することが望ましい。また、本試験では栽植密度が低温障害そのものの発生に及ぼす影響については、確認できなかった。

イチジクの原産地および現在における主産地は、概して温暖で夏半期（4～10月）の降水量は少なく（90～270 mm）、雨の少ない地域が多い。一方、日本の夏半期の降水量は 800～1,800 mm ときわめて多い。わが国における夏半期後半の（8～10 月）の降雨は果実の成熟期にあたるため、軟弱で日持ちの悪いイチジクには大敵であり、裂果、腐敗果の多発を招く（佐藤 1953）。イチジク栽培における不織布マルチの最大の効果は、多雨期における腐敗果、裂果を防止し、着色、糖度が顕著に向上することである（真野 2004）。これは不織布マルチが地表からの水蒸気は発散するが、雨を通さず、土壌内を常に乾燥した状態に保つことができるためであると考えられる。しかし、樹勢の異なるイチジク樹に対する不織布マルチの土壌の水分環境や樹体の生育に与える影響についてはこれまで知見がなかった。

そこで、試験 2 では栽植密度が異なるイチジク樹に不織布マルチを被覆した。樹勢は、栽植密度が高いほど全般に強く、これは栽植密度が高いほど強せん定となっているためと考えられるが、各栽植密度とも不織布マルチにより樹勢は抑制された。不織布マルチによって、3.0 mm/day のかん水量で、土壌の pF は 2.5 程度まで上昇したため、ある程度の水分ストレスがかかったものと推察される。

不織布マルチの被覆によって、着色、糖度などの果実品質は向上したが、栽植密度間の果実品質に差はなかった。超密植に関して、真野・濱田（2005）および真野ら（2011）も、栽植密度が高いほど樹勢は強くなるが、発生した副梢を随時除去し、面積当たりの結果枝数を揃えるなど、光環境を均一にすることにより果実品質を維持できた、としている。このことは本試験の結果と一致しているが、生産現場では本試験よりさらに樹勢の強いケースが多く、副梢の除去などの新梢管理に要する労力はさらに多大なものとなる。不織布マルチによる樹勢の抑制効果については、不要な副梢の抑制による作業性改善効果も期待できると考えられ、これらも含めて今後検討する必要がある。

一方、果実重は時期によっては不織布マルチを被覆した区の方が小さくなる傾向となったが、通年では無被覆の各区との差はなかった。不織布マルチを被覆した区では平均で M～L 級、商品性のある大果となり、品質向上効果も認められた。従って本試験と同程度の樹勢で、同じ条件下（かん水チューブ孔からの距離約 30 cm、深さ 20 cm）に pF メーターを設置し、実際に pF 値を測定してかん水量を制御する場合は、pF 2.5 程度が目安になると考えられる。その一方、真野ら（2012）は、いや地で樹勢が劣る場合には、3.0 mm/day のかん水量でも果実肥大が顕著に抑制され小玉果が多くなることをみいだしており、このような条件下では、たとえ一時期であっても、土壌 pF が 2.5 に達するような土壌乾燥は避けるべきであると考えられる。

イチジクは他の果樹より水分要求量が高く、土壌水分が 20%となった時点で地上部の生育が劣る（森田ら 1955）。また、根域が浅く（細井 1979）、干害を受けやすいため早めのかん水が必須とされている（株本 1985）。松浦ら（1992）

は、根域制限という特殊な土壌環境下であるが、pF 2.2 以上での着色、糖度の向上と新梢長、果実肥大の抑制効果を認め、pF 2.5 で早期落葉が認められたことを報告している。本試験ではこれより高い pF 値となった時点においても落葉は発生しなかったが、イチジク樹に及ぼす影響は一致していた。松浦ら（1992）の報告における根域制限栽培は根群分布が地植え栽培より浅いため、本試験より低い pF でも影響が大きかったものと推察される。

ナシでは果実の収穫直前にかん水を停止し、土壌水分をある程度減らす方が果実品質は向上するとされている（安藤・岩垣 1937）。しかしイチジクではその着果習性から、同一結果枝内に生育ステージの違う果実が複数個存在することになるため（平井 1966）、イチジクのかん水は、成長途中の果実の肥大を考慮しながら成熟期に達した果実の品質低下にも考慮しなければならず、継続的かん水が必要であると考えられる。また、不織布マルチを被覆した各区の収穫は、無被覆の各区より早まる傾向にあった。一般に樹勢が強い場合、果実の成熟は遅れがちになるが、不織布マルチの被覆によってある程度の水分ストレスがかかり、成熟が促進されたものと考えられる。

果実の糖度は不織布マルチによって向上した。その原因として、成熟直前に急激に水分を吸って大きくなるというイチジク特性（矢羽田・野方 2000）から、余分な水分を吸収していないことが考えられるが、他の要因としてマルチの反射光による光合成量が増加した可能性も考えられる。果実の着色は、収穫期前半では不織布マルチを行った各区で良好であったが、10 月中旬以降の収穫果実の着色に大きな差はなかった。イチジクの色素はアントシアニンであり（平井 1966）、イチジクの着色に最も大きい影響を及ぼすのは光量である（株本

1986)。真野（2004）は、収穫期前半の果実は樹冠内部の光環境が悪い場所に存在するが、不織布マルチの被覆による反射光で相対日射量が増加し、着色が向上することを指摘しており、特に収穫時期が早い下位節の果実においてもこれと同じ結果が得られたと考えられる。

なお、本試験においては、不織布マルチの被覆によって低温障害の発生がどのように変化するかは検討していない。不織布マルチの被覆は、徒長気味の樹勢を抑制し、樹体の充実度を高めて低温障害を軽減できる可能性があるものの、水分抑制が過度になった場合は水分ストレスによって早期落葉を引き起こし、秋季の貯蔵養分の蓄積を阻害することによって、逆に低温障害の発生を助長する可能性もある。真野ら（2012）は弱樹勢樹における不織布マルチの被覆は、樹勢の低下をさらに助長することを明らかにしており、これらの処理が樹体の貯蔵養分に与える影響も検討する必要がある。

第 5 節 摘要

イチジク‘榊井ドーフィン’の低温障害からの早期回復を目的として、株間 4.0 m（慣行）より密植の株間 0.8 および 2.0 m に栽植した超密植栽培樹の低温障害後の生育、収量、果実品質について検討した。同時に、強樹勢による果実品質の低下が指摘されている超密植栽培について、不織布マルチの樹冠下への被覆が樹勢の抑制および果実品質の向上に有効であるかを検討した。その結果、低温障害の発生によってイチジク樹は地上部が枯死し、著しい収量の低下が認められたが、密植の 0.8 m 区では収量の減少が小幅であるのに対し、栽植密度が低いほど収量の減少は大きかった。さらに、樹勢、果実品質および収量は 0.8 m 区で最も早く回復し、凍害発生後 2 年目には元の水準に回復できることが示された。これらの結果から、イチジク‘榊井ドーフィン’の超密植栽培は、低温障害発生時の収量回復に有効であることが示唆された。また、超密植栽培では栽植密度が高いほど強せん定によって樹勢も強くなったが、樹勢の強いイチジクに対して不織布マルチを行い、水分ストレスをかけた結果、3.0 mm/day のかん水量で pF 2.5 程度を維持できれば、超密植樹の樹勢を抑制でき、収穫時期も早まるとともに着色、糖度などの果実品質も向上することが明らかになった。

第3-1表 栽植間隔が低温障害前後のイチジクの生育と収量に及ぼす影響(2005～2007年)

株間(m)	障害前 (2005年)	障害後1年 (2006年)	障害後2年 (2007年)
新梢長(cm)			
0.8	139.3 a ^z	145.3 a	137.4 a
2.0	108.7 b	148.6 a	125.0 ab
4.0	86.0 c	152.0 a	106.8 b
副梢数(本/枝)			
0.8	4.0 a	4.5 a	2.4 a
2.0	0.8 b	3.8 a	1.4 a
4.0	1.0 b	5.1 a	1.1 a
新梢基部径(mm)			
0.8	24.5 a	24.4 b	21.2 a
2.0	20.8 b	25.2 ab	19.5 a
4.0	19.7 c	27.5 a	18.9 a
結果枝数(本/樹)			
0.8	4.0 c	4.0 a ^y	4.0 c
2.0	10.0 b	4.0 a	9.3 b
4.0	20.0 a	4.0 a	16.7 a
着果開始節位			
0.8	3.6 a	6.5 a	5.7 a
2.0	3.6 a	8.0 a	6.0 a
4.0	3.2 a	7.5 a	6.5 a
収穫果数(個/枝)			
0.8	13.8 a	9.8 a	11.7 a
2.0	13.0 a	9.5 a	11.0 a
4.0	12.3 a	9.0 a	11.0 a
収量(kg/樹)			
0.8	3.77 c	1.60 a	3.22 c
2.0	8.40 b	1.32 a	6.91 b
4.0	16.62 a	1.82 a	11.96 a
収量(kg/10 a)			
0.8	2616 a	997 a	2146 a
2.0	2333 a	329 b	1919 ab
4.0	2308 a	228 c	1661 b
収穫期間(月/日～月/日)			
0.8	8/15	9/17	8/19
	～11/14	～11/22	～11/20
2.0	8/12	9/26	8/21
	～11/16	～11/22	～11/20
4.0	8/13	9/25	8/21
	～11/14	～11/22	～11/20

^z 同一年次のアルファベットの異符号間は5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定法)

^y 2006年の新梢本数は1樹当たり4本に調整

第3-2表 栽植間隔が低温障害前後のイチジクの
果実品質に及ぼす影響(2005～2007年)

株間(m)	障害前 (2005年)	障害後1年 (2006年)	障害後2年 (2007年)
	果実重(g)		
0.8	63.8 a	63.4 a	68.1 a
2.0	64.0 a	62.9 a	68.9 a
4.0	60.2 a	65.8 a	67.2 a
	果実横径(mm)		
0.8	50.8 a	51.5 a	49.4 a
2.0	50.5 a	50.3 a	49.9 a
4.0	51.1 a	53.0 a	50.9 a
	果実縦径(mm)		
0.8	60.0 a	61.8 a	69.4 a
2.0	61.5 a	62.0 a	69.3 a
4.0	60.2 a	62.1 a	65.5 a
	果頂部裂開長(mm)		
0.8	6.9 a	7.8 a	7.3 a
2.0	7.4 a	8.7 a	6.6 a
4.0	7.5 a	8.6 a	7.5 a
	果頂部裂開幅(mm)		
0.8	4.0 a	4.3 a	4.0 a
2.0	4.0 a	4.7 a	3.7 a
4.0	4.5 a	4.5 a	3.6 a
	果皮色(カラーチャート)		
0.8	7.6 a	7.4 a	7.4 a
2.0	7.5 a	7.1 a	7.3 a
4.0	7.5 a	6.9 a	7.5 a
	糖度(Brix)		
0.8	16.8 a	16.8 a	15.9 a
2.0	16.4 a	16.8 a	15.9 a
4.0	17.3 a	17.3 a	16.1 a

^z 同一年次のアルファベットの異符号間は5%水準で
有意差あり(Tukeyの多重検定法)

第3-3表 不織布マルチと栽植密度がイチジクの生育に及ぼす影響(2009年)

試験区		新梢長	節数	副梢数	新梢基部径
処理	株間	(cm)		(本／枝)	(mm)
不織布マルチ	0.8 m	175.0 bc ^z	25.8 a	4.5 a	25.8 ab
	2.0 m	171.0 c	25.8 a	2.5 ab	26.8 ab
	4.0 m	135.2 e	23.5 a	1.5 b	26.0 ab
無被覆	0.8 m	187.8 a	25.3 a	3.3 ab	29.0 a
	2.0 m	180.8 b	24.0 a	3.0 ab	28.5 a
	4.0 m	148.2 d	23.8 a	2.5 ab	24.0 b

^z アルファベットの異符号間には5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定法)

第3-4表 不織布マルチと栽植密度が時期別のイチジクの果実品質に及ぼす影響(2009年)

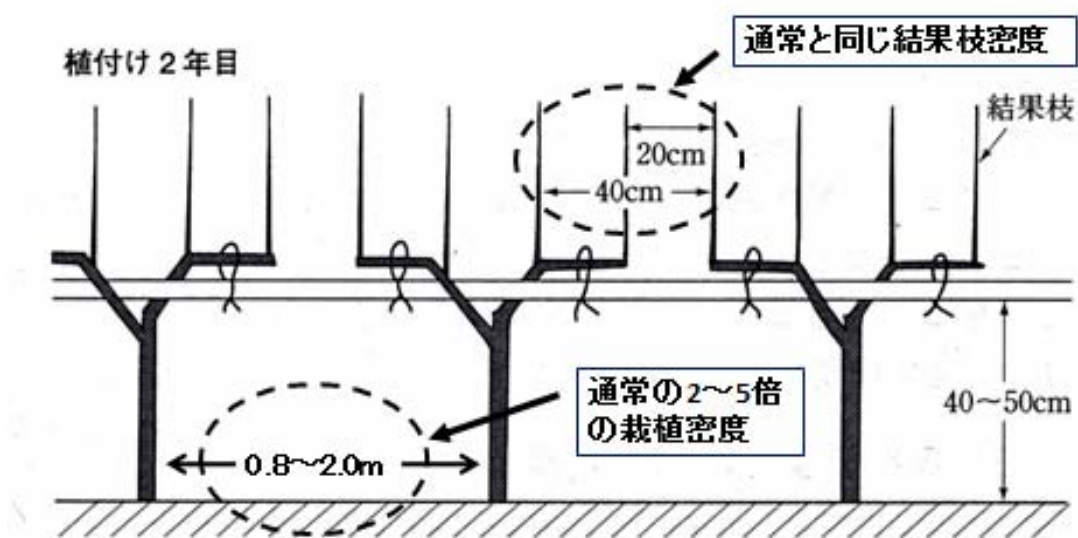
試験区		8 月中旬	8 月下旬	9 月上旬	9 月中旬	9 月下旬	10 月上旬	10 月中旬	10 月下旬
処理	株間	果実重 (g)							
不織布マルチ	0.8 m	80.0 a ^z	102.4 b	88.5 a	69.8 ab	83.0 a	78.0 b	80.3 a	64.0 b
	2.0 m	91.5 a	100.8 b	91.7 a	78.5 a	84.2 a	77.2 b	80.0 a	90.6 a
	4.0 m	79.3 a	98.8 b	86.3 a	63.3 b	82.7 a	73.3 b	78.7 a	63.0 b
無被覆	0.8 m	—	121.2 a	93.1 a	80.8 a	82.3 a	86.6 a	80.2 a	87.4 a
	2.0 m	—	112.8 ab	78.2 a	79.2 a	85.5 a	85.3 a	88.2 a	96.3 a
	4.0 m	—	111.1 ab	80.1 a	80.5 a	84.3 a	88.7 a	88.5 a	83.5 a
果皮色(カラーチャート)									
不織布マルチ	0.8 m	6.8 a	7.1 a	7.0 a	6.6 ab	6.8 a	6.8 ab	7.7 a	7.6 a
	2.0 m	6.8 a	6.7 a	6.9 a	7.3 a	7.7 a	7.7 a	7.5 a	7.5 a
	4.0 m	7.0 a	7.0 a	7.0 a	7.3 a	7.5 a	7.6 a	7.5 a	7.5 a
無被覆	0.8 m	—	5.0 b	6.0 b	6.2 b	5.8 b	6.1 b	7.6 a	7.3 a
	2.0 m	—	5.3 b	6.1 b	6.2 b	5.9 b	6.6 ab	7.6 a	7.1 a
	4.0 m	—	5.6 b	6.0 b	6.3 ab	6.0 b	6.3 b	7.0 a	7.2 a
糖度 (Brix)									
不織布マルチ	0.8 m	15.8 a	15.8 a	15.0 ab	16.4 a	16.3 a	15.6 a	16.4 a	16.7 a
	2.0 m	16.2 a	15.5 ab	14.9 bc	16.5 a	15.6 a	15.6 a	16.2 ab	18.4 a
	4.0 m	16.0 a	16.0 a	15.5 a	16.5 a	16.0 a	15.5 a	16.5 a	17.3 a
無被覆	0.8 m	—	14.2 b	13.7 d	14.9 b	14.2 b	14.2 b	16.0 ab	15.6 b
	2.0 m	—	14.6 b	14.0 bcd	14.9 b	14.5 b	14.4 b	15.3 bc	15.3 b
	4.0 m	—	14.8 b	14.4 bcd	15.0 b	14.9 b	14.7 b	15.0 c	15.1 b
雨量	(mm)	0	17	56	16	18	102	41	3

^z アルファベットの異符号間には5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定法)

第3-5表 不織布マルチと栽植密度がイチジクの果実品質に及ぼす影響(2009年)

試験区		果実重	裂開長	裂開幅	果皮色	糖度
処理	株間	(g)	(mm)	(mm)	(カラーチャート)	(Brix)
不織布マルチ	0.8 m	79.4 a ^z	9.4 a	5.4 a	7.2 a	16.1 a
	2.0 m	85.0 a	10.1 a	5.7 a	7.2 a	15.9 a
	4.0 m	77.7 a	8.9 a	5.0 a	7.4 a	16.4 a
無被覆	0.8 m	89.7 a	12.9 a	7.2 a	6.5 b	15.3 b
	2.0 m	89.1 a	13.0 a	6.6 a	6.5 b	14.9 b
	4.0 m	87.8 a	13.4 a	5.7 a	6.4 b	15.2 b

^z アルファベットの異符号間には5%水準で有意差あり(Tukeyの多重検定法)



第 3-1 図 超密植栽培の模式図



第 3－2 図 超密植の栽培状況（株間 0.8 m）



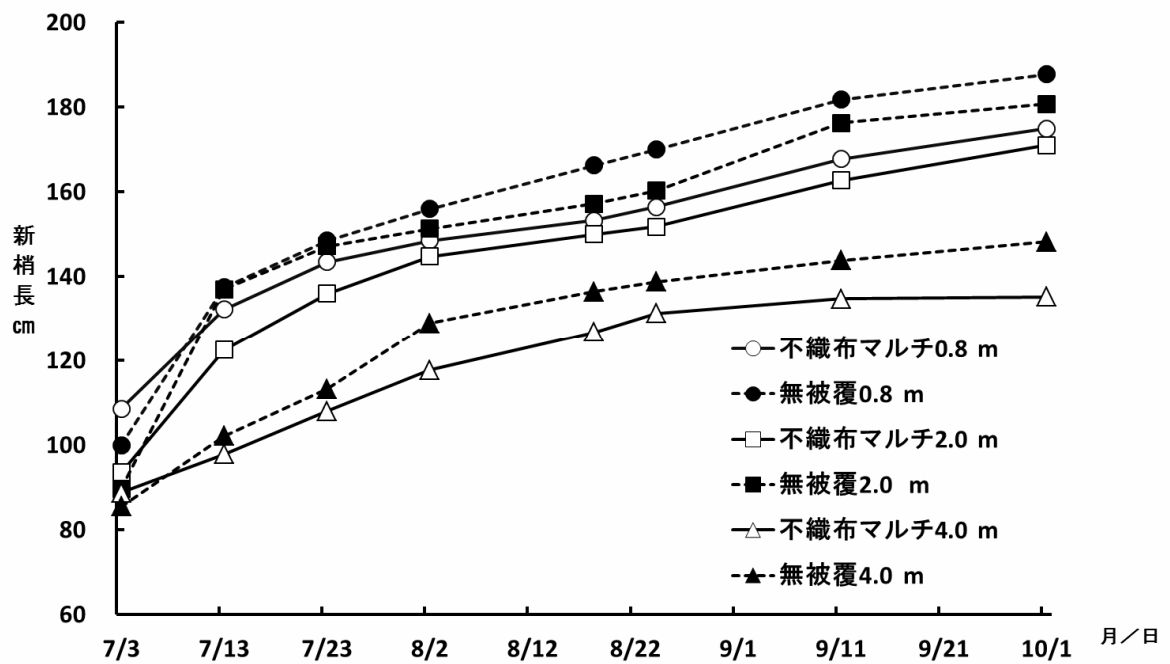
第 3－3 図 低温障害後のイチジク樹の処置（A：地上部が枯死したイチジク樹，B：枯死した主枝の伐採後）



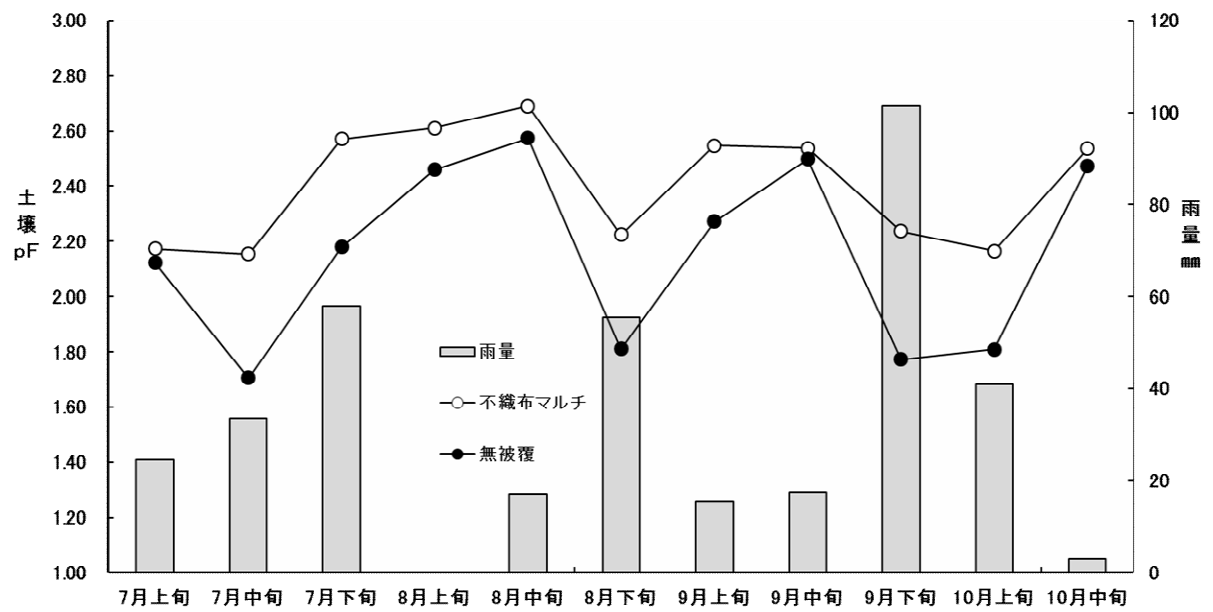
第 3-4 図 イチジクの樹冠下に敷設した不織布マルチ



第 3－5 図 栽植密度の差異による生育の違い
(左 : 4.0 m 区, 右 : 0.8 m 区)



第 3-6 図 不織布マルチが栽植密度別イチジクの新梢伸長に及ぼす影響



第 3-7 図 不織布マルチによる土壤水分含量の経時的変化



第 3－8 図 不織布マルチの被覆がイチジク果実に及ぼす影響
(左：不織布マルチ被覆，右：無処理)

第4章 主枝高がイチジクの低温障害発生に及ぼす影響

第1節 緒言

現在、イチジク‘榊井ドーフィン’栽培における主力の整枝法は一文字整枝法である（第4-1図A）。本整枝法は樹高が低く（主枝の高さ約50～60 cm）、結果枝の高さと配列がほぼ一定で作業性に優れている（中岡 1986）。しかし、本整枝法は開心形や杯状形整枝より生育旺盛で（株本 1986）、土壌条件などによっては樹勢が強くなりやすいこと、また、収穫初期には結果部位が低いため、腰を曲げた姿勢をとらねばならないこと、タヌキやアライグマなどの獣害を受けやすいことが生産現場から指摘されている。さらに、放射冷却を受けやすい地表面近くに樹体があるため、低温障害の発生も多くなる可能性がある。

イチジクの低温障害の防止法や軽減法としては、稲ワラなどの防寒資材の巻き付けがよく行われているが、近年はコンバイン収穫のため多量の稲ワラ確保は農家にとって難題となっている。堀本ら（1994）は省力的な防寒資材として、アルミ蒸着フィルムの効果を確認しているが、それでもコストや労力がかかるため、低温障害常襲地以外では防寒被覆は行われておらず、何年かに一度の不時の低温障害には対応できていない。そこで、本章では省力的かつ安定した方法で低温障害を軽減するため、一文字整枝で主枝高を高く配置し、新梢を水平方向に誘引したイチジク樹を養成し、低温障害の発生に及ぼす影響と生育、収量および果実品質について検討した。同時に主枝高を高くした場合の1年生枝中の貯蔵養分についても測定を行った。

第2節 材料および方法

兵庫県立農林水産技術総合センター内圃場に栽植したイチジク‘榊井ドーフィン’6年生樹（2001年3月定植，栽植間隔2.0 m×2.0 m，改植回数1回）3樹を供試した。供試樹は2006年に地際から発生させた発育枝をそのまま伸長させて主幹を養成した。その後、2007年冬に1.8 mの高さで切り返し、発生した新梢2本を主枝として一文字形に整枝し、新梢は水平方向へ誘引した（第4-1図B）。この供試樹を主枝高1.8 m区（以下1.8 m区と略す）とした。対照として慣行である主枝高0.6 mの一文字形に整枝し、新梢を垂直方向へ誘引した‘榊井ドーフィン’7年生3樹（栽植間隔2.0 m×2.0 m）を供試し、主枝高0.6 m区（以下0.6 m区と略す）とした。また、慣行栽培である0.6 m区のイチジク樹は2008～2009年の冬季間に地上部が枯死したため、同一ほ場内で防寒被覆（稲ワラ）を行って低温障害を回避した慣行栽培している8年生のイチジク樹3樹を参考として供試した。

2007～2008年、2008～2009年、2009～2010年の冬季間、これらの各樹は防寒を行わずに放置し、翌春の萌芽状況、低温障害の発生状況を調査した。また、樹体の表面温度を赤外線サーモグラフィー（TH9100MR，NEC 三栄）で2009および2010年の3～4月に適宜測定した。測定は樹体表面から1.0 mの距離で温度画像を撮影し、熱画像処理プログラム（NS9300 Image Processor Pro II，NEC 三栄）で画像を解析した。データは任意の多角形エリア内（約0.02m²，データ数12,000～16,000個）の測定データの平均温度を表した。2009年4月には主枝と同じ高さに温度センサー付きデータロガー（TR-71U，T&D）を設置し、15分間隔で気温を測定した。なお、温度センサーは小型百葉箱内に設置した。また、

兵庫県立農林水産技術総合センター内に設置した気象観測システムによる観測によって期間中の気温（百葉箱内）を測定した。

各樹形とも、主枝 1 m 当たり 5 本の新梢を伸ばし、結果枝とした。樹体の生育は新梢長、新梢上の副梢数および新梢基部径を調査した。果実品質は、1 樹当たり 4 結果枝を無作為に選び、収穫期間（8 月中旬～10 月下旬）中に成熟した全ての果実について、果実重、果皮色、果汁糖度を測定した。果皮色は農林水産省果樹試験場基準カラーチャートのイチジク果実用を用い（中川ら 1982）、その値で評価した。糖度は、果実赤道面の花托と小花の部位をコルクボーラーで打ち抜き、搾汁したものを屈折糖度計で測定した。

貯蔵養分の測定は、大阪府羽曳野市の大阪府環境農林水産総合研究所内圃場に栽植した 1.8 m 区と 0.6 m 区のイチジク‘榊井ドーフィン’ 8 年生樹を各 3 樹供試した。これらの各樹から 2011 年 2 月 22 日に 1 年生枝を 3 本無作為にサンプリングし、新梢長、新梢重、節数を測定後、枝中のデンプンと糖含量を測定した。サンプルは 60°C で 48 時間乾燥した後、秤量し、乾燥前の新鮮重で除して乾物率（%）を計算した。乾燥後はさみで細かく裁断し、凍結乾燥して分析まで -80°C で保存した。可溶性糖の抽出は、乾燥試料を約 1 g に対し、80°C の 80%メタノール 10 mL で 30 分、3 回抽出して行った。メタノール抽出物をあわせ、フェノールを除去するため、5%（v/v）のポリビニルポリピロリドン（PVPP）を添加して一晩放置した。遠心分離（3,000 rpm, 15 分間）して得られた上澄みの一部を減圧下で濃縮乾固した後、試料を水に再溶解した。内部標準として一定量のマニトールを添加し、陰イオン交換カラム（Strata Sax cartridge, 島津 GLC）で精製した後、Rezex RCM-Monosaccharide Ca カラム（300 mm×7.8 mm,

Phenomenex CA) を装着した高速液体クロマトグラフィー (L-6200, 日立製作所) につけ、示差屈折計でピークを検出した。分析はカラム温度 80°C で行い、試料は 0.8 mL/min の流速の水で溶出した。測定対象は、ショ糖、ブドウ糖、果糖とし、同定、定量は標品の保持時間とそのピーク面積から行い、その合計を全可溶性糖として表した。一方、デンプンは、上述したメタノール抽出後のアルコール不溶性分画から沸騰水浴上の DMSO 10 mL で 30 分、3 回抽出した。抽出物をあわせ、水で適当な濃度に希釈した後、その一部にグルコアミラーゼ (E.C. 3.2.1.3) を加え、37°C で 3 時間処理 (pH 4.5) し、DMSO 抽出物中に含まれるデンプンをグルコースに分解した。分解して得られたグルコースは、グルコース測定キット (Enzyme Plus Sucrose/D-Glucose, Bio Control System WA) を用いて定量した。

第3節 結果

試験開始1年目には低温障害の発生はみられなかったが、2年目の2008～2009年の冬～春季にかけて、本試験圃場で低温障害が発生した。5月時点で0.6 m区のイチジクは結果母枝の完全芽がほとんど発芽せず、10月には地際以外の地上部すべてが枯死した。一方、1.8 m区のイチジクは枯死しなかった（第4-1表、第4-2図）。ただし、5月には外観上確認できなかったものの、6月には主枝背面に褐変やひび割れが生じ、低温障害を受けたことが確認された。3年目の2009～2010年の冬～春季にかけても前年同様に低温障害が発生し、0.6 m区では地際以外の地上部がすべて枯死したが、1.8 m区では枯死しなかった（第4-1表）。

本章における2008年11月～2009年4月にかけての気温を、第4-3図に示した。この期間中の最低気温は1月16日の -6.2°C であったが、萌芽期の4月以降は、3日の -0.6°C を始めとして29日にも 2.6°C の最低気温を記録した。同様に、2009年11月～2010年4月にかけての気温を第4-4図に示した。この期間中の最低気温は1月15日の -7.4°C であったが、萌芽期の4月以降は、低温傾向が続き、 0.4°C の最低気温を記録した4月25日には兵庫県下各地のブドウなど多くの作物に霜害が発生した。

第4-2表は2009年3月11日の主枝背面温度である。当日は晴天無風日であり、測定時の気象観測システムの気温は 1.3°C であった。当日における早朝、日の出前（午前5時20分）の主枝背面温度は、0.6 m区が平均で -3.2°C であったが、1.8 m区は -1.7°C であり、0.6 m区の方が低くなった。日中（午後2時30分）の主枝背面温度は、0.6 m区が平均で 35.6°C であったが、1.8 m区は 32.8°C

であり、逆に 0.6 m 区の方が高くなった。その差は早朝の温度が 1.5°C 程度 0.6 m 区の方が低かったのに対し、日中の温度は 2.5°C 程度 0.6 m 区の方が高くなり、日中の方が大きな温度差になった。その日の早朝時のサーモグラフィーを第 4-5 図に示す。

第 4-3 表は 2010 年 4 月 25 日の主枝背面温度である。当日は県下各地で農作物に霜害が発生した日であり、0.4°C まで気温は低下した。午前 5 時の主枝背面の温度は、0.6 m 区は -2.8°C であったが、1.8 m 区では -1.8°C であり、1.8 m 区の方が約 1°C 高温であった。逆に日中の主枝背面の温度は、0.6 m 区の方が高く、28.0°C と 1.8 m 区より約 2°C 高かった。2009 年 3 月 11 日と比較した場合、両区の温度差は早朝、日中ともやや小さかったが、その傾向は同じであった。その日の早朝時のサーモグラフィーを第 4-6 図に示す。なお、他の測定日においても、本試験のような晴天、無風時の早朝、日の出前の温度傾向はほぼ同様であった（データ略）。

2009 年 4 月の 1 か月間における主枝高に合わせた地上からの高さ別の気温は、第 4-7 図のようになった。夜間は地表面に近い地上高 0.6 m の方が低い傾向であったが、日中は逆に地表面に近い方が高温となり、両区間の差は日中の方が大きい傾向を示した。

低温障害発生前である、2008 年の主枝の高さが樹体の生育、果実品質および収量に及ぼす影響を第 4-4 表と第 4-5 表に示した。1.8 m 区の生育期の状況は第 4-8 図に示した。低温障害発生前のイチジク樹の生育は、新梢長、副梢数で慣行の 0.6 m 区の方が 1.8 m 区より旺盛であった。この傾向は 2011 年の大阪府羽曳野市の圃場においても同じであり、新梢長は 0.6 m 区の方が長くなったが、

新梢重は 1.8 m 区の方が重かった。節数に有意差はなかった（第 4-4 表）。また、果実重は慣行の 0.6 m 区で大きく、枝当たりの収穫果数も多いため、0.6 m 区の方が収量は多くなった。着色は 1.8 m 区の方が良好であったが、糖度には差はなかった（第 4-5 表）。なお、凍害発生後 2009 年の 1.8 m 区の生育および果実品質は、発生前と比べて大きな差はなかった（データ略）。一方、大阪府羽曳野市の圃場における 1.8 m 区の果実は、着色、糖度とも 0.6 m 区より優れた。さらに、試験区間の果実の大きさに差はなく、収量も両区とも 4,500 kg/10 a 程度となり、差はなかった（細見ら 未発表）。なお、本試験におけるイチジクの収量は、兵庫県および大阪府のどの試験区も 3,000 kg/10 a 以上であり、通常のイチジクの収量より多かった。

主枝高別の貯蔵養分含量を第 4-6 表に示す。デンプン含量に差はなかったが、全糖含量は 1.8 m 区の方が多くなった。なお、2009～2010 年の冬～春季にかけては、貯蔵養分の測定に供試した樹が存在する大阪府羽曳野市の圃場においても、兵庫県加西市より軽微ではあるが 0.6 m 区で低温障害が発生し、1.8 m 区の低温障害発生が少ないことを認めている。芽が枯死する被害はなかったが、主枝背面の崩壊が発生した樹は 1.8m 区で 1.7%であったのに対し、0.6 m 区では 15.0%の樹に低温障害が認められた（細見ら 未発表）。

第 4 節 考察

本試験では、主枝の高さを変えることで低温障害をどの程度軽減できるか検討した。試験を実施した兵庫県加西市の圃場は、瀬戸内海沿岸から約 20 km 内陸に入った地域にあり、冷え込みが厳しいため周囲に産地はない。この圃場でも通常は防寒被覆（稲ワラ）を行って低温障害を回避しているが、本試験ではあえて防寒被覆を行わず、低温障害の発生しやすい条件下で検討を行った。

栗村・正田（1994）および堀本ら（1994）は、休眠状態のイチジクの芽は恒溫器内の低温処理で -10°C 前後で枯死するが発芽状態の芽は -3°C で枯死することを報告している。本試験における 12~4 月にかけての気温は、低温障害の発生した兩年ともこのレベルまで低下していないが、実際の樹体はサーモグラフィによる温度測定によって気温より低温となっていることが明らかになった。これは放射冷却を受けて気温以上に樹体の温度が低下したものと考えられる。植物体は放射冷却で自ら冷えていくが、空気自体は自ら冷えることが極めて少なく、作物体の温度と気温との差は低温で風速が少ないほど、その差が大きくなる（小沢 1977）。また、田中ら（1960）は、植生の違いによる地表面の冷却状況を調査しているが、どの植生においても地表から 10 cm の距離より 100 cm の方が、気温が高いことを報告している。すなわち、放射冷却は地表面で起こるため、地表面付近が最も冷却され、本試験でもその影響を受けて主枝高の低い 0.6 m 区の方が樹体温は低くなったと推察された。2009 年の 3 月 11 日にも 0.6 m 区で主枝背面の表面温度は -3°C 以下を記録しており、この時低温障害を受けた可能性がある。しかし、樹体内の樹液の流動がこの時点で始まっていたかどうかは明らかではなく、この点については今後の検討が必要である。

一方、日中はこれとは逆に主枝高が低いほど樹体温が高くなる傾向があり、その差も最低温度より大きかった。時刻別の平均気温も日中の気温は地上高 60 cm の方が高く、サーモグラフィーの測定値と同じ傾向を示した。日中には太陽光によって地表面近くが最も暖められるため、その影響を受けたと考えられる。地表面近くにおける日中の高温は、0.6 m 区における樹体の耐凍性の低下、すなわちデハードニングをより進めた可能性もある。イチジクにおける耐凍性の季節的変動を追った知見はないが、第 2 章では萌芽が遅くなる条件下で低温障害発生が軽減されたことを報告した。前述の栗村・正田（1994）は、萌芽前の 4 月上旬にイチジクの耐凍性を検討しているが、特に低温処理後に急速な昇温を行った場合、低温障害の発生が助長されたとしている。本試験においても主枝高が低いほど夜間の放射冷却を受けやすいうえ、日中は急速に高温になることから、より低温障害が発生しやすい条件になっている可能性がある。本試験では 2010 年 4 月 25 日のデータを含め、他の測定日においても晴天無風時の樹体温の傾向はほぼ一定であり、これら樹体の温度差は低温障害による枯死の発生に大きな影響を及ぼしていると考えられた。

1.8 m 区の主枝は、低温障害後も枯死せず、樹勢も衰弱しなかったが、主枝背面は 6 月には褐変やひび割れが生じた。主枝背面部の組織崩壊の原因となるのは低温障害である（堀本 1992）が、その後は直射日光を受けることによる高温が組織崩壊を助長しており、この組織崩壊は直射日光を防ぐための各種の反射資材などで抑制できることを栗村・正田（1994）は明らかにしている。しかし、本試験ではこれらの資材を使用していないため、低温障害による損傷が 6 月になってから組織崩壊として顕在化したものと推察される。これらのことから、

主枝高を高くした場合でも、本試験の圃場のように冷え込み程度が大きい地域では低温障害を完全には回避できないと考えられる。

樹体の生育は、0.6 m 区の方が旺盛で、兵庫県の圃場においては収量も多かった。0.6 m 区では、樹体を切り詰め強せん定になっていると同時に、新梢を垂直に誘引しているため、樹勢が旺盛になる一方、1.8 m 区では主幹部が長く、かつ新梢を水平に誘引したため樹勢は弱くなったと考えられる。特に兵庫県の圃場では、改植を 1 回行っており、いや地の影響を受けていると考えられる。イチジクは、いや地が顕著な果樹であり、イチジクのいや地現象は、まず樹勢低下による結果枝の伸長不足とそれに伴う果実の着果不足、小玉化による著しい収量減となって現れる（平井 1956）。真野ら（2011）は、いや地条件下で栽植密度を高め、強せん定による樹勢強化によって収量増を達成したことを報告している。従って、本試験のような、樹勢が弱まる可能性のある条件下で主枝高を高くする場合は、栽植密度を従来よりも高めるなど、何らかの樹勢強化策が必要である。

一方、大阪府の圃場では、1.8 m 区の生育は新梢長が抑制されたものの、枝の重量は重く、樹体の充実度は高かった。収量も 1.8 m 区は 0.6 m 区との差はなく、果実品質は優れた。耐凍性が強いものの樹勢が強く、一文字整枝では樹勢が強すぎて制御できない品種‘蓬萊柿’においては、主枝の高い樹形は棚栽培整枝として普及しており（野方ら 2010a）、‘柵井ドーフィン’においても樹勢の抑制手段として適用できる可能性がある。特に‘柵井ドーフィン’の生産現場は水田転換園が多く、通常の一文字整枝では強樹勢で徒長傾向が強い。主枝の高い樹形は、樹勢を適度に抑制し、収量を確保しつつ、高品質果の生産につながる

ことが期待される。実際の生産現場では、前述のいや地現象を含め、樹勢に関する圃場条件を検討して導入を図る必要がある。

1.8 m 区では 0.6 m 区に比べ着色良好で、果実品質はよかった。イチジクの果実品質、特に着色は日照条件に大きく左右され、株本ら（1981）はイチジクの品質向上のためには樹冠内の相対日射量が 15%以上必要であると指摘している。本試験では樹冠内の相対日射量は測定していないが、1.8 m 区では主幹部が長く、かつ新梢を水平に誘引したため樹勢は落ち着き、枝内の受光態勢が良好であるため、着色も優れていたと考えられる。

主枝高を 1.8 m とした場合、従来の一文字整枝より高い位置での作業が増えた。下位節の収穫では腰を曲げる作業はなくなるが、極端に高い主枝は作業性の観点からはマイナスと判断される。今後は、作業性を損なわず、低温障害軽減も可能な主枝の高さを検討することが必要である。

2011 年の大阪府の圃場におけるイチジクの新梢は、1.8 m 区において新梢長は 0.6 m 区より短かったが、新梢重は重く、充実度が高かった。同時に、2 月下旬に採取した枝中の貯蔵養分については、1.8 m 区的全糖含量は 0.6 m 区よりも多い傾向にあった。前述のように枝の誘引方向が水平に近く、結果枝を直立させる 0.6 m 区に比べ落ち着いた生育となっていること、結果枝の受光態勢がよいことがその原因として考えられ、これらのことが全糖含量の増加につながり、結果として耐凍性の向上に寄与した可能性がある。貯蔵養分、特に糖が多いほど耐凍性が高いことは、木本類や（酒井 1957; Sakai 1962）ブドウ（三好ら 1968）、リンゴ（黒田ら 1985）でも認められている。イチジクでは第 2 章に示したように、1 年生枝に環状剥皮を行い、貯蔵養分の増加と耐凍性の向上を認めているが、

本試験では時期別の貯蔵養分の経時的変化や低温障害の発生時期について明らかにしておらず、養分の差は環状剥皮を行った場合ほど顕著ではない。また、主枝背面の部位そのものの養分分析も行っていない。これらの点に関しては再度検討する必要がある。なお、大阪府における凍害発生程度は、兵庫県の圃場に比べると軽微であった。これは、大阪府の圃場は、兵庫県の圃場より 12 ～ 4 月の平年の最低気温が各月とも 1 ～ 1.5℃程度高く、低温障害が発生しにくい地域にあるためであると考えられる。

第5節 摘要

イチジクの主枝高が低温障害の発生と生育、収量および果実品質に及ぼす影響について検討するため、主枝高が 1.8 m で結果枝を水平に誘引した一文字整枝樹を供試し、主枝高 0.6 m で結果枝を垂直に誘引した従来の一文字整枝樹と比較した。その結果、従来の主枝高 0.6 m の一文字整枝樹は低温障害によって 2 年連続で地上部が枯死したが、主枝高を 1.8 m とした区では低温障害による枯死樹は発生しなかった。また、収量は少ないが果実品質は良好であった。主枝高が高い場合、早朝の冷え込みが緩和されるとともに、日中の日射による樹体温の温度上昇も少ないことが、枯死樹が発生しない要因の一つとして示唆された。

第4-1表 主枝高が低温障害発生に及ぼす影響

主枝高 (m)	2009年		2010年 ^z	
	萌芽率 ^y (%)	枯死樹率 ^x (%)	萌芽率 ^y (%)	枯死樹率 ^x (%)
0.6	2.4	100.0	5.0	100.0
1.8	83.8	0.0	96.7	0.0
有意性 ^w	**	**	**	**

^z 2010 年の0.6 m区は前年度防寒被覆樹を参考として供試

^y 結果母枝完全芽の萌芽率%(2009年5月12日, 2010年5月10日調査)

^x 地上部の枯死樹率%(2009年10月8日, 2010年10月10日調査)

^w **: 1%水準で有意差あり(Arcsin-Radian変換後t-検定法)

第4-2表 主枝高別のイチジク主枝背面の表面温度(2009年)^z

主枝高 (m)	5:20(気温: 1.3 °C)			14:30(気温: 19.2 °C)		
	最高(°C)	最低(°C)	平均 ^y (°C)	最高(°C)	最低(°C)	平均(°C)
0.6	-1.9	-4.0	-3.2	44.4	24.4	35.6
1.8	-0.5	-2.7	-1.7	43.0	23.8	32.8
有意性 ^x	—	—	**	—	—	**

^z 2009年3月11日, 5時20分と14時30分に測定

^y 測定エリア(約0.02 m²)内すべてのデータの平均

^x **: 1%水準で有意差あり(t-検定法)

第4-3表 主枝高別のイチジク主枝背面の表面温度(2010年)^z

主枝高 (m)	5:00(気温: 0.4℃)			14:00(気温: 18.3℃)		
	最高(℃)	最低(℃)	平均 ^x (℃)	最高(℃)	最低(℃)	平均(℃)
0.6 ^y	-0.8	-5.1	-2.8	36.6	17.8	28.0
1.8	0.5	-3.4	-1.8	34.3	16.3	26.1
有意性 ^w	—	—	**	—	—	**

^z 2010年4月25日, 5時00分と14時00分に測定

^y 0.6 m区は前年度防寒被覆樹を参考として供試

^x 測定エリア(約0.02 m²)内すべてのデータの平均

^w **:1%水準で有意差あり(t-検定法)

第4-4表 主枝高がイチジクの生育に及ぼす影響

主枝高 (m)	兵庫県加西市(2008年)			大阪府羽曳野市(2011年)		
	新梢長 (cm)	副梢数 (本／枝)	新梢基部径 (mm)	新梢長 (cm)	新梢重 (g)	節数
0.6	153.5	4.3	27.5	118.1	238.5	16.6
1.8	98.8	0.0	24.0	102.5	300.2	17.5
有意性 ^z	**	**	**	**	**	N.S.

^z **: 1%水準で有意差あり, N.S.: 有意差なし(t-検定法)

第4-5表 主枝高がイチジクの果実品質および収量に及ぼす影響(2008年)

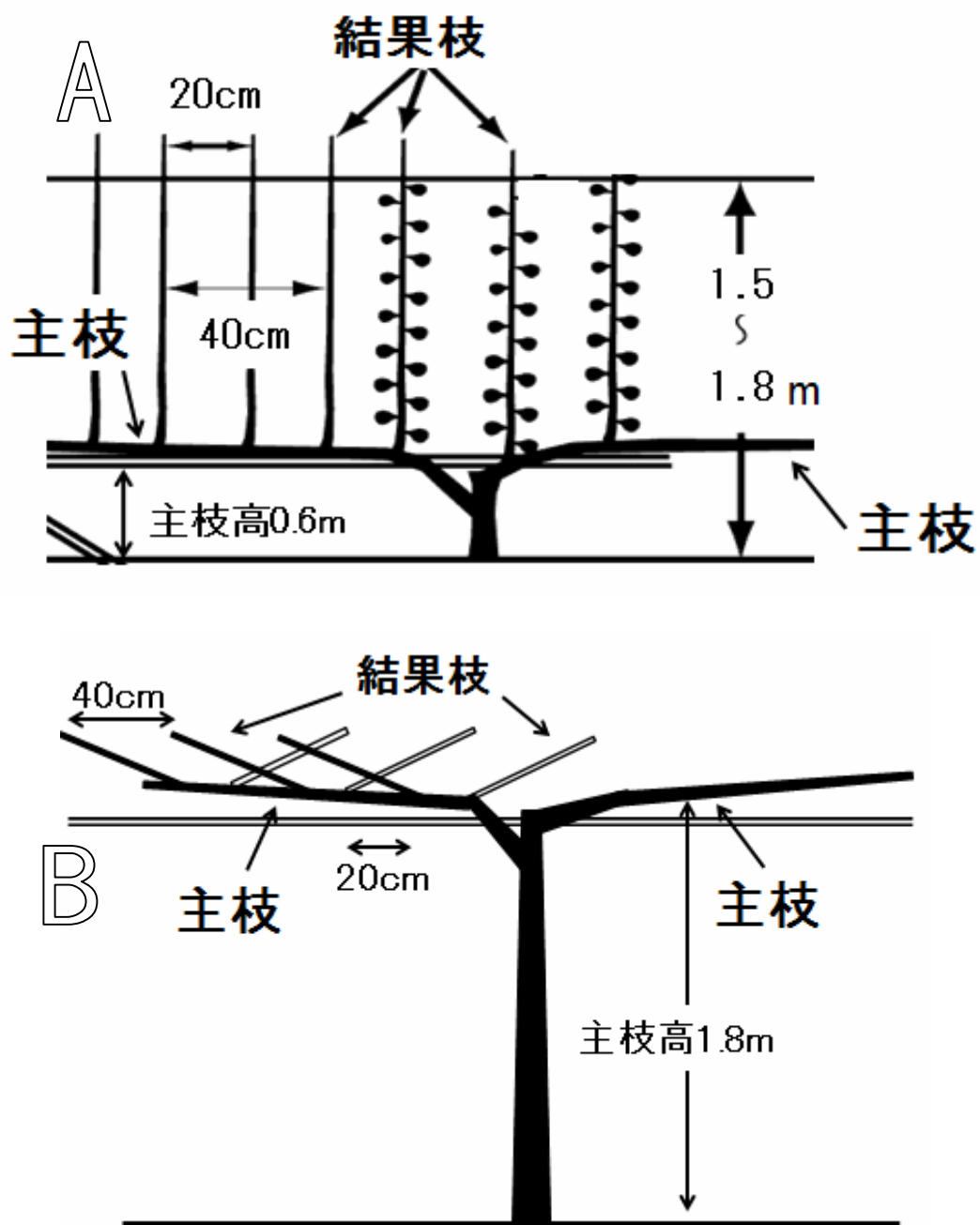
主枝高 (m)	果実重 (g)	果皮色 (カラーチャート)	糖度 (Brix)	収穫果数 (個／枝)	収量 (kg／10 a)
0.6	93.0	6.3	14.7	20.5	4707.5
1.8	85.9	7.6	15.5	15.5	3127.8
有意性 ^z	*	**	N.S.	**	**

^z** : 1%水準で有意差あり, * : 5%水準で有意差あり, N.S. : 有意差なし(t-検定法)

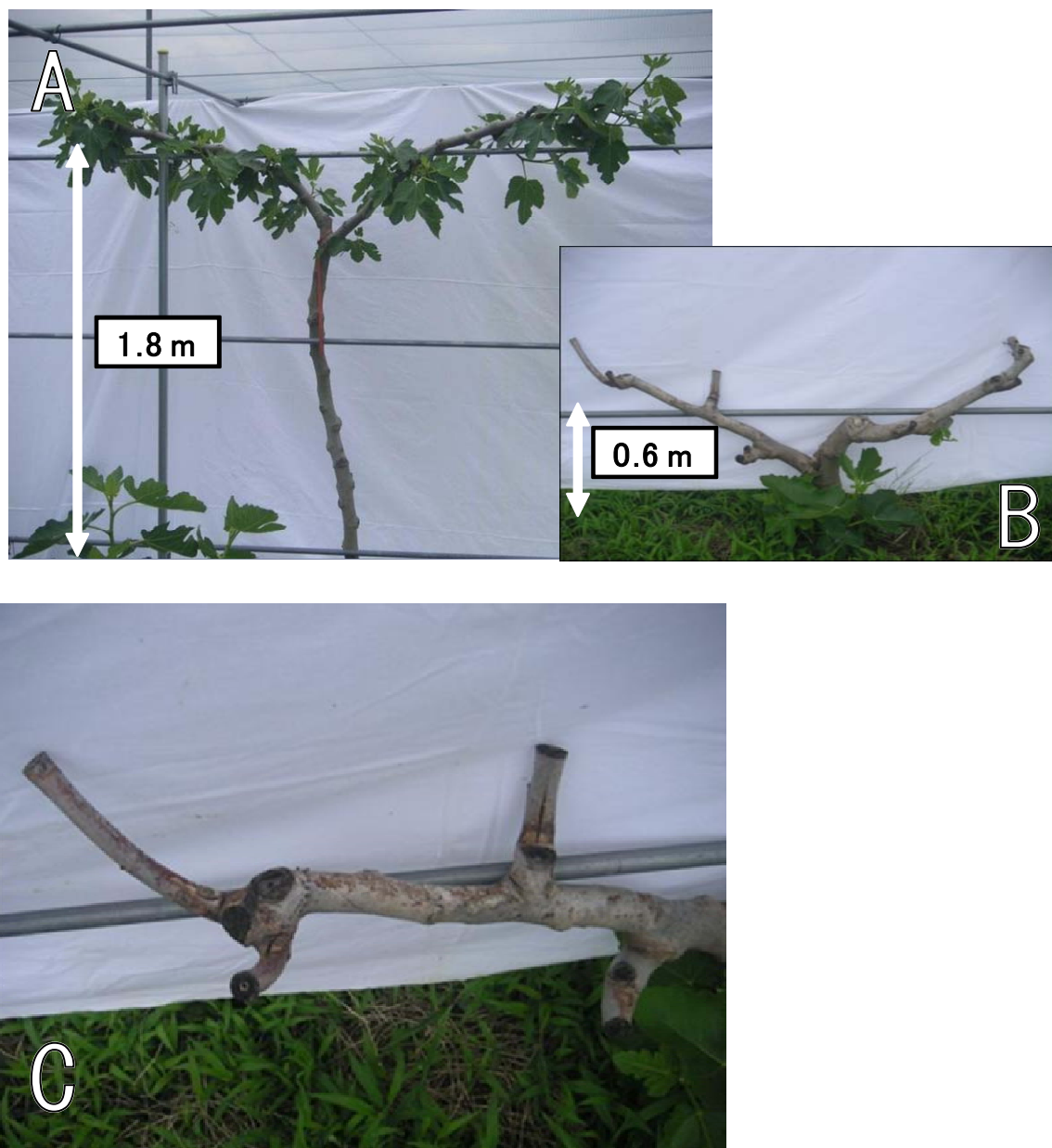
第4-6表 主枝高がイチジク1年生枝の貯蔵養分
に及ぼす影響(2011年)

主枝高 (m)	乾物率 (%)	デンプン含量 (mg/g・fw)	全可溶性糖 (mg/g・fw)
0.6	42.3	8.25	37.03
1.8	45.7	7.11	39.25
有意性 ^z	**	N.S.	*

^z **: 1%水準で有意差あり, *: 5%水準で有意差あり,
N.S.: 有意差なし(t-検定法)



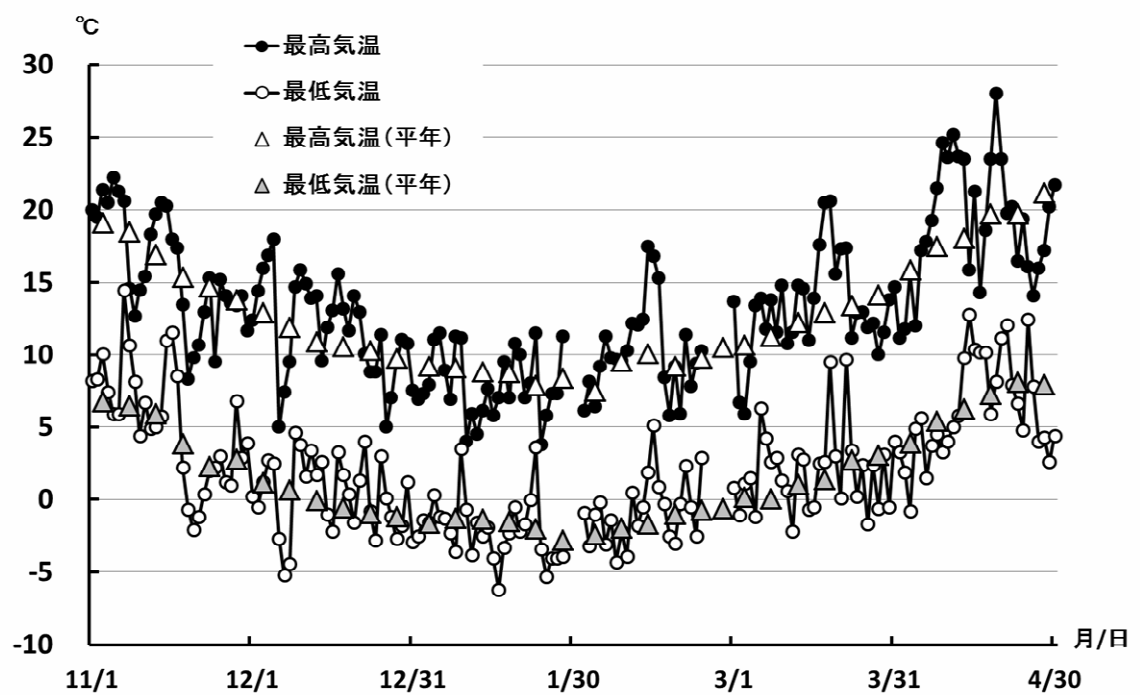
第 4-1 図 供試樹の樹形模式図 (A: 主枝高 0.6 m(慣行一文字整枝)区, B: 主枝高 1.8 m 区)



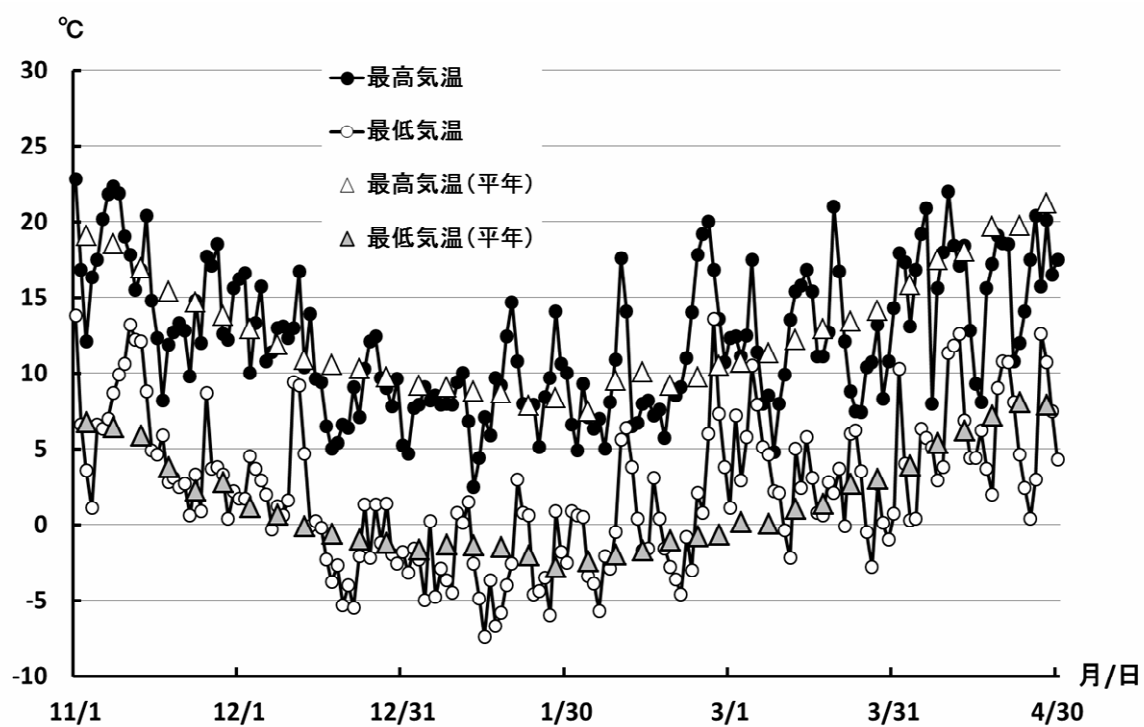
第 4-2 図 主枝高がイチジクの低温障害発生に及ぼす影響

(A : 1.8 m, B : 0.6 m, C : 0.6 m 区拡大図)

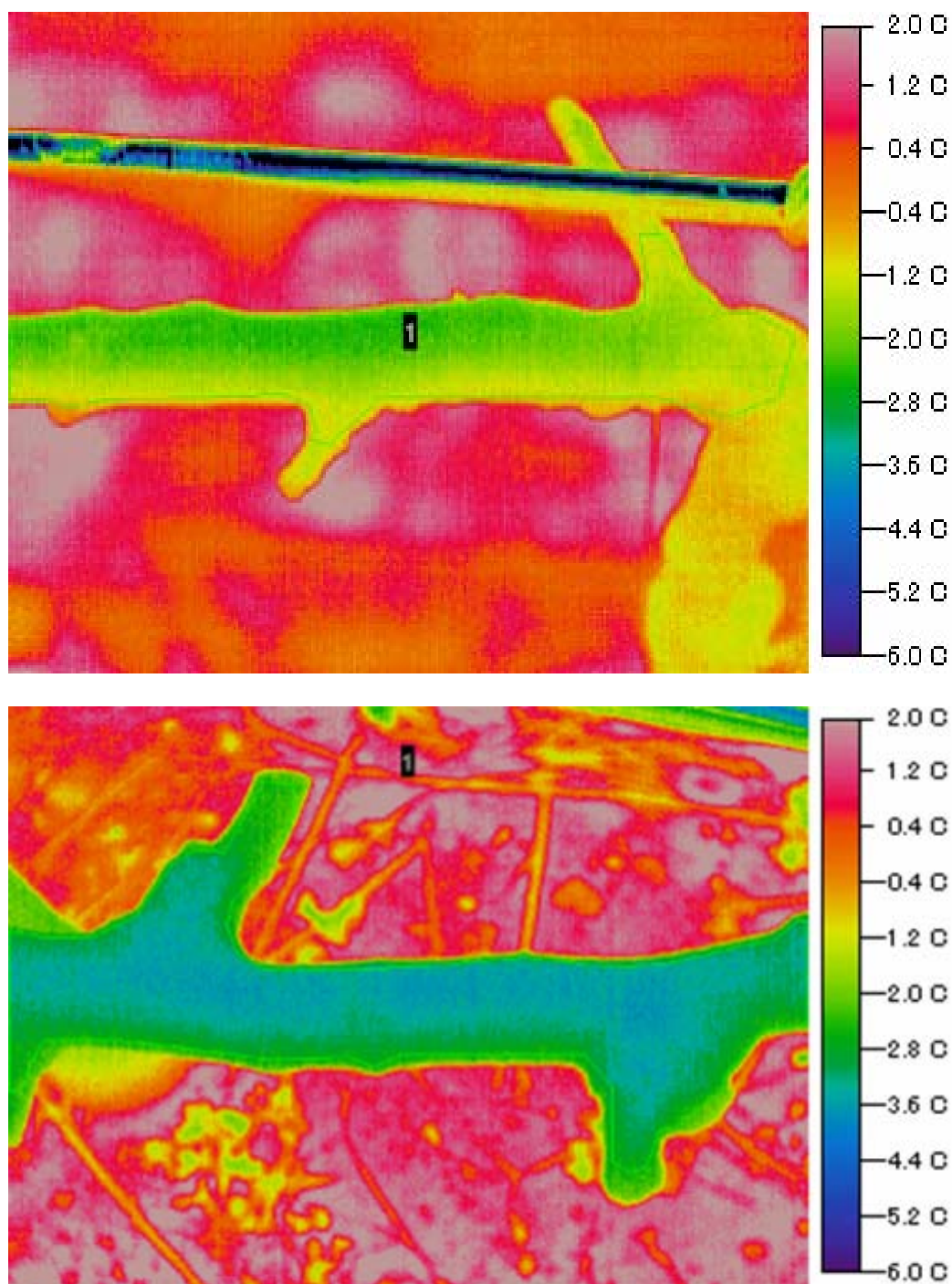
(2009 年 6 月 4 日)



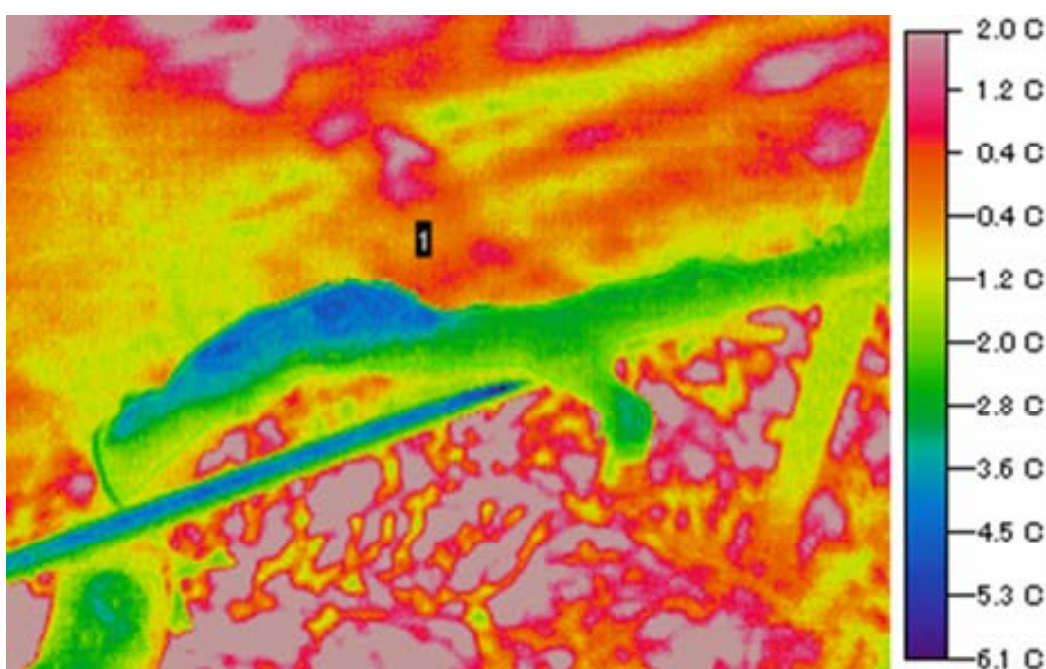
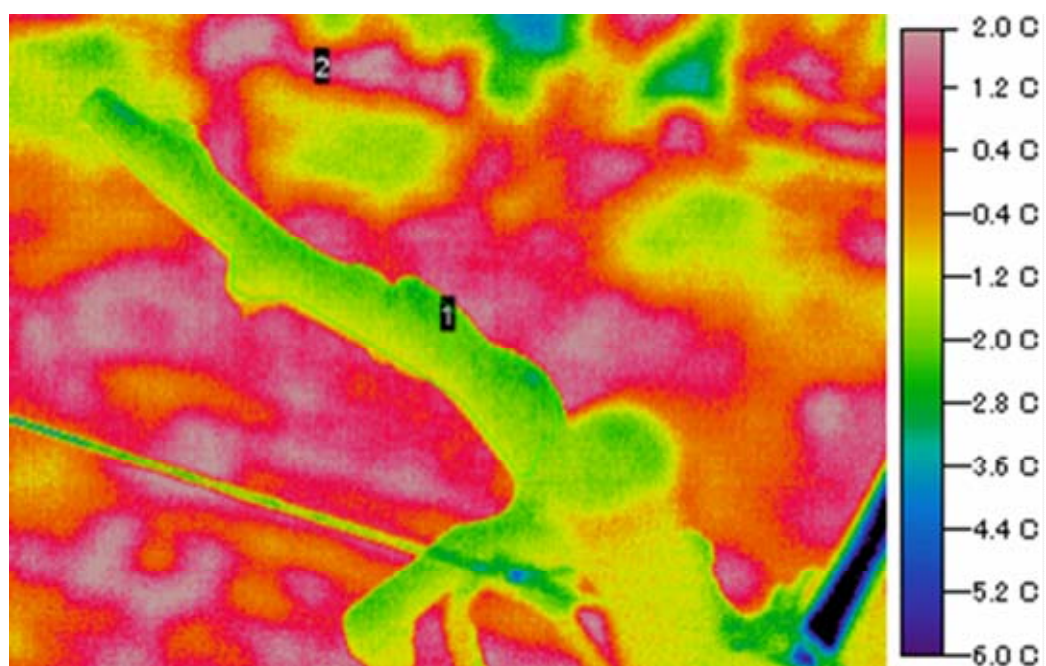
第 4-3 図 2008 年 11 月～2009 年 4 月の気温



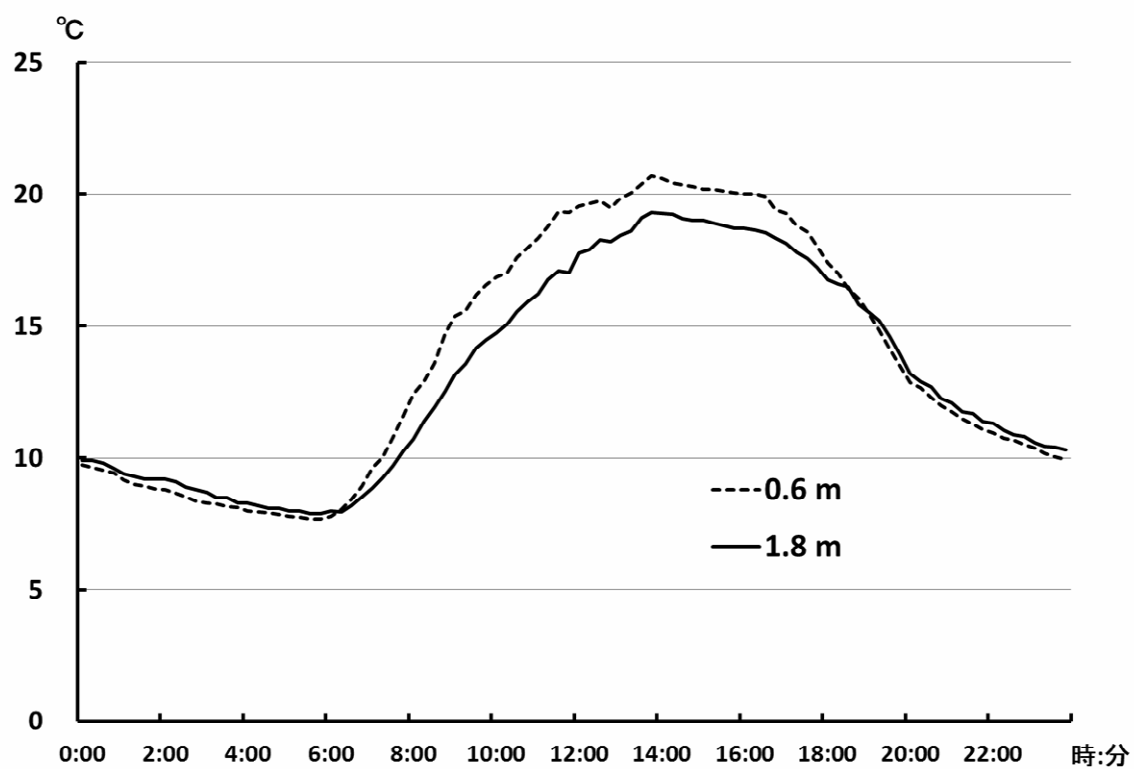
第 4－4 図 2009 年 11 月～2010 年 4 月の気温



第 4－5 図 主枝高の異なるイチジクの主枝背面表面温度分布
(上 : 1.8 m, 下 0.6 m) (2009 年 3 月 11 日 5 時 20 分)



第 4－6 図 主枝高の異なるイチジクの主枝背面表面温度分布
 (左 : 1.8 m, 右 0.6 m) (2010 年 4 月 25 日 5 時)



第 4－7 図 地表面からの高さが時刻別の気温に及ぼす影響
(2009 年 4 月 1 か月平均)



第 4-8 図 生育期の主枝高 1.8 m 樹
(点線部は主枝, 新梢の配置)

第5章 総合考察

イチジクは、わが国で栽培されている落葉果樹の中で最も低温に弱い。その中でも生産量の70%以上を占める‘榊井ドーフィン’は、イチジクの品種の中でも低温に弱く、低温障害の軽減ないし防止対策の確立はイチジク栽培の生産振興上、極めて重要な課題である。

第2章では、イチジク品種‘榊井ドーフィン’の1年生枝に環状剥皮処理を行い、低温障害の発生条件を樹体の生育ステージや貯蔵養分を主体とした栄養条件の面から検討した。その結果、前年の秋季に環状剥皮を行った1年生枝を挿し穂として挿し木を行った場合、露地圃場、ポットでの低温処理試験、いずれにおいても萌芽が遅くなり、低温障害が軽減された。これらの挿し穂の貯蔵養分は、環状剥皮を施し、かつ、より下位節から採取した挿し穂の方が糖やデンプン含量が高く、遅く萌芽して芽の枯死が少なかった。さらに、露地圃場に定植した幼木についても、秋季に環状剥皮を行った枝の糖とデンプン含量が高く、厳寒期の低温障害が少なかったことから、環状剥皮は貯蔵養分含量を高めることによって耐凍性を高めたと判断された。

これらのことから、イチジク品種‘榊井ドーフィン’に対する環状剥皮処理は、休眠枝の貯蔵養分を高め、その生育ステージが遅延することによって、萌芽期や厳寒期の低温障害を軽減する効果があると考えられた。低温障害の防止のために環状剥皮を適用する場面としては、若木で樹勢が強く、樹体の充実が劣ると判断される場合であり、10月の養分蓄積期に樹単位で実施する方法が妥当と考えられる。一方、環状剥皮はその後の生育に悪影響を及ぼす可能性があるため、樹勢の弱い樹への適用は避けるとともに、癒合しやすいように剥皮の幅を

調節する必要があることが明らかになった。また、環状剥皮を行う以外にも、秋季の貯蔵養分を多く蓄積し、充実した樹体を作ることができるよう、徒長や遅伸びをおさえ、病虫害などによる早期の落葉を防止することも重要であると考えられる。

第3章における超密植栽培法は、本来栽植後1～2年での早期成園化を目的として開発したものであり、真野・濱田ら（2005）は2年で早期成園化が可能であることを明らかにしている。一方、イチジクは、連作に伴ういや地現象が顕著な果樹である（平井 1956）。イチジクのいや地現象は、まず樹勢低下による結果枝の伸長不足とそれに伴う果実の着果不足、小玉化による著しい収量減となって現れる。その原因として、センチウによる被害説（Condit 1947; 佐藤・七条 1953; Taylor 1943）や樹体に含まれる毒物質を原因とする説（平井・平野 1949）、細菌や糸状菌も複合的に影響を及ぼしているとする説（細見 2005）などが報告されているが、その対策は強勢台木を使用する方法（細見 2005）以外に確立した方法はない。現状では2年程度栽培を休止し、その間水田へ転換することによって対応している。しかし、これは数年に及ぶ収穫皆無となる期間を生みだし、結果として栽培者の栽培意欲をそぐため、イチジク栽培振興上、長年にわたる課題となっている。

そこで、真野ら（2011）は、いや地現象が予想される連作地において、通常の栽植密度（1.8 m×4.0 m）の2倍（1.8 m×2.0 m）から5倍（1.8 m×0.8 m）の超密植栽培を行い、強せん定によって株当たりの結果枝数を強く制限し、樹勢の維持を試みている。その結果、超密植は果実品質を保ちながら樹勢と収量の維持が可能であり、連作地の樹勢低下対策として有効であることを明らかにし

ている。第3章は、その試験期間中に発生した低温障害に対し、超密植が収量の早期回復が可能であるかを検討したものである。その結果、イチジク樹が低温障害を受けた場合、著しい収量の低下が認められたが、密植するほど収量の減少が小幅であり、密植によって樹勢、果実品質および収量も早く回復し、株間0.8 m区では凍害発生後2年目には元の水準に回復できることが明らかになった。従って、本試験では低温障害が発生した事後対策としても超密植栽培が有効であることを示すことができた。兵庫県内の低温障害の発生が多い地域においても、低温障害そのもので地下部まで枯死した例はなく、甚大な被害が生じた場合も密植によって早期に回復できると考えられる。ただし、早期に回復したとしても低温障害発生当年の収量減は大きく、低温障害が生じないように防寒対策や樹体の充実に努めることがまず重要である。

このように、超密植栽培は改植地における連作地の樹勢低下対策として有効であるが、通常の園地において超密植を行った場合は、強せん定によって樹勢が過度に強くなり樹冠内部への日射量が低下し、着色、糖度などの果実品質が低下することが想定される。また、強せん定によって強樹勢となる条件下においては、第2章で示されたように、樹体の充実度の面（貯蔵養分）からはむしろ低温障害の発生を助長する可能性もある。そこで、前述の凍害後の収量回復に加え、超密植により強樹勢となったイチジク樹に対して7～10月の間、不織布マルチを行い、不織布マルチが樹体の生育と果実品質に与える影響を検討するとともに、強樹勢を抑制する手段としての不織布マルチ栽培の可能性を検討した。その結果、超密植栽培で樹勢の強いイチジクに対して不織布マルチを行い、pF2.5程度を維持できれば、超密植樹の樹勢を抑制でき、収穫時期も早まる

とともに着色、糖度などの果実品質も向上することが明らかになった。ただし、本研究においては、夏季の不織布マルチの被覆によって低温障害の発生がどのように変化するかは検討していない。不織布マルチの被覆は、徒長気味の樹勢を抑制し、樹体の充実度を高めることによって低温障害を軽減できる可能性があるものの、水分抑制が過度になった場合は早期落葉などを引き起こし、秋季の貯蔵養分の蓄積を阻害することによって、逆に低温障害の発生を助長する可能性もある。真野ら（2012）は弱樹勢樹における不織布マルチの被覆は、樹勢の低下をさらに助長することを明らかにしており、これらの処理が樹体の貯蔵養分に与える影響も検討する必要がある。また、冬季に地表面に植生などが存在した場合には、土壌からの熱伝導が妨げられるためより低温になる（田中ら 1960）ため、冬季に地表面に不織布マルチの被覆を継続することは、より低温障害を助長する可能性がある。

慣行の一文字整枝法におけるイチジクの栽植密度は、125～139 本／10 a であり、これは他の樹種と比較しても多い（株本 1986）が、超密植栽培においては、さらに 2～5 倍の栽植密度となるため、苗木の確保が課題となることが想定される。しかし、イチジクは挿し木による苗木の繁殖が極めて容易であるため、開園時に直接栽植位置に挿し木を行い、そのまま苗木を養成する方法も開発されている（真野ら 2010a）。この方法は植え替えの労力の省力化とともに、苗木の根を傷めないため生育が良好であり、生産現場での普及が進んでいる。

不織布マルチの被覆は、本研究では超密植栽培の樹勢抑制を主目的にその試験を行ったが、本来は夏秋期の降雨に伴う品質低下を防止し、高品質果実生産を行うために利用されている。資材コストは約 12 万円／10 a を要するが、多雨

時には腐敗果の発生率が半分以下に減少するとともに、糖度、着色の向上効果、さらには反射光によるアザミウマ類の耕種的防除効果も認められ（真野 2004）、年によっては 30 万円／10 a 程度の粗収益増が見込まれるため、近年急速に普及している。乾燥時のかん水量や肥培管理法の確立が今後の課題であるが、これらの点についても様々な知見（真野ら 2012）が明らかになりつつあり、さらに発展が期待される。

第 4 章では、省力的かつ安定した方法で低温障害を軽減するため、主枝高を高く配置し、新梢を水平方向に誘引した整枝法を開発し、本整枝法がイチジク樹の低温障害の発生に及ぼす影響と生育、収量および果実品質について検討した。

近年、イチジク栽培において大きな問題となっている病害にイチジク株枯病（*Ceratocystis* sp.）がある（加藤ら 1982; 梶谷・兼松 1997）。本病害は土壌伝染性病害で、地際から材部を侵し枯死させる。登録農薬はあるが、いったん発生した園での完全防除は難しい。現在、既存の品種からの選抜（細見 2008）および育種（野方ら 2010b）によって抵抗性台木を用いた発病回避の試みがなされているが、発病樹の発病部位である地際部から離れた枝からも病原菌が検出されるのみならず、外観の健全な枝からも病原菌が検出されることから、抵抗性台木が短い場合には病原菌が上位進展し、罹病性の栽培品種が発病する可能性が指摘されている（清水・三好 1999）。そこで、主枝高を高くすることによって抵抗性台木部分を長く保ち、株枯病を回避することが検討されている。本整枝法は、この中で考案されたもので、ナシやブドウの棚栽培に近い主枝高に仕立てることから、‘棚一文字整枝法’と命名している。現在、新梢の誘引方法（細見・

三輪 2010) や抵抗性台木の実用性 (栗村・野方 2008)、台木の種類や台木の主幹長 (尾形ら 2009) などの開発に取り組んでおり、様々な角度から本整枝法の技術確立に向けて共同で検討がなされている。このうち本研究では自根苗の‘榊井ドーフィン’を供試し、棚一文字整枝における主枝の高さが低温障害の発生に及ぼす影響を検討した。

その結果、従来の主枝高 0.6 m の一文字整枝樹は低温障害によって 2 年連続で地上部が枯死したのに対し、主枝高を 1.8 m とした本整枝法では低温障害による枯死樹は発生せず、本整枝法が従来の一文字整枝法より低温障害に強いことが明らかになった。主枝高を高く配置することによって樹体温度の日較差が少ないこと、また、貯蔵養分 (糖) が多いことが、その要因として示唆された。貯蔵養分が多いことによって耐凍性が増強される可能性については、第 2 章においても示唆されており、樹体温度の変動を防止するとともに、充実した樹体を作る上で本整枝法は有効であると考えられる。特に、気温の日較差の大きい内陸部においては、低温障害の軽減により栽培適地を拡大する整枝法として期待される。ただし、極端に高い主枝高は、生産現場においては作業性を損ねるため、今後は収穫等他作業との兼ね合いの中で、適正な主枝高を検討する必要がある。

低温障害対策のための防寒被覆は、防寒資材の確保と多大な労力を要する。防寒被覆を行った場合、防寒に要する労働時間は約 16 時間/10 a であり、年間作業時間の 4% 程度を占める (兵庫県、未発表) ため、低温障害常襲地以外では行われていない。このような地域で不時の低温障害が発生した場合は、慣行の一文字整枝の収量は 1/10 程度になり、減収も数年続くことから、主枝高を上げ

て低温障害を回避することは、経営上のリスク軽減に大きく貢献できると考えられる。

以上より本研究では、

- 1 環状剥皮による萌芽遅延と貯蔵養分の蓄積増強を図り、既存樹に対する低温障害を軽減する。
- 2 不時の低温障害発生時の事後対策として、超密植栽培による収量の早期回復を図る。
- 3 超密植などによる強樹勢抑制と果実品質向上のための不織布マルチ被覆を行う。
- 4 低温障害が発生しやすい地域や、低温障害のために栽培が行われてこなかった地域における新規開園時の整枝法としては、‘棚一文字整枝’を適用する。

の4点がイチジクの生産現場における低温障害軽減技術として、有用なことを明らかにした。これらの技術は、低温障害の発生状況、園地の栽培年数、土壌等の栽培条件など、各地域のさまざまな状況に対応して適用するか、もしくは複数の技術を組み合わせ、低温障害に対してより強いイチジク栽培を実現できるものとして、今後さらなる発展が期待できる。

Summary

Studies on Development of Cultivation Techniques for Alleviation of Low

Temperature Injury of Fig

The objectives of this study were to establish cultivation technique for alleviation of low temperature injury of fig (*Ficus carica* L.) cultivar 'Masui Dauphine'. To this end, we examined the following three aspects, i) development and investigation of the effects of girdling on low temperature injury, ii) development and investigation of the effects of super-high density planting for early recovery from low temperature injury with or without non-woven fabric sheet mulch treatment and iii) development and investigation of the effects of height of primary scaffold branch on low temperature injury, growth, yield and fruit quality characteristics. The highlight of these investigations is provided below.

1. Development and investigation of the effects of girdling on low temperature injury of fig

We examined the influence of girdling on low temperature injury of fig. Low temperature injury was observed in cuttings planted in the field at the bud breaking stage. Injury was alleviated in the cuttings with girdling during the previous autumn due to delayed bud breaking. In addition, when the girdling-treated scion was separated into three portions: top, intermediate and basal (according to the growing order) with each having 2-3 buds, the cuttings in the basal portion were less susceptible to low temperature injury than cuttings from the top and intermediate portions. The buds in the potted-cuttings could not survive at less than -3 °C after low temperature treatment at the bud breaking stage. However, buds from the potted-cuttings with girdling during the previous autumn recorded

less low temperature injury and showed increased sugar and starch contents. There was also delayed bud breaking in potted-cuttings with girdling. Higher sugar and starch contents and less low temperature injury during the cold season were observed in the scion from field-grown young fig trees with girdling during the previous autumn compared to that without girdling. Thus, it is suggested that girdling can ameliorate low temperature injury both during the cold season and at the bud breaking stage by enhancing the reserve nutrients in dormant branches and delaying the date of bud breaking.

2. Development and investigation of the effects of super-high density planting of fig for early recovery from low temperature injury with or without non-woven fabric sheet mulching

We investigated the effect of super-high density planting for early recovery from low temperature injury in fig over a five-year period. Towards this end, fig trees were planted at either 0.8 m or 2.0 m planting distance (super-density planting), in comparison to the conventional 4.0 m planting distance on the continuous cropping field. When trees were exposed to low temperature injury in a given year, notable reduction in yield was observed according to the length of the planting distances (i.e. $0.8\text{ m} < 2.0\text{ m} < 4.0\text{ m}$). Furthermore, tree vigor and total yield were regained earlier in super-high density planting with 0.8 m planting distance relative to 2.0 m and 4.0 m. After two years, the level of yield recovered from the 0.8 m treatment was similar to the yield before the onset of low temperature injury. There was no difference in the quality of fruit between trees grown at these two different planting distances. The result of this study indicated the effectiveness of 0.8 m planting distance for early recovery from low temperature injury in fig cultivation. We

also investigated the effects of non-woven fabric sheet mulch on the growth and fruit quality of fig with super-high density planting. Mulching treatment generally improved coloration and total soluble solid contents in fig fruit. Mulching controlled the excess tree vigor and improved fruit quality with earlier harvesting date caused by high density cultivation under the water condition of $pF \leq 2.5$.

3. Development and investigation of the effects of height of primary scaffold branch on low temperature injury of fig

We investigated the effects of height of primary scaffold branch on the low temperature injury, growth, yield and fruit quality in fig. The primary scaffold branch was adjusted to 1.8 m with straight line having horizontal direction of the fruit bearing shoots, compared with the conventional system of adjusting the primary scaffold branch to a height of 0.6 m with straight line having vertical direction of the fruit bearing shoots. The trees of the 1.8 m-high scaffold branch system showed less injury (0 % mortality) in spring over the successive two seasons, while those of the conventional 0.6 m-high system suffered 100 % injury. Fig growth and yield were undermined but fruit quality was much improved in the 1.8 m-high system relative to that of the conventional system. One of the reasons for the less injury associated with the new system may be ascribed to the observation that the high primary scaffold branch can narrow the early morning and daytime temperature difference on the upper surface of the branch. The adoption of the 1.8 m-high scaffold branch system is therefore expected to improve fig fruit quality and reduce low temperature injury.

謝 辞

本研究の遂行ならびに本論文のとりまとめにあたり、筑波大学大学院教授（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栽培・流通利用研究領域）森口卓哉博士には、終始懇切な御指導と御校閲を賜りました。謹んで深甚なる感謝の意を表します。また、筑波大学大学院教授山本俊哉博士、同大学院教授弦間洋博士並びに、同大学院准教授池谷祐幸博士には本論文の御校閲と有益な御助言を頂きました。謹んで深謝の意を表します。

本研究の遂行にあたり、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栽培・流通利用研究領域の方々には、多大な御協力をいただきました。伊東明子博士、杉浦俊彦博士には分析と論文のとりまとめに御協力と御助言をいただきました。さらに杉浦俊彦博士には、2002年1月～3月における同所（当時環境応答研究室）での研究員派遣研修においても研究計画の立案、実施および分析に元当時環境応答研究室長の黒田治之博士とともに多大な御協力と御助言をいただきました。心より深謝の意を表します。また、サンプル提供と調査に御協力をいただいた大阪府環境農林水産総合研究所の細見彰洋博士、磯部武志氏、三輪由佳氏、圃場の提供と調査に御協力をいただいた姫路市園芸センター（現姫路市農業振興センター）脇坂久起氏に心より深謝の意を表します。

本研究は、筆者が兵庫県農林水産技術総合センター農業技術センター農産園芸部および北部農業技術センター農業・加工流通部に勤務しながら、筑波大学大学院生命環境科学研究科に在籍し行われました。多大なる御配慮と、御激励を頂きました前兵庫県農業技術センター所長時枝茂行氏、前農産園芸部長（現：神戸農業改良普及センター所長）三崎恒敏氏、農産園芸部長小林保氏、同主幹

福島昭氏並びに同果樹担当職員各位、北部農業技術センター所長長谷川隆一氏、同農業・加工流通部長永井耕介博士、同果樹担当職員各位に深謝の意を表します。また、農業大学校果樹専攻生その他、大勢の関係者の方々に多大な御協力と御助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

引用文献

- 安藤茂市・岩垣駛夫. 1937. 灌水が和梨二十世紀樹の生育並びに果実の發育, 形質に及ぼす影響. 園学雑. 8: 252-267.
- 栗村光男・正田耕二. 1994. イチジク一文字整枝における温度障害の発生防止. 福岡農総試研報. B-13: 49-52.
- 栗村光男・野方 仁. 2008. イチジクにおける‘CH-13’台木が‘蓬萊柿’の生育, 果実品質に及ぼす影響. 園学研. 7 (別 2) : 169.
- Cohen, A. 1984a. Citrus fruit enlargement by means of summer girdling. J. Hort. Sci. 59: 119-125.
- Cohen, A. 1984b. Effect of girdling date on fruit size of Marsh seedless grapefruit. J. Hort. Sci. 59: 567-573.
- Condit, I. J. 1947. The Fig. The Chronica Botanica Co. Waltham, Mass. U.S.A.
- Cutting, J. G. M. and M. C. Lyne. 1993. Girdling and the reduction in shoot xylem sap concentrations of cytokinins and gibberellins in peach. J. Hort. Sci. 68: 619-626.
- Dann, I. R. , P. H. Jerie and D. J. Chalmers. 1984. Effects of limb girdling on growth and development of competing fruit and vegetative tissue of peach trees. Aust. J. Plant Physiol. 11: 49-58.
- Dubois, M., K. A. Gilles, J. K. Hamilton, P. A. Rebers and F. Smith. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Anal. Chem. 28: 350-356.
- Eisen, G. 1901. The Fig. U. S. Dept. Agri. Div. Pom. Bul. 9: 1-317.
- FAO. 2009. FAO Statistical yearbook. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>

- Fernandez-Escobar, R. , M. P. Lopez-Rivares and M. P. Suarez. 1987. Girdling as a means of increasing fruit size and earliness in peach and nectarine cultivars. J. Hort. Sci. 62: 463-468.
- Goren, R. M. Huberman and E. E. Goldshmidt. 2004. Girdling: Physiological and horticultural aspects. Hort. Rev. 30: 1-36.
- 平井重三・平野 暁. 1949. イチジクの忌地に関する研究（第 1 報）. 忌地現象の確認. 京都大学園藝学研究集録 4: 96-102.
- 平井重三. 1956. 果樹の忌地と改植法. 農及園. 31: 1079-1082.
- 平井重三. 1966. イチジク果実の発育に関する研究. 大阪府大紀要農生. 18: 169-218.
- 平田尚美. 1986. イチジク樹の生育特性. 農業技術大系果樹編 6. イチジク. p. 基 9-19. 農文協. 東京.
- 堀本宗清. 1992. 枝幹の凍害. 農業技術大系果樹編 6. イチジク. p. 技 101-104. 農文協. 東京.
- 堀本宗清・松浦克彦・荒木 斉. 1994. イチジク‘榊井ドーフィン’の耐凍性とアルミ蒸着フィルムによる凍害防止. 兵庫農技研報（農業）. 42: 37-42.
- 堀本宗清・荒木 斉. 1999. クリの冬・春期の枝水分及び木部圧の経時的変化と凍害の関係. 農業気象 55: 25-32.
- 堀内昭作・中川昌一・加藤彰宏. 1981. ブドウの芽の休眠の一般的特徴. 園学雑. 50: 176-184.
- 細井寅三. 1979. 果樹園芸各論 6. イチジク. p.182-198. 養賢堂. 東京.
- 細見彰洋. 2005. イチジク栽培における忌地現象の原因と対策に関する研究.

- 大阪府立大学博士（農学）学位論文.
- 細見彰洋. 2008. イチジク株枯病抵抗性台木 ‘Ischia Black’ の選抜. 近畿中国
四国地域における新技術. 6: 60-62.
- 細見彰洋・三輪由佳. 2010. 結果枝の垂下誘引が棚栽培イチジク ‘榊井ドーフ
イン’ 樹の生育と果実品質に及ぼす影響. 園学研. 9 (別 2) : 141.
- 兵庫県内務部農務課. 1932. 農作物経済調査. 第 6 輯 56: 106-107.
- 株本暉久・中川勝也・中岡利郎. 1981. イチジクの整枝法に関する研究. (第 3
報) 果実の収量, 品質に及ぼす成熟期の受光度の影響. 園学中四国支部要
旨. 20 : 18.
- 株本暉久. 1985. 農業技術大系果樹編 5. イチジク. 技 p.17-18. 農文協. 東京.
- 株本暉久. 1986. イチジクの整枝法に関する生理生態学的研究, 特に新たに考
案した一文字整枝法について. 兵庫農総セ特研報.
- 環境省. 2007. IPCC 第 4 次評価報告書・統合報告書概要 (公式版).
- 加藤喜重郎・廣田耕作・宮川寿之. 1982. イチジクの新病害 ‘株枯病’. 植物防
疫 36: 55-59.
- Kawamata, M., E. Nishida, H. Ohara, K. Ohkawa and H. Matsui. 2002. Changes in the
intensity of bud dormancy and internal compositions of current shoot in fig. J.
Japan. Soc. Hort. Sci. 71: 177-182.
- 梶谷裕二・兼松聡子. 1997. イチジク株枯病菌とサツマイモ黒斑病菌における
rDNA TIS 領域の RFLP 解析. 日植病報. 63: 208.
- 小林 章. 1942. 葡萄の芽の同化・呼吸量並びに転流作用について (第 4 報).
地上部に於ける摘葉, 環状剥皮, 遮光, 補温の処理及び天候 (晴曇) が根

- 群の活動に及ぼす影響. 園学雑. 13: 62-73.
- 小林 章. 1971. 果樹園芸大要. p. 246-248. 養賢堂. 東京.
- 高馬 進・北沢昌明. 1953. 落葉果樹の自発休眠に関する研究. 信州大農紀要. 3: 189-221.
- 黒田治之・西山保直・中島二一. 1985. リンゴ樹の耐凍性の季節的変動に及ぼす土壌水分含量の影響. 北海道農試研報. 141: 29-41.
- 黒田治之. 1988. 寒冷地果樹の寒害. 北海道農試研究資料. 37.
- 真野隆司・濱田憲一. 2003. 不透水性白色シートのマルチによるイチジク果実の品質向上. 園学雑. 72. (別 2) : 346.
- 真野隆司. 2004. 透湿性白色シートによるイチジク‘柵井ドーフィン’の高品質果生産. 近畿中国四国地域における新技術. 4: 105-107.
- 真野隆司・濱田憲一. 2005. 超密植がイチジク幼木の樹体生育と果実品質, 収量に及ぼす影響. 近畿中国四国農研. 6: 2-75.
- 真野隆司・水田泰徳・小山佳彦. 2010a. ほ場への直接挿し木法がイチジク樹の生育, 収量, 品質に及ぼす影響. 園学要旨. 平 22 近畿支部: 26.
- 真野隆司・水田泰徳・森口卓哉. 2010b. イチジクにおける低温障害発生の品種間差異. 園学研. 9 (別 2) : 404.
- 真野隆司・水田泰徳・森口卓哉. 2011. イチジクのいや地と低温障害からの早期回復のための超密植栽培. 園学研. 10: 367-373.
- 真野隆司・水田泰徳・森口卓哉. 2012. 樹勢の異なるイチジクへの不織布マルチの被覆とかん水が樹体の生育と果実品質に及ぼす影響. 園学研. (印刷中)
- 松浦克彦・浜田憲一・荒木 斉. 1992. 根域制限栽培における生育期の土壌水分

- がイチジクの生長および果実品質に及ぼす影響. 園学雑. 61(別2): 170-171.
- 松浦克彦. 1993. 各品種の栽培特性. 農業技術大系果樹編 6. イチジク. p. 基
57-62. 農文協. 東京.
- 松浦克彦. 2001. イチジク栽培における着果安定と品質向上に関する生理・生
態学的研究. II. イチジクに対する遮光が樹体生長, 着果, 収量および果
実品質に及ぼす影響. 兵庫農技セ特別研報. 25: 16-32.
- 三好武満・平田克明・柴 寿. 1968. ブドウねむり病の発生機構と原因につい
て. 長野農試報. 33: 86-92.
- 水田泰徳・荒木 斉・外川哲男. 2002. 環状剥皮と結縛が主幹形モモの生育,
果実品質に及ぼす影響. 園学雑. 71(別1): 208.
- Mordechai, E. K., A. Hartmann and O. Bar-Yosef. 2006. "Early Domesticated Fig in
the Jordan Valley," Sci. Mag. 312: 1372-1374.
- 森永邦久. 2004. 温州ミカンにおける周年マルチと点滴かん水同時施肥を利用
した省力的高品質果実生産技術. 農業技術 59: 256-260.
- 森田義彦・石原正義・米山寛一・小黑英一・西田光夫・板倉 勉・臼居 茂.
1955. 果樹園土壌の研究. 農技研報. E 4: 1-144.
- 内藤隆次・植田尚文・山村 宏. 1981. カキ西条若木の結実促進に関する研究
(第1報). 環状剥皮, 剥皮逆接, SADH 散布の効果. 島根大農研報. 15: 12-21.
- 中川勝也・株本暉久・中岡利郎. 1982. カラーチャートによるイチジクの着色
度と果実の品質. p.361-364. 果実および葉のカラーチャートの開発と利用
方法に関する研究集録. 農林水産省果樹試験場. 神奈川.
- 中岡利郎. 1986. 樹形と仕立て方. 農業技術大系果樹編 6. イチジク. p. 技 49-56.

農文協．東京．

野方 仁・栗村光男・石橋正文．2010a．イチジク‘蓬萊柿’のH型整枝の作業性および果実生産性．園学研．9 (別 2) : 140.

野方 仁・栗村光男・石橋正文．2010b．キバル．品種登録 25160.

尾形凡生・眞野嵩史・遠藤 歩・濱田和俊・長谷川耕二郎・細見彰洋・栗村光男．2009．イチジクにおける台木の種類と台木部主幹長が穂木の成長に及ぼす影響．園学研．8 (別 2) : 127.

大西 豊・岩本和彦．1997．凍霜害とその対策．農業技術大系果樹編 4 . カキ．p. 基 15-23．農文協．東京．

大崎 守・佐宗久雄．1942．柑橘の花芽分化期に関する研究（第1報）．園学雑．13: 24-29.

小沢行雄．1977．霜害．p. 510-528．新編農業気象ハンドブック．養賢堂．東京．

酒井 昭．1957．木本類の耐凍性増大と糖類及び水溶性蛋白質との関係．低温科学 生物篇 15: 17-29.

Sakai, A. 1962. Studies on the frost-hardiness of woody plants. I. The causal relation between sugar content and frost-hardness. Contr. Inst. Low Temp. Sci. Ser. B. 11: 1-40.

佐藤公一．1953．農学大系 園芸部門 無花果・梅・杏・李編．無花果．p. 1-53．養賢堂．東京．

佐藤公一・七条寅之助．1953．無花果の跡地実験成績．園学雑．22: 163-166.

沢野 稔．1971．クリ樹の耐凍性に関する研究．IV．摘葉が枝条の耐凍性に及ぼす影響．神戸大農研報．9: 15-19.

- 清水伸一・三好孝典. 1999. イチジク株枯病の発生生態と当面の防除対策. 植物防疫 53: 25-27.
- 杉浦俊彦・黒田治之・杉浦裕義. 2007. 温暖化がわが国の果樹生育に及ぼしている影響の現状. 園学研. 6: 257-263.
- 田中貞雄・谷沢恒夫・佐野 洋・柿沼 計. 1960. 樹林帯の防霜機能に関する研究 (1) 平坦地における樹林帯の防霜機能. 農業気象 12: 97-100.
- Taylor, A. L. 1943. The effect of root-knot on fig seedlings. Plant Dis. Rep. 27: 224.
- 内島立郎. 農業気象災害と対策. III. 最近の異常気象と農業気象災害. 1991. 養賢堂. 東京. 289-303.
- 矢羽田第二郎・野方 仁. 2000. イチジク果実の肥大・成熟に伴う水分含量の増加と細胞壁成分との関係. 福岡農総試研報. 19: 76-80.
- Yamakura, T., A. Hosomi and D. Hirayama. 2008a. Effect of tree spanning on vegetative growth and reproduction in early growth stage in two cultivars of *Ficus carica* L. J. Japan Soc. Hort. Sci. 77: 7-16.
- Yamakura, T., A. Hosomi and D. Hirayama. 2008b. Analysis of aboveground vegetative growth by using the logistic theory of the density effect in young monocultures of *Ficus carica* L. J. Japan Soc. Hort. Sci. 77: 17-23.
- 山本隆儀・奥谷紘平・田中宏幸・川上 晃・金本明洋 2008. 根圏へのマルチ処理が甘果オウトウの裂果, 樹体水分状態, 果実肥大および品質に及ぼす影響. 園学研. 7: 351-358.
- 山根崇嘉・柴山勝利. 2007. ブドウ結果枝における環状剥皮処理の時期, 幅および顆粒数が果皮の着色に及ぼす影響. 園学研. 6: 233-239.

学位論文は下記論文をもとに作成されています。

真野隆司・水田泰徳・森口卓哉． 2011． イチジクのいや地と低温障害からの早期回復のための超密植栽培． 園学研． 10(3): 367-373.

真野隆司・杉浦俊彦・森口卓哉・黒田治之． 2011． 環状剥皮がイチジクの凍害に及ぼす影響． 園学研． 10(4): 573-579.

真野隆司・水田泰徳・森口卓哉． 2012． 樹勢の異なるイチジクへの不織布マルチの被覆とかん水が樹体の生育と果実品質に及ぼす影響． 園学研． 11(2): 219-225.

真野隆司・水田泰徳・伊東明子・磯部武志・細見彰洋・森口卓哉． 2012． 主枝高がイチジクの凍害発生に及ぼす影響． 園学研． 11(3): 351-356.