

序 文

キュウリは、サラダや漬物などの材料となる重要な野菜で、かつては野菜の中で最も産出額が多い施設野菜の代表格であった。ところが、この10年で作付面積は22%減少し、産出額では1994年にトマトにトップの座を譲り、さらに1996年にはイチゴにも抜かれて3位に後退した。その背景としては、消費の減退と価格の低迷、単位面積当たりの収量が伸び悩む一方で生産資材価格の上昇による収益性の低下、これらに起因する後継者不足と生産者の高齢化などが挙げられる。今後、キュウリの生産を維持・発展させるためには、さらなる生産性の向上とともに、雇用労力の導入及び作業の分業化による規模拡大を推進することによって所得の増大を図り、産地を活性化することが必要である。

本特別報告は、キュウリの生産面で重要な課題となっている生産性の向上を目的とした二酸化炭素の効率的施用技術、後継者及び雇用労力を確保する上で求められている労働の快適化を図るための温度管理、苗生産の安定に資する接ぎ木苗の奇形葉発生要因の究明と防止対策からなる3つの課題を取り上げ、「キュウリの促成栽培の生産安定技術及び労働快適化に関する研究」としてとりまとめたものである。

本研究で開発した技術を適用することにより、生産性の飛躍的向上、施設内労働の快適化及び接ぎ木苗の安定生産が可能となり、収益性の向上、雇用労力の確保及び規模拡大が容易になり、もって魅力あるキュウリ経営の構築と産地の維持・発展に貢献することが期待される。

本研究の成果が、関係各位の参考となり、千葉県、そして我が国キュウリの生産振興に寄与することを願うものである。

2012年3月

千葉県農林総合研究センター
センター長 小山 豊

千葉県農林総合研究センター特別報告 第3号

目 次

キュウリの促成栽培の生産安定技術及び労働快適化に関する研究 川城 英夫	1
--	---

**SPECIAL RESEARCH BULLETIN OF THE CHIBA PREFECTURAL AGRICULTURE
AND FORESTRY RESEARCH CENTER**

No. 3 March 2012

CONTENTS

Studies on the Development of Techniques for Stabilizing Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Forcing Production and
for Reducing the Labor Load in Greenhouse

Hideo KAWASHIRO 1

キュウリの促成栽培の生産安定技術及び
労働快適化に関する研究

川 城 英 夫

目 次

第 I 章 序論

第 1 節 研究の背景と目的	1
第 2 節 謝 辞	3

第 II 章 低濃度二酸化炭素施用が促成栽培キュウリの収量に及ぼす影響とその経済性評価

第 1 節 緒 言	4
第 2 節 材料及び方法	
1 キュウリの果実収量に及ぼす二酸化炭素施用の影響	4
2 キュウリ幼植物の生育, 乾物生産に及ぼす二酸化炭素施用の影響	5
第 3 節 結 果	
1 温室内二酸化炭素濃度	5
2 キュウリの果実収量	6
3 二酸化炭素施用の経済性	6
4 キュウリ幼植物の生育, 乾物生産	6
第 4 節 考 察	8

第 III 章 キュウリの促成栽培における温度管理が温熱環境, 作業負担及びキュウリの生育・収量に及ぼす影響

第 1 節 緒 言	9
第 2 節 材料及び方法	
1 変温管理が温熱環境及び作業者に及ぼす影響	9
2 変温管理がキュウリの生育・収量・品質・病害の発生に及ぼす影響	10
3 33℃ 変温管理がキュウリのうどんこ病の発生に及ぼす影響	10
第 3 節 結 果	
1 変温管理が温熱環境及び作業者に及ぼす影響	10
2 変温管理がキュウリの生育・収量・品質・病害の発生に及ぼす影響	10
3 33℃ 変温管理がキュウリのうどんこ病の発生に及ぼす影響	14
第 4 節 考 察	14

第 IV 章 接ぎ木キュウリ苗の奇形葉の発生に及ぼす接ぎ木法, 台木品種及びホウ素処理の影響

第 1 節 緒 言	17
第 2 節 材料及び方法	
1 接ぎ木法の違いが奇形葉の発生に及ぼす影響	17
2 台木品種の違いが奇形葉の発生に及ぼす影響	18
3 ホウ素処理が接ぎ木苗の生育及び奇形葉の発生に及ぼす影響	
(1) ホウ砂葉面散布の影響	18
(2) 接ぎ木前 2 日間の培養液ホウ素施与の影響	18
(3) 接ぎ木後の培養液ホウ素濃度の影響	18

第3節 結 果	
1 接ぎ木法の違いが奇形葉の発生に及ぼす影響	19
2 台木品種の違いが奇形葉の発生に及ぼす影響	20
3 ホウ素処理が接ぎ木苗の生育及び奇形葉の発生に及ぼす影響	
(1) ホウ砂葉面散布の影響	20
(2) 接ぎ木前2日間の培養液ホウ素施与の影響	20
(3) 接ぎ木後の培養液ホウ素濃度の影響	21
第4節 考 察	22
第V章 総合考察	25
第VI章 要 約	29
引用文献	30
Summary	34

第 I 章 序論

第 1 節 研究の背景と目的

我が国におけるキュウリ (*Cucumis sativus* L.) は、2008年の産出額1,417億円、作付面積12,500 haで、産出額はトマト、イチゴに次ぐ重要な野菜である (農林水産省大臣官房統計部, 2010)。キュウリは、かつては野菜の中で最も産出額が多い施設野菜の代表格であったが、この10年で作付面積は22%減少し (農林水産省大臣官房統計部, 2010; 農林水産省経済局統計情報部, 2000)、産出額では1994年にトマトにトップの座を譲り (農林水産省経済局統計情報部, 1996)、さらに1996年にはイチゴにも抜かれてしまった (農林水産省経済局統計情報部, 1998)。

2008年の産出額全国第5位の千葉県においても同様の傾向で、作付面積は1998年の675 haから2008年の544 haと20%、産出額は117億円から99億円と15%減少した (農林水産省大臣官房統計部, 2010; 農林水産省経済局統計情報部, 2000)。一方、施設野菜の生産者の平均年齢は55.5歳、その内65歳以上の就業者の割合は33.9%と推定され (千葉県, 2006)、高齢化が進んでいる。

このような急激な作付面積の減少の背景として、キュウリの消費低迷や後継者の減少、生産者の高齢化に加えて、次に挙げるような収益性の低下や生産上の問題が指摘される (千葉県農林水産技術会議, 2007; 河野, 2000; 黒木, 2000; 大越, 2000; 坂田・鈴木, 2008)。

千葉県におけるキュウリ促成栽培の代表的な産地における経営試算によると1996年には10a当たり収量は15 t、農業所得2,117,909円、1時間当たり所得1,845円 (千葉県農林技術会議, 1996) であったが、2010年では10a当たり収量が15 tで変わらないのに対して、農業所得は1,267,450円、1時間当たり所得は1,085円 (千葉県農林水産技術会議, 2010) となり、大幅な所得低下が生じている。この要因として、集選果施設整備に伴って選果手数料が追加されたことその他、肥料、農薬等の生産資材及び燃料等の価格が上昇している一方で、キュウリの市場価格が低迷し、収量は横ばいで生産性の向上が図られていないことが挙げられる。

また、キュウリの生産上の問題としては、生育促進と増収を図るために栽培施設内を高温・高湿度に管理するいわゆる「蒸し込み栽培」が行われており、劣悪な温熱環境下での日々の作業が後継者にキュウリ生産の魅力を失わせるとともに、雇用労働力の確保を困難にしている。さらに、作業の分業化が進展する中で購入苗が増加しており、このような中で奇形葉の発生が問題となった (千葉県農林水産

技術会議, 2007)。

今後、キュウリ産地の維持・発展を図るためには、生産性の飛躍的向上を実現するとともに、雇用労力の導入及び作業の分業化による規模拡大を推進することによって所得の向上を図ることが求められている。これらを推進する上での重要な課題が生産性の向上、労働の快適化、苗の生産安定 (千葉県農林水産技術会議, 2007) で、これらは全国の主要なキュウリ産地における共通の課題でもある (川島, 2010; 河野, 2000; 黒木, 2000; 宮本・阿部, 2000, 2004; 大越, 2000; 大森, 1999; 坂田・鈴木, 2008) と同時に、我が国の施設園芸における重要な課題ともいえる (荒木, 2008; 兵藤, 2003; 板木, 2003, 2009)。このような背景のもとでキュウリ産地の維持・発展に寄与する技術開発を目的として、次の3つの生産技術上の課題に取り組んだ。

本論の第 II 章では、キュウリの促成栽培における生産性の向上を目的とした二酸化炭素の効率的施用法について検討した。

1800年ころに初めて大気中の二酸化炭素濃度の富化によって植物の生長を促進することが観察され、二酸化炭素施用技術は1900~1930年代初期に欧米を中心として実用化に向けた研究が実施され、スカンジナビア諸国では1970年代にレタスで実用化され、1980年代には欧米を中心に温室で栽培される様々な作物で二酸化炭素施用が行われるようになった (Mortensen, 1987)。

我が国でも、二酸化炭素施用に関する研究は1960年代に開始され (藤井・伊東, 1964)、1970年代になってその関心が急速に高まり、多くの研究が実施された。これらによって得られた成果は、「野菜の炭酸ガス施用に関する試験研究打ち合わせ会議」でとりまとめられた (野菜試験場, 1977)。その後、二酸化炭素施用技術は個別技術から複合環境制御技術の一部として組み立てられ (長岡・高橋, 1983; 関山, 1975)、施設内環境制御技術の重要な部分を占めるに至った。二酸化炭素施用技術の実用化に伴い、施設で栽培される野菜を中心に二酸化炭素施用装置の導入が進み、2007年には全国で1,369 haにまで拡大した (農林水産省生産局生産流通振興課, 2009)。

我が国における現在の施設栽培キュウリに対する二酸化炭素施用基準は、日の出30分後から換気を開始するまでの2~3時間、換気をしなくても3~4時間、晴天時で1,000~1,500 ppm、曇天時で500~1,000 ppmとされ (大須賀, 2003)、本基準は1977に作成されて以来変更されていない (野菜試験場, 1977)。

本基準の施用時間は、換気中に二酸化炭素を施用しても

室外へ散逸して不経済であるとの考えに基づいているが、換気を行っている時間帯でも作物の群落内及び葉面周辺では二酸化炭素濃度が大気より低下することがしばしば観察される(伊東, 1970, 1971; Slack・Hand, 1985)ことから、換気後も二酸化炭素を施用すれば物質生産が促進され、さらに増収する可能性があると推察される。また、大気中の濃度よりやや高い500~800 ppm程度に二酸化炭素を施用すれば、換気による室外への二酸化炭素放出割合が低下し、施用した二酸化炭素の利用率は高まると考えられる(Kamp・Timmerman, 2004; Mortensen, 1987)。そこで、大気中の濃度よりやや高い500 ppmを目標に二酸化炭素を換気中にも施用する管理法が、促成栽培キュウリの生育と果実収量に及ぼす影響を明らかにするとともに、その経済性評価を行った。

本論の第Ⅲ章では、キュウリの促成栽培における労働の快適化を目的として、温度管理が温熱環境、作業負担及びキュウリの生育・収量に及ぼす影響を検討した。

近年、生産者の高齢化、後継者不足、雇用の確保などを背景として、労働の快適化や作業の省力化を目指した様々な取り組みが行われてきた。そして現在、キュウリの生産地では、機械化、施設の装置化の進展、大型集選果施設の整備により省力化・軽作業化・労力削減がかなり進み(千葉県農林水産技術会議, 2010; 川島, 2010; 河野, 2000; 黒木, 2000; 大越, 2000)、残された重要な課題が高温・高湿度管理をしている施設内作業環境の改善である(阿部, 2000; 千葉県農林水産技術会議, 2007; 平間, 2009; 川島, 2010; 河野, 2000; 宮本・阿部, 2000, 2004)。

キュウリは高温・高湿度管理をすると生育が促進される(岩切・稲山, 1975; 長岡ら, 1984; 崎山ら, 2002; 矢吹・宮川, 1970)ため、光合成が盛んに行われる正午ころまで、施設内を気温30~33℃、湿度70%以上にする温・湿度管理が行われている(宮本・阿部, 2004; 土岐, 1987)。

このようなキュウリの生育にとって好適な環境は作業者にとっては不快な環境であり、労働の快適化を図るための様々な工夫や研究が行われてきた。雇用を導入している経営体では、雇用を確保するために自動換気装置による急激な温度変化の緩和、循環扇や遮光資材の利用による温度上昇の抑制などの対策が試みられているが、さらに改善が望まれている(川島, 2010)。

キュウリの施設栽培における作業の快適性に関する環境要因としては、施設内の温度が最も大きいと考えられる(小嶋, 1978)ことから、施設の換気温度を25℃もしくは29℃に低下させて労働の快適化を図ろうとする試みがなされてきたが、キュウリの初期収量が低下したり、快適化が不十分であったりする問題があった(平間ら, 2002; 宮本・阿部, 2004)。また、対策として検討された施設内へ

の細霧噴霧は、室内の湿球黒球温度(Wet Bulb Globe Temperature, ISO7243, 1989. 以下, WBGTとする)を低下させるものの、湿度を高めてべと病や褐斑病の発生を助長する問題があった(阿部, 2000; 松沼, 2006)。

著者は、崎山ら(2001)が報告した気温を低下させてもその後一時的に高温にすると物質生産量の低下が相殺されることに着目し、この温度管理を応用することでキュウリの初期収量を低下させることなく、施設内の作業の快適化を図ることができないかと考えた。

温室内での労働の快適化を目指す本研究は、収穫作業時間帯の午前中の施設内温度を下げ、その代わりに作業終了後に一時的に昇温させる温度管理(以下、変温管理とする)が、施設内の温熱環境、作業者の労働負担及びキュウリの生育・収量・品質・病害の発生に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

第Ⅳ章では、キュウリの育苗の分業化を推進する上で生産上の問題となっている奇形葉の発生要因と防止法について検討した。

我が国で経済栽培されるキュウリの約8割で、接ぎ木が行われている。その主な目的は、つる割病、急性萎ちょう症、ネコブセンチュウなどによる土病病害虫回避、ブルームの発生防止、低温伸長性付与、長期安定収穫を可能にする草勢維持・強化などである(野菜・茶業試験場, 2001)。接ぎ木方法は、これまで主に呼び接ぎが行われてきたが、近年、苗生産の分業化が進むとともに、生産者の高齢化や栽培規模の拡大とともに苗専門業者が生産する購入苗の利用が拡大し、これに伴って接ぎ木法は従来の呼び接ぎが減少する一方で、幼苗斜め合わせ接ぎや断根挿し接ぎ、挿し接ぎが広く行われるようになってきた(野菜・茶業試験場, 2001)。

このような新たな接ぎ木法が開発され普及していく中で、1990年代半ば頃から接ぎ木苗に発生する奇形葉が長野県や愛知県、埼玉県、愛媛県などで問題となり、発生要因の究明と防止対策に向けた研究が行われてきた(大川・大竹, 2000; 山口, 1999; 大和, 1999; 野菜・茶業試験場, 2001)。奇形葉の発生には、穂木の播種から接ぎ木までの期間が短かったり、接ぎ木直後にホウ砂0.2%液を葉面散布することにより防止できる、接ぎ木前後の気温が関係し(浅尾ら, 2004; 大川・大竹, 2000; 山口, 1999; 大和ら, 1999)、奇形葉発生に対する台木の品種間差異はないとされる(大和ら, 1998)ものの、その発生のメカニズムには不明な点が多い(渋谷, 2009)。

千葉県においても接ぎ木苗の奇形葉の発生が問題となったが(千葉県農林水産技術会議, 2007)、現地調査において主に苗の段階、すなわち第2~4葉に奇形葉が発生して定植後に展開する葉にはほとんど発生しないこと、台木品

種によって発生に差のあることが観察され、これまで報告された奇形葉とは発生部位や発生の品種間差異などが異なっていた。

そこで本研究は、千葉県で問題となった奇形葉の発生に及ぼす接ぎ木方法と台木品種の影響を明らかにすることに加え、防止対策とされるホウ素の奇形葉発生防止効果を確認するとともに、接ぎ木前後に与えるホウ素が接ぎ木後の生育と奇形葉の発生に及ぼす影響を明らかにしてホウ素の効果について考察を加えるとともに、これまでに行われたキュウリの奇形葉に関する研究についての総括を試みた。

以上の3課題からなる研究は、キュウリの促成栽培における生産性の向上、温度管理による労働の快適化、苗の生産安定を目指し、これらの技術開発によって魅力あるキュウリ経営の構築に資することを目的とする。

第2節 謝 辞

本論文は千葉大学大学院園芸学研究科博士後期課程において作成したもので、論文をとりまとめるにあたり千葉大学大学院園芸学研究科教授篠原 温博士及び同准教授丸尾達博士には指導教授として親身な御指導と御助言を賜った。千葉大学大学院園芸学研究科教授三位正洋博士及び田代亨博士には貴重な御意見、御指導を賜った。千葉県農林総

合研究センター前センター長宇田川雄二博士には、試験研究遂行の指導を受けるとともに、論文の作成・投稿を強く勧めくださり、著者の背中を後押ししていただいた。本研究は、現在、千葉県農林水産部農林水産政策課崎山 一主幹が取り組んでいた研究課題を引き継いで実施したもので、現場の重要な課題を扱った独創的な研究テーマを与えていただいた。崎山氏には、試験方法から論文の作成に至るまで多くの労を煩わせた。MKVドリーム(株)土屋 和技術士には試験の遂行及びデータの解析等で多大な協力をいただいた。千葉県農林総合研究センター北総園芸研究所東総野菜研究室草川知行主席研究員には、労働の快適化に関する調査に協力いただいた。同前生産環境部病理研究室長竹内妙子博士には、病理実験の指導をいただいた。同センター長小山 豊博士及び川瀬信三次長には、励ましの言葉をかけていただいた。同企画経営部長片瀬雅彦博士には統計処理の方法について有益なアドバイスをいただいた。同前北総園芸研究所長松丸恒夫博士には論文の校閲をいただいた。同企画経営部企画情報室大木 浩主席研究員には、試験の遂行及びとりまとめに際して有益なアドバイスをいただいた。また、実験の遂行において千葉県農林総合研究センター生産技術部野菜研究室内の諸氏には多大な協力をいただいた。ここに記し、衷心より感謝の意を表する。

第Ⅱ章 低濃度二酸化炭素施用が促成栽培キュウリの収量に及ぼす影響とその経済性評価

第1節 緒言

我が国における野菜の施設栽培では、増収を目的として冬季に栽培する果菜類を中心に二酸化炭素施用が行われている(大須賀, 2003)。高温・高湿度管理を行うキュウリ(*Cucumis sativus* L.)の促成栽培では、換気時間が短く、換気窓及び内張りカーテンの開度も小さいために晴天日の日中には二酸化炭素飢餓が起こりやすく、その対策として二酸化炭素施用が行われ、高い増収効果が得られている(板木, 1983; 土岐, 1977)。

施設栽培キュウリに対する我が国の二酸化炭素施用基準は、日の出30分後から換気を開始するまでの2~3時間、晴天時で1,000~1,500 ppm、曇天時で500~1,000 ppmとされている(大須賀, 2003)。これは、本基準の二酸化炭素濃度の範囲に通常の栽植密度及び日射量における二酸化炭素飽和点があり(伊東, 1973)、増収効果も高い(Slack・Hand, 1985, 1986)ことによる。また、植物が日射を受けてから気孔が全開するまでに30~50分を要すること、晴れた日では日の出後30~40分経過した頃に光合成が盛んになって施設内の二酸化炭素濃度が急激に減少すること(伊東, 1970, 1971, 1973, 1977)、換気をともなう日中に二酸化炭素を施用しても室外に散逸して不経済とされ(伊東, 1977; 渡辺・上浜, 1976)、これらの考えに基づいて施用時間が設定されている。

一方、換気を行っている時間帯でも、作物の群落内及び葉面周辺では二酸化炭素濃度が大気より低下すること(伊東, 1970, 1971; Slack・Hand, 1985; 矢吹・今津, 1965)から、換気後も二酸化炭素を施用すれば物質生産が促進され、さらに増収する可能性があると推察される。また、オランダなどで行われているように大気中の濃度よりやや高い500~800 ppm程度に二酸化炭素を施用すれば、換気による室外への二酸化炭素放出割合が低下し、施用した二酸化炭素の利用率は高まると考えられる(Kamp・Timmerman, 2004; Mortensen, 1987)。Slack・Hand (1985)は、換気が頻繁に行われる夏季の施設栽培でも二酸化炭素濃度を450 ppmに高めることによってキュウリの果実収量が22%増加し、費用対効果が高いことを報告している。これらのことから、低濃度の二酸化炭素を換気中にも施用する方法は、1,000 ppm前後で短時間施用する方法に比べてキュウリの増収効果が高く、二酸化炭素の室外への散逸が少ない経済的な施用法ではないかと考えた。

本研究は、大気中の濃度よりやや高い500 ppmを目標に換気中にも二酸化炭素を施用する管理法が、促成栽培キュウリの生育と果実収量に及ぼす影響を明らかにするとともに、その経済性評価を行うことを目的とした。

第2節 材料及び方法

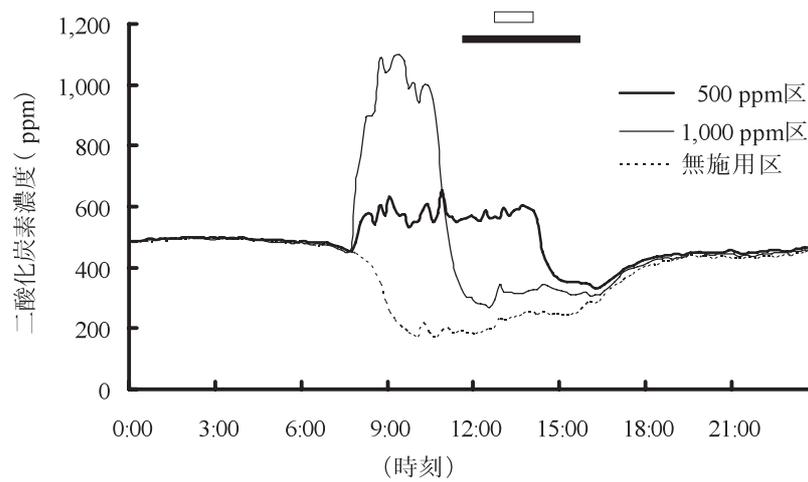
1. キュウリの果実収量に及ぼす二酸化炭素施用の影響

試験は、千葉県農業総合研究センター(現千葉県農林総合研究センター)生産技術部野菜研究室(千葉市)の間口4.8 m、奥行7 m、棟高3.3 mで、1室33.6 m²のガラス温室で実施した。内部に厚さ0.1 mmの農業用ビニルで内張りカーテンを設置し、高さ53 cmの高設床で栽培した。穂木は‘ハイグリーン21’(株)埼玉原種育成会)、台木は‘ひかりパワーゴールド’(株)ときわ研究場)を供試した。

試験区は、7時30分~14時30分までの7時間にわたって二酸化炭素濃度を500 ppmに制御する500 ppm区、7時30分~10時30分までの3時間1,000 ppmに制御する1,000 ppm区、無施用区の3区設け、1区10株3反復とした。

穂木は2003年10月22日、台木は10月23日に播種、11月4日に呼び接ぎを行い、11月20日に2葉期苗を、株間20 cm、417株・a⁻¹で定植した。主枝は6節までの雌花及び子づるを摘除し、7節目から出た子づるを1本放任枝とした。他の子づるは1節で摘心、主枝は13節で摘心した。室温は13時30分まで29℃、以後15時まで25℃、16時30分まで22℃で天窓を開閉し、夜間は13℃に加温した。天窓の開閉及び加温は、Green Kit 102(イー・エス・ディ社製)で制御した。内張りカーテンは2月20日までは11時30分に、それ以降は10時30分に10 cm開け、16時30分に閉じた。施肥は、基肥として窒素2.5 kg・a⁻¹、リン酸3.3 kg・a⁻¹、加里2.5 kg・a⁻¹施用した。その他の管理は慣行に準じた。

二酸化炭素は液化二酸化炭素を用い、高さ1.0 mの位置に1室2本、小孔を開けたビニルチューブを設置して施用した。12月19日、7節目の雌花開花期に二酸化炭素施用を開始し、収穫終了日まで施用した。二酸化炭素は、各区の設定値以下になったら500 ppm区は1度に1分間、1,000 ppm区は1月9日までは1度に1分間、1月10日以降は設定濃度を維持するために同2分間放出した。キュウリ群落内の二酸化炭素濃度は、赤外線二酸化炭素分析計Ventpstat(TELAIRE社製)で測定した。キュウリの果実は2003年1月1日~3月10日まで毎日収穫し、粗収益は月別上物収量に1999~2003年の東京都中央卸売市場の月別平



第1図 ガラス温室内二酸化炭素濃度の日変化

□ は天窓が開いている時刻を示す
 ■ は内張りカーテンを開けている時刻を示す

第1表 二酸化炭素施用が促成栽培キュウリの果実収量に及ぼす影響

試験区	キュウリの果実収量 (kg · a ⁻¹)							
	1月		2月		3月		合計	
	上物	総収量	上物	総収量	上物	総収量	上物 ^z	総収量
500 ppm	445	484	394	458	163	184	1,002 c ^y (155)	1,126 c (150)
1,000 ppm	390	421	377	445	136	147	903 b (139)	1,012 b (135)
無施用	247	281	303	359	98	108	648 a (100)	749 a (100)

^z上物は、曲がり3 cm未満の果実の合計収量

^y同一列の異なる文字はTukey-Kramer法により5%水準で有意差があることを示す

均単価を乗じて算出した。

2. キュウリ幼植物の生育、乾物生産に及ぼす二酸化炭素施用の影響

試験は、前述のガラス温室で実施した。2003年2月17日に培養土げんきくん果菜200（コープケミカル社製）を詰めた播種箱に播種し、播種12日後に本葉未展開のキュウリ苗を播種箱から抜いて根を水洗し、崎山ら（2001）の方法に準じて育苗装置に移植して養液栽培を行った。培養液は大塚A処方（池田，1996）の3・4⁺濃度（EC 2.0 dS·m⁻¹）を用いた。移植14日後の3月15日にキュウリ3.5葉期苗を1株ずつ上記培養液を満たした1・5,000 a¹ワグネルポットに鉢上げし、前述したガラス温室の各処理区に各区7株搬入して二酸化炭素処理を開始した。培養液は、エアープンプによって常時通気処理を行い、処理7日後の3月22日に生育中庸な5株の生育量、乾物重を調査した。

第3節 結果

1. 温室内二酸化炭素濃度

晴天となった2003年2月5日における無施用区の温室内二酸化炭素濃度は、8時頃から低下し始め、9時に300 ppmを下回り、最低濃度は171 ppmとなった。9時～16時30分までの平均濃度は223 ppmであった。500 ppm区では、二酸化炭素施用開始10分後の7時40分から施用を終了した14時30分までの平均二酸化炭素濃度は563 ppmであった。1,000 ppm区では、二酸化炭素施用開始10分後の7時40分から施用を終了した10時30分までの平均二酸化炭素濃度は935 ppmで、二酸化炭素施用中止後には270 ppmにまで低下した。500 ppm区及び1,000 ppm区の二酸化炭素濃度は、16時まで無施用区より高かった（第1図）。

第2表 キュウリ栽培期間中の二酸化炭素施用量

項 目	時 期	500 ppm区	1,000 ppm区
二酸化炭素施用量 (kg・a ⁻¹)	12月19日～31日	21	22
	1月1日～31日	59	70
	2月1日～29日	64	70
	3月1日～10日	26	25
	合計	170	187
1日当たり二酸化炭素施用量 (kg・日 ⁻¹)		3.1	3.5

第3表 二酸化炭素施用の経済性に関する各指標値

項 目	500 ppm区	1,000 ppm区	無施用区
キュウリ上物収量 (kg・a ⁻¹)	1,002	903	648
キュウリ粗収益 (円・a ⁻¹) ^z	355,200	319,800	227,300
二酸化炭素施用による粗収益増 (円・a ⁻¹) ^y	127,900	92,500	—
二酸化炭素施用装置一式 (円・a ⁻¹)	40,000	40,000	—
二酸化炭素施用装置償却年数 (年)	5	5	—
二酸化炭素施用装置減価償却費 (円・a ⁻¹ ・年 ⁻¹)	8,000	8,000	—
液化二酸化炭素施用量 (kg・a ⁻¹)	170	187	—
液化二酸化炭素単価 (円・kg ⁻¹)	140	140	—
液化二酸化炭素施用代 (円・a ⁻¹)	23,800	26,180	—

^zキュウリの月別収量に、1999～2003年までの東京都中央卸売市場の月別単価を乗じて算出した

^y二酸化炭素施用区粗収益－無施用区粗収益の値を示した

第4表 促成栽培キュウリに対する二酸化炭素施用の経済性(円・a⁻¹)

項 目	500 ppm区	1,000 ppm区
二酸化炭素施用による粗収益増	127,900	92,500
二酸化炭素施用に要する経費	31,800	34,280
(二酸化炭素施用装置減価償却費)	8,000	8,000
(液化二酸化炭素代)	23,800	26,280
差し引き収益増	96,100	58,220

2. キュウリの果実収量

収穫期間を通して二酸化炭素を施用した区は、無施用区に対して上物収量、総収量ともに多かった。上物収量は最も多収となった500 ppm区が無施用区の155%となり、1,000 ppm区は同139%となった。総収量も同様で、二酸化炭素施用区は無施用区の135～150%と、大幅な増収となった。二酸化炭素施用区間では、上物収量、総収量ともに500 ppm区が1,000 ppm区に対して15～16%多かった(第1表)。

3. 二酸化炭素施用の経済性

二酸化炭素施用チューブから放出される時間当たり二酸化炭素放出量を試験区ごとに測定し、各区の二酸化炭素放出時間から二酸化炭素施用量を推定した。その結果、栽培

期間中の二酸化炭素施用量は、500 ppm区が170 kg・a⁻¹、1,000 ppm区が187 kg・a⁻¹となり、500 ppm区は1,000 ppm区の2倍以上の時間施用しているにもかかわらず二酸化炭素施用量は9%少なかった(第2表)。

二酸化炭素施用によるキュウリの収量増に伴う粗収益増は、500 ppm区が127,900円・a⁻¹、1,000 ppm区が92,500円・a⁻¹となり、これから二酸化炭素施用に伴う施用装置の減価償却費、施用した液化二酸化炭素代を差し引いた収益増は、500 ppm区が96,100円・a⁻¹、1,000 ppm区が58,220円・10a⁻¹となった(第3表、第4表)。

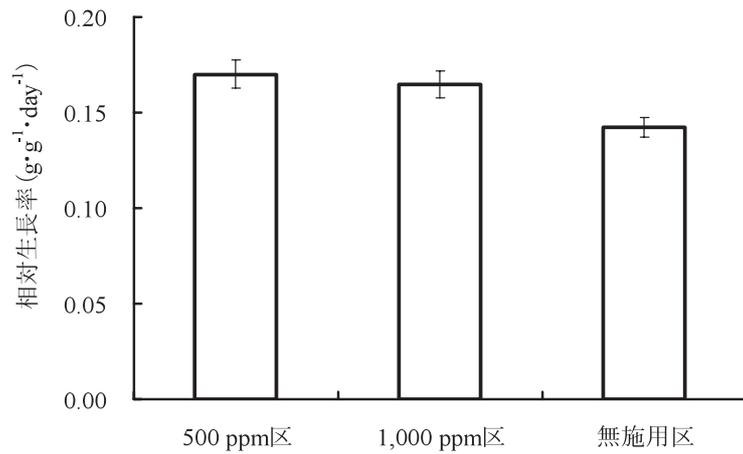
4. キュウリ幼植物の生育、乾物生産

処理開始後7日目のキュウリの生育量は、葉面積、各器官の生体重、乾物重とも、500 ppm区が最も大きく、次い

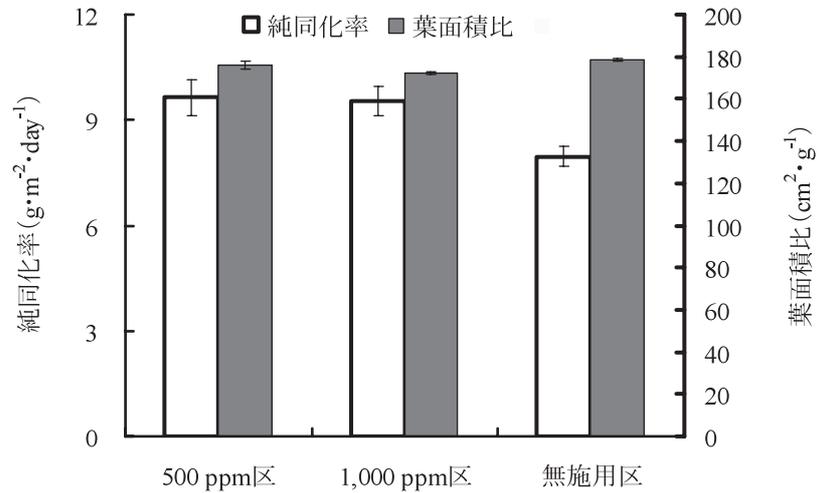
第5表 二酸化炭素施用がキュウリ幼植物の生育に及ぼす影響²⁾

試験区	葉数 (枚)	葉面積 (cm ²)	生体重 (g)			乾物重 (g)			乾物率 (%)			比葉面積 (cm ² ・g ⁻¹)
			葉	茎	根	葉	茎	根	葉	茎	根	
500 ppm	5.9	1,150	29.9	37.0	29.9	3.53	1.83	1.03	11.8	4.9	3.4	327
1,000 ppm	5.8	1,070	27.8	36.8	26.1	3.35	1.83	0.97	12.0	5.0	3.7	319
無施用	5.9	969	25.1	33.0	22.0	2.86	1.62	0.78	11.4	4.3	3.6	340

²⁾2003年3月22日に調査した



第2図 二酸化炭素施用がキュウリ乾物中の相対生長率に及ぼす影響
垂直線は標準誤差 (n=5) を示す



第3図 二酸化炭素施用がキュウリの純同化率と葉面積比に及ぼす影響
垂直線は標準誤差 (n=5) を示す

で1,000 ppm区となり、無処理区が最も小さい傾向を示した(第5表)。

乾物重の相対生長率も、500 ppm区が1,000 ppm区をわずかに上回った(第2図)。葉面積比は各区ほぼ同等で、純同化率は500 ppm区が1,000 ppm区をわずかに上回り、両区は無施用区より高かった(第3図)。

第4節 考 察

キュウリの果実収量に対する二酸化炭素施用効果は高く、無施用区に対して1,000 ppm区は35%、500 ppm区は50%増収した。菅原ら(1978)は、トマトの養液栽培で栽植密度を通常の2倍に相当する17株・3.3 m²にすることにより密植と二酸化炭素施用の相乗効果が現れ、果実収量が飛躍的に向上することを報告している。本試験でも栽植密度を417株・a¹と通常より密植にし、さらに子づるを1本伸長させて同化能力の高い新葉を常に確保して葉面積を増加させたことが、二酸化炭素施用区において物質生産量を増加させる一方で、無施用区では光合成による二酸化炭素消費量を増長させて二酸化炭素の不足を引き起こしたと考えられ、このことが本試験において二酸化炭素施用効果が顕著に現れた要因と推察された。

また、現状のキュウリに対する二酸化炭素施用基準を想定した1,000 ppm区に対して、換気中にも低濃度で二酸化炭素施用を行った500 ppm区では上物収量、総収量ともに15~16%多かった。幼植物を使用した試験でも、相対生長率は500 ppm区が1,000 ppm区をわずかに上回り、乾物生産量が多かった。相対生長率は、純同化率と葉面積比に分解することができ、純同化率はおよその乾物生産速度すなわち光合成速度を示すと考えられている(安井・本多, 1977)。葉面積比は各区ほぼ同等であるのに対して、純同化率は500 ppm区が1,000 ppm区よりわずかに高く、500 ppm区は1,000 ppm区に比べて光合成が促進され、総量として物質生産量が多かったことを示唆している。

Slack・Hand (1986) は、1月まきキュウリに対して二酸化炭素施用濃度を変えて栽培し、収穫開始後4週間の果実収量は二酸化炭素濃度を400 ppmから1,000 ppmに高めることによって約30%増加したものの、1,600 ppmまで高めても1,000 ppmと差が無く、1,000 ppmを最適濃度とした。この場合、二酸化炭素施用時間は、日の出後~日没までの長時間にわたるもので、各区同一であった。これに対して著者らの試験では500 ppm区と1,000 ppm区では二酸化炭素施用時間が異なっており、これが両試験で結果が異なった要因と考えられる。本試験において、晴天日の2003年2月5日の1,000 ppm区では温室内二酸化炭素濃度が二酸化炭素施用中止後急速に低下し、270 ppmにまでなった。11

時~14時30分までの室内の平均二酸化炭素濃度は、1,000 ppm区が330 ppmと低かったのに対して、500 ppm区では560 ppmと高く、この間500 ppm区では1,000 ppm区を上回る物質生産が行われたと考えられる(第1図)。伊東(1970, 1971)は、施設内では通常の換気回数である20~30回・h⁻¹では換気中でも二酸化炭素は不足しており、強い風が連続して施設内に入り込むか、光が弱まって作物の同化作用が低下しない限り、午後2~3時頃まで二酸化炭素が低濃度の状態で続くとしている。河野(1987)は、強制換気時でも室内の二酸化炭素濃度が外気より35 ppm低下したことを、Slack・Hand (1985)も施設内では換気中でも二酸化炭素濃度が大気中濃度より低下することを報告しており、本試験のように晴天日には換気中でも二酸化炭素濃度が大気濃度を下回することは一般的なことと考えられる。

すなわち、1,000 ppm区では施用中はキュウリの光合成が促進されたものの、施用中止後に二酸化炭素濃度は大気濃度より低下して光合成速度が低下したのに対して、500 ppm区ではその間でも二酸化炭素施用により光合成が促進され、総量として物質生産量が1,000 ppm区より多くなったものと推察され、これが500 ppm区が1,000 ppm区より増収した主因と考えられる。

一方、試験期間中の二酸化炭素施用量は、500 ppm区では長時間施用したにもかかわらず1,000 ppm区より少なかった。キュウリは高温・高湿度環境下で光合成が促進されて物質生産量が増加し(崎山ら, 2001)、増収することから換気時間が短く、特に外気温が低い12~3月の換気量は少ない。本試験の二酸化炭素施用期間は12月19日~3月10日の厳寒期であったため、内張りカーテンは10時30分もしくは11時30分まで閉じており、また日中の天窓の開閉温度は29℃と高いことから、内張りカーテン及び天窓が開く時間が短く、栽培中の換気回数は3~5程度と推定される。第1図に示した2003年2月5日において換気回数を3とし、二酸化炭素の室外への流出量を推定すると500 ppm区は534 gに対して1,000 ppm区は706 gとなり、500 ppm区では1,000 ppm区より二酸化炭素の室外への流出量が少なかったものと考えられた。

以上のように、キュウリの促成栽培において、500 ppmもしくは1,000 ppmを維持するように二酸化炭素を施用することによって、果実収量は無施用に対して39~55%増加した。また、換気中も含めて二酸化炭素濃度500 ppmを目標に7時間施用する方法は、同1,000 ppmで3時間施用するのに比べてキュウリの増収効果が高く、一方では二酸化炭素施用量が少ない、費用対効果の高い効率的な施用法であった。

第Ⅲ章 キュウリの促成栽培における温度管理が温熱環境、作業負担及びキュウリの生育・収量に及ぼす影響

第1節 緒言

キュウリ (*Cucumis sativus* L.) の促成栽培では、生育促進と増収を目的として、午前中の栽培施設内を高温・高湿度に管理するいわゆる「蒸し込み栽培」が行われている(宮本・阿部, 2004; 土岐, 1987)。キュウリの光合成適温は、15~20℃付近(池田, 1978; 巽・堀, 1970)、これより高温域の28~33℃(長岡ら, 1984)もしくは30~35℃(岩切・稲山, 1975)とされ、37℃でも26℃に比べた光合成速度の低下はわずかであり(王・橋, 1996)、キュウリは比較的高い温度でも光合成を活発に行う。また、湿度は高いほど乾物生産量が多く、生育に好適とされている(崎山ら, 2002; 矢吹・宮川, 1970)。このため、光合成が盛んに行われる正午ころまで、施設内を気温30~33℃、湿度70%以上に管理し、午後から換気量を多くして徐々に室温及び湿度を低下させる温・湿度管理が行われている(宮本・阿部, 2004; 土岐, 1987)。

このようなキュウリの生育にとって好適とされる環境は、作業者にとっては不快な環境であり、特に、高温・高湿度管理が行われる午前中は、キュウリの収穫作業が行われる時間でもあり、生産者は連日、劣悪な環境条件下で作業を行っている。

生産者の高齢化、後継者不足が進む中、担い手となる新規就農者にとってキュウリ経営を魅力あるものとするとともに、雇用労力の確保を容易にする上で、ハウス内の作業環境の快適化は重要な課題となっている。

キュウリの施設栽培における作業の快適性に関する環境要因としては、施設内の温度が最も大きいと考えられる。小嶋(1978)の調査によると、ハウス内での作業者は湿度よりも温度の影響を強く受けており、日照下でのハウス内温度が32~33℃以上になると、長時間の作業を苦痛に感じるようになる。宮本・阿部(2004)は、キュウリの促成栽培において13時までの施設内気温を28~30℃に管理すれば、慣行の32℃と同等の収量が得られるとともに、作業の快適化を図ることができるとしている。これに対して平岡ら(2002)は、半促成栽培において宮本・阿部(2004)より低い温・湿度を設定し、室温25℃・相対湿度40%の温・湿度管理にすると室温30℃・相対湿度60%に比べて初期収量が減少するものの総収量は増加することを報告している。しかし、この温・湿度管理では室内の温熱環境は改善されるものの、キュウリの促成栽培においては、収穫初期の12

~2月は価格が高い時期にあたる(東京青果物情報センター, 2008)ため、初期収量の減少は収益性の低下をもたらすものと推察される。一方、崎山ら(2001)は、35℃の高温管理から一時的に気温低下処理をすると乾物生産量や純同化率が低下するが、その後に再度高温処理をすることで乾物重の相対生長率が13.3%、純同化率は8.2%増加することを報告しており、この変温管理を応用することでキュウリの初期収量を低下させることなく、施設内の作業の快適化を図ることができないかと考えた。

本研究は、収穫作業時間帯の午前中の施設内温度を下げ、その代わりに作業終了後に一時的に昇温させる温度管理が、施設内の温熱環境、作業者の労働負担及びキュウリの生育・収量・品質・病害の発生に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

第2節 材料及び方法

試験は、千葉県農業総合研究センター(現千葉県農林総合研究センター)生産技術部野菜研究室(千葉市)の間口7 m、奥行22.2 m、軒高2.3 m、棟高3.3 m、1室155.4 m²のガラス温室を2棟使用して、2002年度及び2003年度の2か年実施した。ガラス室内部には、厚さ0.1 mmの農業用ビニルで内張りカーテンを屋根面及び側面に設置し、屋根面の2か所を8時30分~16時30分まで各幅20 cm(合計開口面積率3.1%)開放した。穂木品種には、'ハイグリーン21'(株)埼玉原種育成会)を、台木品種には、'ひかりパワーゴールド'(株)ときわ研究場)を供試した。試験区は、ガラス室の天窗の換気設定温度を変えて変温区と慣行区の2区を設けた。慣行区は両年とも同一の温度設定で、6時30分~13時30分までは29℃、その後15時まで25℃、15時~16時45分まで22℃、16時45分以降20℃に設定し、最低夜温が13℃になるように温湯で加温した。2002年度の変温区は、9時30分~11時30分までは25℃、11時30分~13時30分まで38℃に設定し、その前後は慣行区と同様の温度管理とした(以下、38℃変温区とする)。2003年度の変温区は、9時30分~11時30分を前年同様25℃、11時30分~13時30分までは33℃に設定し、その前後は慣行区と同様の温度管理とした(以下、33℃変温区とする)。変温管理は、収穫開始日から収穫終了日まで行い、収穫前は慣行区と同様の温度管理をした。

1. 変温管理が温熱環境及び作業者に及ぼす影響

収穫作業時間帯である9時30分~11時30分の変温管理が

施設内の温熱環境及び作業者の労働負担に及ぼす影響を明らかにするため、室内のWBGT及び作業者の心拍数を調査した。WBGTは、室内の気温、湿度、黒球温度を測定し、次式により算出した。

WBGT (°C) = 0.7×湿球温度+0.2×黒球温度+0.1×乾球温度

気温、湿度、黒球温度の測定位置は、ガラス室中央、高さ1.5 mとした。気温、湿度の測定は、通風型温湿度計 (HT-10, ESD社製) を、データの記録はグリーンキット (GK-102, ESD社製) を使用し、黒球温度と湿球温度はサーモレコーダー (RH-11, ESPEC社製) を用いて測定した。

作業者の労働負担を評価するため、作業中の心拍数を調査した。被験者は25歳と49歳男性で、2人の被験者が作業する試験区は調査日ごとに交互に入れ替えた。着衣は、上半身は半袖シャツ、下半身は長ズボンとした。心拍数は、心拍数記憶装置 (S610i, ボラル社製) を使用して5秒間隔で測定した。被験者は、作業前に室内で座位による10分間の安静をとった後、各ガラス室に移動して作業を開始した。作業内容は、ハサミを用いてキュウリの収穫を行い、収穫終了後に収穫したキュウリを室内数か所にまとめ、その後つる下ろし誘引を行った。全作業時間は90~120分とした。調査は2004年3月9日~4月28日の間に7回実施した。

2. 変温管理がキュウリの生育・収量・品質・病害の発生に及ぼす影響

2002年度は、試験区として慣行区と38°C変温区を設けた。穂木は2002年10月3日、台木は10月4日に播種し、10月15日に呼び接ぎを行い、10月30日に定植した。栽植様式は畝幅185 cm、株間50 cm、1,080株・10 a⁻¹、主枝の9~12節から4本の子づるを伸ばし、つる下ろし整枝とした。10 a当たり基肥量は、窒素38 kg、リン酸49 kg、加里38 kgとした。果実収量は2002年12月18日~2003年4月25日まで毎日収穫し、等級別重量及び本数ならびに曲がりの程度を3 cm未満と3 cm以上のものに分け、曲がりの程度別果数を調査した。

2003年度は、試験区として慣行区と33°C変温区を設けた。穂木は2003年10月2日、台木は10月3日に播種し、10月14日に呼び接ぎを行い、10月31日に定植した。栽植様式、整枝法、基肥施用量及びその他の管理は前年に準じた。果実収量は、2003年12月11日~2004年4月30日まで毎日収穫し、前年同様に調査した。

両年とも試験は1区9株、3反復とし、ガラス室内の温度、湿度、キュウリの子づる長、果実重量、果皮色、果実内部障害、うどんこ病、べと病の発生を調査した。子づる長は2週間間隔で調査し、果皮色は3月上旬から2週間おきに各区とも中庸な大きさの果実9本の中央部の表皮を厚さ

2 mmに剥いた果皮切片を色彩色差計 (CR-100, ミノルタ社製) で測定した。果実内部障害は、2月下旬から2週間間隔で各区9果を縦断してその内部状態について調査した。うどんこ病及びべと病は、各株の展開上位葉10葉について6段階の発病指数 (0:無発病~5:葉面積の50%以上に病徴がみられる) を用いて評価した。発病度はΣ (発病指数×発病指数別葉数) / (5×調査葉数) ×100により算出した。

3. 33°C 変温管理がキュウリのうどんこ病の発生に及ぼす影響

2003年度の試験において、キュウリにうどんこ病菌を接種して検討した。穂木品種には、'はるか' ((株)ときわ研究場) を、台木品種には、'ひかりパワーゴールド' ((株)ときわ研究場) を供試した。キュウリは2004年3月18日、台木は3月19日に播種し、3月31日に呼び接ぎをして、4月19日に圃試処方3・4⁻¹濃度 (EC 2.0 dS・m⁻¹) の培養液を入れた1・5,000 a⁻¹ワグネルポットに鉢上げし、4月21日にうどんこ病罹病葉の分生子を株全体に均一に振り落として接種した後に、33°C変温区と慣行区のガラス室に各区8株搬入して温度処理を開始した。4月30日に各株展開した9葉についてうどんこ病の発生を前試験に準じて調査した。

第3節 結果

1. 変温管理が温熱環境及び作業者に及ぼす影響

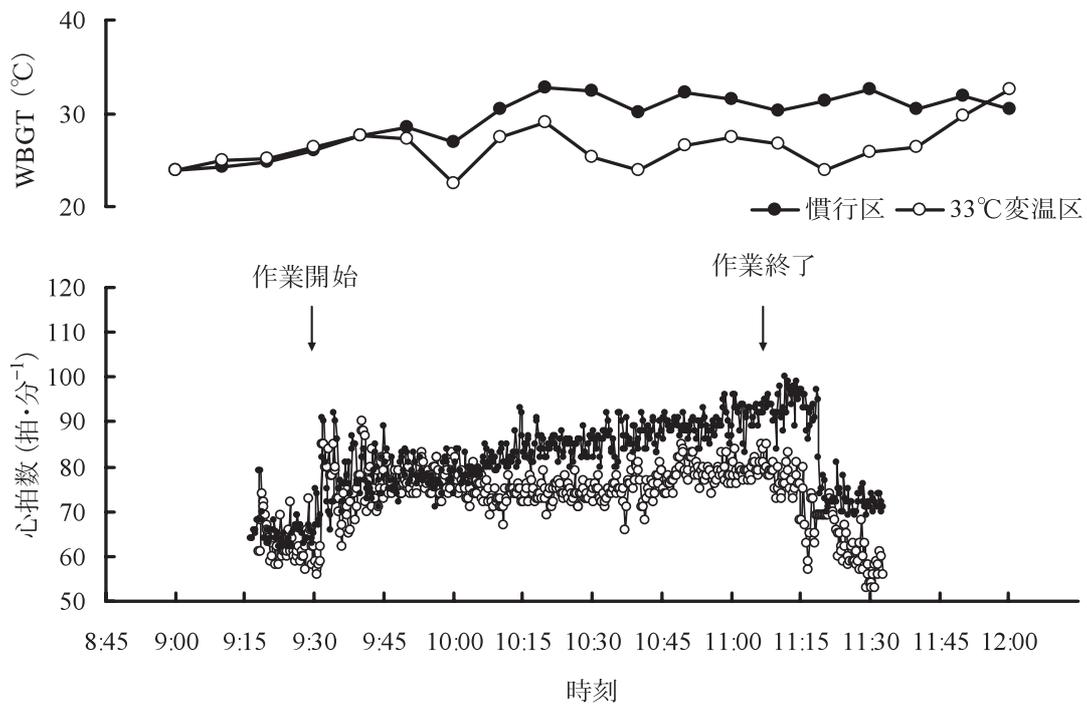
晴天となった2004年3月9日の調査では、WBGTは10時15分に30°C以上になり、それ以降30~33°Cの間を推移したのに対して、変温区のWBGTは29.1°Cを最高値としてほとんどが24~27°Cの間を推移した (第4図)。

被験者の心拍数は、慣行区では作業開始後から経時的に上昇し、11時前から90拍・分⁻¹を超えたのに対して、33°C変温区では70~80拍・分⁻¹の間を推移した (第4図)。晴天日及び曇天日に行った他の6回の調査においても、作業者の心拍数は、試験区の被験者が異なっても常に変温区で少なかった (データ略)。

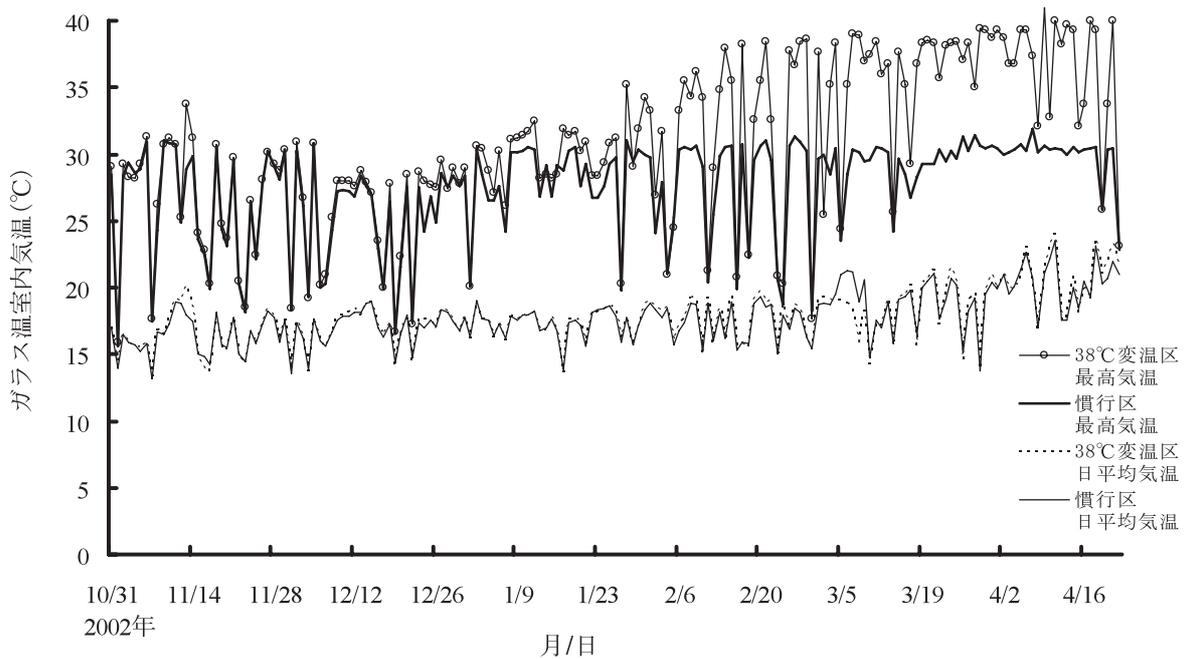
2. 変温管理がキュウリの生育・収量・品質・病害の発生に及ぼす影響

2002年度の試験において、38°C変温区の室内温度が38°Cまで上昇した日数は2月までで4日のみであったが、3月以降は約半数の日で設定温度を超えた (第5図)。

子づるの伸長は38°C変温区が有意に抑制され、1日当たり伸長量は慣行区と比較して1 cm以上の有意な差が生じた (第6図)。果実収量は、2月までは温度管理の違いによる有意な差が認められなかったが、3月以降には38°C変温区は慣行区よりも低下し、特に上物収量の低下の程度が大きかった。栽培期間を通した38°C変温区の上物収量は慣行



第4図 温度管理を異にしたガラス温室内のWBGT及び作業者の心拍数の推移 (2004年3月9日)



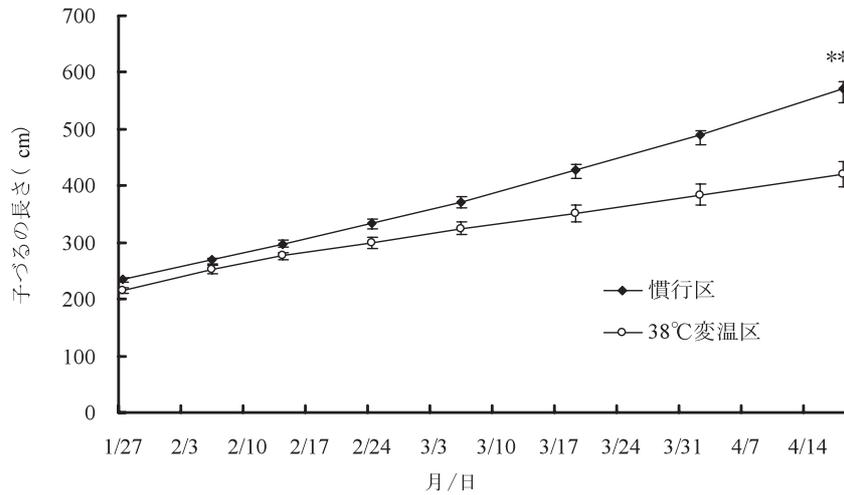
第5図 2002年度試験期間中のガラス温室内の気温の推移

区の76%と低下したが、下物も含めた総収量には明らかな差が認められなかった (第6表)。

38°C変温区で発生が多かった下物の主なものは、曲がり果であった。38°C変温区の果皮色は、慣行区に比べて淡かった (第7表)。果実内部障害は、両区とも調査期間を通じて全くみられなかった (データ略)。収穫後期にうどんこ病の発生がみられたが、38°C変温区は慣行区に比べて発病率及び発病度が低かった (第8表)。

2003年度の試験において、33°C変温区の室内温度は、12月及び1月は設定温度の33°Cに一度も到達することなく、2月12日に初めて33°Cに達した。2月以降は50%以上の日で設定温度以上になった (第7図)。変温処理期間の日最高気温の平均は33°C変温区が29.6°Cで、慣行区より1.6°C高かった。33°C変温区の相対湿度は、慣行区に比べて9~18時の平均で5.9%、日平均で3.2%低かった (第9表)。

子づるの伸長は、両区の間で明確な差が認められなかつ



第6図 38°C変温管理が促成栽培キュウリの子づるの伸長に及ぼす影響
 垂直線は標準誤差 (n=9) を示す
 t検定により**は1%レベルで有意差があることを示す

第6表 38°C変温管理が促成栽培キュウリの収量に及ぼす影響 (kg・10a⁻¹)

試験区	12月		1月		2月		3月		4月		合計 ^z	
	上物	総収量	上物	総収量	上物	総収量	上物	総収量	上物	総収量	上物	総収量
38°C変温区	430	450	1,550	1,610	2,310	2,510	3,060	3,750	1,060	3,740	8,410 (76) ^x	12,100 (92) ^x
慣行区	470	490	1,480	1,590	2,340	2,580	3,970	4,270	2,780	4,170	11,000 (100)	13,100 (100)
t検定 ^y	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	**	ns

^z収穫期間は2002年12月18日～2003年4月25日である

^y t検定によりnsは有意差がないことを, **は1%レベルで有意差があることを示す

^x()内の数字は慣行区を100とした割合を示す

第7表 38°C変温管理が促成栽培キュウリの曲がり果の発生率と果皮色に及ぼす影響

試験区	曲がり果の程度別発生率(果数比率)			果皮色 ^z				調査果数
	3 cm未満 (%)	3 cm以上 (%)	調査果数	L	a	b	b・a ⁻¹	
38°C変温区	73	27	1,053	38.3	-2.0	3.8	-1.9	9
慣行区	85	15	1,150	37.2	-1.3	2.2	-1.7	9
t検定 ^y	**	**	—	**	**	**	*	

^z果皮色は2003年3月19日に調査した

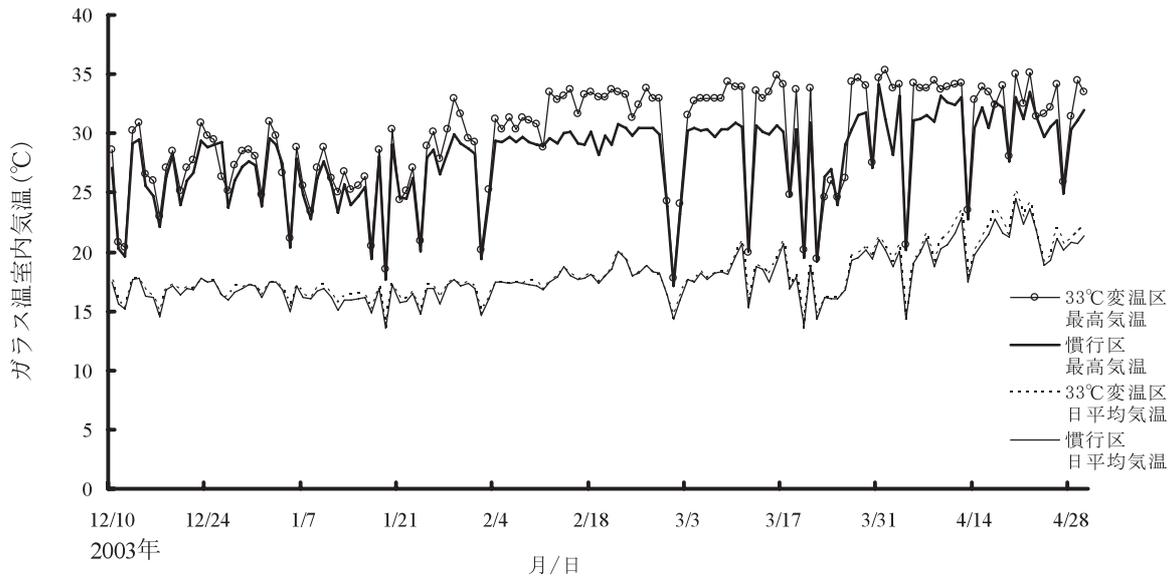
^yt検定により*は5%レベルで, **は1%レベルで有意差があることを示す

第8表 38°C変温管理がうどんこ病の発生に及ぼす影響^z

試験区	発病葉率 (%)	発病度 ^y
38°C変温区	22.9	4.6
慣行区	47.9	20.2

^z2003年4月23日に調査した

^y発病度 = Σ(程度別発病葉数 × 発病指数) / (調査葉数 × 5) × 100

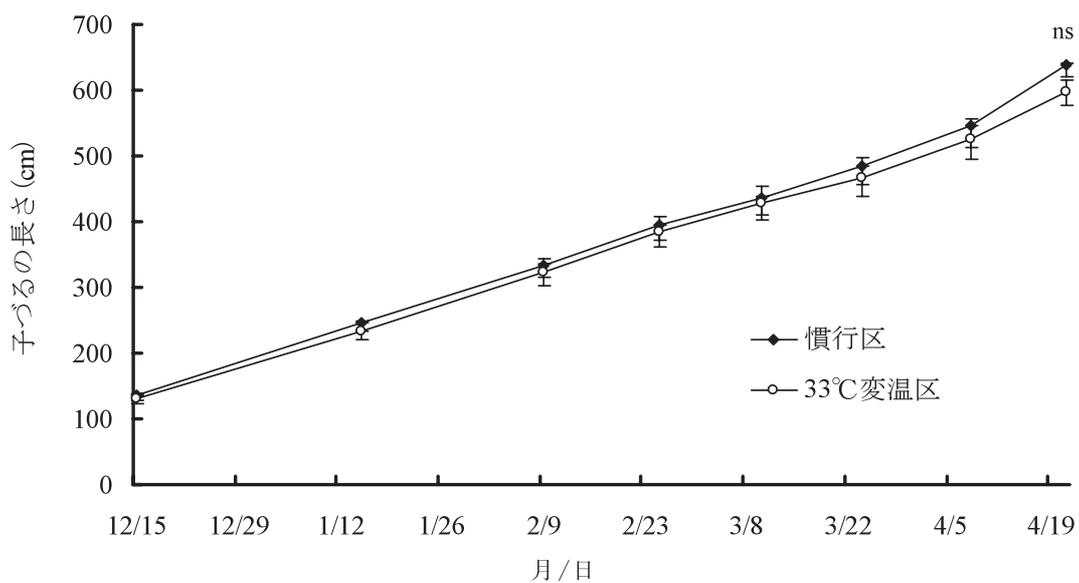


第7図 2003年度試験期間中のガラス温室内の気温の推移

第9表 33°C変温管理開始後の両試験区の施設内温・湿度

月	日最高気温 (°C)			日平均気温 (°C)			相対湿度 (%)					
	変温区	慣行区	慣行区との差	変温区	慣行区	慣行区との差	9~18時の平均			日平均		
							変温区	慣行区	慣行区との差	変温区	慣行区	慣行区との差
12月 ^a	27.1	26.3	0.8	16.9	16.7	0.2	70.1	76.3	-6.2	73.6	76.8	-3.2
1月	26.7	25.7	1.0	16.5	16.3	0.3	70.4	75.9	-5.5	72.2	74.7	-2.5
2月	31.3	28.8	2.4	17.8	17.7	0.1	65.8	72.8	-7.0	72.9	76.1	-3.2
3月	29.9	28.1	1.8	18.0	17.8	0.2	64.1	69.0	-4.9	74.2	76.7	-2.5
4月	32.4	30.5	1.9	21.1	20.6	0.5	55.7	61.8	-6.1	74.6	79.4	-4.8
総平均	29.6	28.0	1.6	18.1	17.9	0.2	65.0	70.8	-5.9	73.5	76.7	-3.2

^a2003年12月11~31日までの平均値



第8図 33°C変温管理が促成栽培キュウリの子づるの伸長に及ぼす影響

垂直線は標準誤差 (n=9) を示す

t検定によりnsは有意差がないことを示す

第10表 33℃変温管理が促成栽培キュウリの収量に及ぼす影響 (kg・10a⁻¹)

試験区	12月		1月		2月		3月		4月		合計 ^z	
	上物	総収量	上物	総収量	上物	総収量	上物	総収量	上物	総収量	上物	総収量
33℃変温区	600	630	2,290	2,430	3,670	3,870	4,160	4,310	5,080	5,590	15,800 (99) ^x	16,800 (100) ^x
慣行区	690	730	2,320	2,410	3,540	3,720	3,950	4,090	5,400	5,860	15,900 (100)	16,800 (100)
t検定 ^y	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	ns	ns

^z 収穫期間は2003年12月11日～2004年4月30日である

^y t検定によりnsは有意差がないことを示す

^x ()内の数字は慣行区を100とした割合を示す

第11表 33℃変温管理が促成栽培キュウリの曲がり果の発生率と果皮色に及ぼす影響

試験区	曲がり果の程度別発生率(果数比率)			果皮色 ^z							
	3 cm未満 (%)	3 cm以上 (%)	調査 果数	2004年3月31日				2004年4月14日			
				L	a	b	b・a ⁻¹	L	a	b	b・a ⁻¹
33℃変温区	94	6	1,357	36.5	-0.9	1.2	-1.4	36.6	-1.1	2.2	-1.9
慣行区	95	5	1,374	36.9	-0.8	1.2	-1.5	36.4	-0.8	1.5	-1.8
t検定 ^y	ns	ns	—	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

^z 調査果数は各区9果である

^y t検定によりnsは有意差がないことを示す

第12表 33℃変温管理がべと病及びうどんこ病の発生に及ぼす影響

試験区	べと病 ^z		うどんこ病 ^z	
	発病葉率(%)	発病度 ^y	発病葉率(%)	発病度 ^y
33℃変温区	0.0	0.0	7.3	1.5
慣行区	17.8	4.0	24.3	4.9

^z べと病は2004年3月24日, うどんこ病は2004年4月22日に調査した

^y 発病度=Σ(程度別発病葉数×発病指数)/(調査葉数×5)×100

た(第8図). 上物収量及び総収量は, 収穫期間を通じて両区の間で差が認められなかった(第10表). 曲がり果の程度別割合及び果皮色の差は認められなかった(第11表). 果実内部障害は, 両区とも全くみられなかった(データ略). ベと病の発生は慣行区において3月下旬に認められたが, 33℃変温区では全くみられなかった. また, うどんこ病も33℃変温区では発病率, 発病度ともに慣行区より低かった(第12表).

3. 33℃変温管理がキュウリのうどんこ病の発生に及ぼす影響

試験期間中の外気温が比較的高かったために, 慣行区はガラス温室内気温が設定温度より高くなる日が多かった. 10日間の日最高気温の平均は, 変温区が32.4℃, 慣行区30.0℃であった. 温室内の相対湿度は, 変温区が慣行区より低く, 10日間の9～18時の平均では7.8%, 日平均で6.2%の差があった(第13表).

33℃変温区のうちうどんこ病発病葉率は6.9%, 発病度は1.9で, それぞれ慣行区の2分の1, 3分の1と減少した(第14表).

第4節 考 察

高温・高湿度管理を行っているキュウリの促成栽培において, 果実収量やその品質を低下させることなく, 作業の快適化を図る温度管理について検討した.

生産者が通常収穫作業を行う9時30分～11時30分までの天窓の開閉設定温度を変えて温熱環境を調査したところ, WBGTは慣行区の設定室温29℃では30～33℃の間を推移したのに対して, 設定室温を25℃にするとほぼ24～27℃の範囲で推移した. すなわち, 慣行区の室内環境は, 寄本(1992)がサイクリング, 歩行などに相当する150 W・m²の運動量において, 暑熱障害が発生する危険性が大きいとし

第13表 うどんこ病接種後のハウス内温湿度

月 日	日最高気温 (°C)		日平均気温 (°C)		湿度 (%)			
	変温区	慣行区	変温区	慣行区	9~18時の平均		日平均	
					変温区	慣行区	変温区	慣行区
4月21日	32.5	30.2	23.0	22.3	40.8	47.9	67.2	73.2
4月22日	35.1	33.5	24.3	23.6	41.0	48.4	66.8	74.3
4月23日	32.4	29.4	21.6	21.8	60.0	73.4	76.3	85.0
4月24日	31.6	29.7	19.2	18.9	62.6	72.8	77.1	83.8
4月25日	32.2	30.6	19.6	19.3	42.8	53.2	68.4	75.1
4月26日	34.2	30.1	22.1	21.1	50.3	54.6	72.5	77.0
4月27日	25.9	24.9	20.7	20.2	83.8	88.2	87.9	92.7
4月28日	32.4	30.4	21.1	20.8	61.8	69.6	76.9	82.8
4月29日	34.5	30.1	21.7	20.7	41.4	48.1	67.9	74.0
4月30日	33.5	31.0	22.2	21.4	39.0	45.7	67.6	73.1
平均	32.4	30.0	21.6	21.0	52.4	60.2	72.9	79.1

第14表 33°C変温管理がうどんこ病の発生に及ぼす影響^z

試験区	発病葉率 (%)	発病度 ^y
33°C変温区	6.9	1.9
慣行区	13.9	5.6

^z2004年4月21日に菌を接種し、4月30日に調査した^y発病度 = $\Sigma(\text{程度別発病葉数} \times \text{発病指数}) / (\text{調査葉数} \times 5) \times 100$

ている状態であった。中井ら (1990) は WBGT 29.5°C では激しい運動を中止し、31.2°C では運動を中止すべきであるとしている。一方、変温区の WBGT は、宮本・阿部 (2004) がキュウリの促成栽培で目標とした WBGT 30.5°C よりかなり低くなり、設定室温を 25°C に低下させることにより温熱環境は大幅に改善された。

また、作業者の心拍数も慣行区では作業開始後経時的に増加したのに対して、変温区ではほぼ一定に推移した。庄司ら (2003) は、高温時の作業エラーを調査し、WBGT 31°C の条件下では作業中の心拍数が高く、作業期間を通して増加し続けることで作業エラーの頻度が増大することを報告している。庄司ら (2003) の報告と同様、本試験においても慣行区的心拍数は高くなり、作業期間中に経時的に増加し続けていることから、慣行区での作業負担は大きいものと推察され、室温の低下を図ることによって作業負担を軽減できることが明らかとなった。

9時30分～11時30分までの室温を25°Cにすることは作業の快適性を向上させるものの、午前中の温度が不足してキュウリの初期収量の低下が懸念される。そこで、収穫作業が終了する11時30分～13時30分の2時間室内を昇温させ

て午前中の温度の不足分を補う (崎山ら, 2001) 変温管理が、初期収量を低下させずに作業者の心身的負担を軽減できると考えた。

試験初年度は、11時30分～13時30分の室温を高温順化温度とされ、植物体に与える高温ストレスが少ないと考えられる38°C (李ら, 2003) を設定温度としてキュウ리를栽培した。その結果、慣行区に比べてキュウリの子づるの伸長が抑制され、果実総収量の低下はわずかであったものの、曲がり果の割合が多くなって上物収量が減少するとともに、果皮色が淡くなった。王・橘 (1996) は、キュウリの幼植物を使用した試験で、気温37°C、地温26°Cの条件では、気温、地温とも26°Cに比べて生育が抑制されるものの光合成速度の低下はわずかであるとしている。本試験における生育抑制は38°Cの高温によってもたらされたものであり、38°C変温区の総収量が慣行区と差がなかったことは、38°Cの変温処理を行っても、光合成速度の低下が少なかったものと推察される。また、高温と曲がり果発生の増加との関係については、今後さらに検討を要する。

前年の試験を受けて、11時30分～13時30分の設定室温をキュウリの光合成適温の上限 (長岡ら, 1984) とされ、よ

り高温ストレスが少ないと考えられる33℃に設定して変温管理をしたところ、収量、品質は慣行区と同等であり、平間ら (2002) が半促成栽培で実施した室温25℃・相対湿度40%でみられた初期収量の減少も認められなかった。このことについては、果実の肥大は5～30℃の範囲では果実温度が高いほど促進され、20℃と30℃では肥大速度に約2倍の差がある (Tazuke・Sakiyama, 1986) とされ、33℃に昇温させたことが果実の肥大を促進したものと考えられる。なお、高温で果実肥大が促進される理由については、果実細胞の代謝活性や細胞の生長速度が高まり、その結果、光合成産物の果実への転流が促進されたためではなかと考えられる (Tazuke・Sakiyama, 1991)。

変温管理によってうどんこ病及びべと病の発生が抑制されることが分かった。我孫子・岸 (1979) は、うどんこ病は35℃以上では分生胞子が発芽せず、菌そうの分生胞子形成量も極めてわずかであることを報告しており、1日2時

間の昇温ではあるが、この変温管理によりうどんこ病の胞子形成が抑制されたことで、その発病率や発病度が低下したものと推察される。また、べと病は、感染の適温が20～25℃で、多湿条件下で多発しやすく (我孫子, 1988)、午前中の換気による湿度低下及び正午前後の感染適温をはずれた高温が発病を抑制したものと推察される。

以上のように、収穫時間帯である9時30分～11時30分までの2時間を施設内温度25℃を目標に管理することにより作業負担が大幅に軽減され、その後13時30分までの2時間を33℃に昇温させることによって慣行区の「蒸しこみ栽培」と同等の収量・品質が得られたうえ、うどんこ病及びべと病の発病を抑制することができた。よって、促成栽培において本変温管理を適用することにより、キュウリの初期収量や品質を低下させることなく、午前中を中心とした施設内での収穫作業の快適化を図ることが可能となった。

第IV章 接ぎ木キュウリ苗の奇形葉の発生に及ぼす接ぎ木法、 台木品種及びホウ素処理の影響

第1節 緒 言

千葉県におけるキュウリ (*Cucumis sativus* L.) の作付面積は全国6位の544 haで(農林水産省大臣官房統計部, 2010)、主な作型は促成栽培及び抑制栽培である(千葉県農林水産技術会議, 2007)。経済栽培に用いられる苗は、つる割病の被害回避、ブルームの発生防止、低温伸長性と耐暑性の付与を主な目的として、ほぼ100%接ぎ木を行っている(野菜・茶業試験場, 2001)。栽培に使用する苗はこれまでほとんど自家生産が行われてきたが、近年、規模拡大や労力不足などに伴って苗専門業者によって生産される苗、いわゆる購入苗の利用が拡大しており、千葉県では使用する苗の60~70%にまで達していると推定される(千葉県農林水産技術会議, 2007)。接ぎ木方法は、自家育苗の場合では呼び接ぎが多いが、購入苗では一般に接ぎ木の作業効率が高い断根挿し接ぎが行われている。このような購入苗において育苗中に奇形葉が多発して問題となり、原因究明と防止対策の確立が求められている。

問題となった奇形葉の症状は、葉身が縮れて凸凹になり、正常に展開しないもの(以下、縮葉とする)が主なものであったが、その他に葉身が萎縮する(以下、萎縮葉とする)、葉身が銀杏の葉身のような形状になったり部分的に欠落する、もしくは左右が非対称になるもの(以下、変形葉とする)がみられた(第15表)。

接ぎ木キュウリ苗の奇形葉は、1990年代半ば頃から長野県や愛知県、埼玉県、愛媛県などでも発生し、発生要因の究明と防止対策に向けた研究が行われてきた(大川・大竹, 2000; 山口, 1999; 大和, 1999; 野菜・茶業試験場, 2001)。

長野県や愛知県では、1996~1997年にかけて、挿し接ぎや断根挿し接ぎ、片葉切断接ぎ、幼苗接ぎで接ぎ木した苗の育苗中や定植後に3~13節の葉が奇形となり、同時に節間が詰まって生育が滞り、重症の場合、心止まりとなったり、収穫開始期が遅延する被害が発生した。これには台木

品種による発生差はみられず、接ぎ木直後にホウ砂0.05~0.2%液を葉面散布することにより被害を軽減できることが報告されている(大川・大竹, 2000; 山口, 1999)。その他、奇形葉の発生には、接ぎ木前後の温度も関係するとされる(浅尾ら, 2002; 大和ら, 1999b, 2000)。

しかし、千葉県で発生した接ぎ木苗の奇形葉の発生部位は主に第2~4葉で、定植後に展開する葉にはほとんどみられないこと、台木品種によって発生差のあることが観察され、これまで報告された奇形葉とは発生部位や発生の品種間差異などが異なった。また、奇形葉発生のメカニズムには不明な点が多い(渋谷, 2009)。

そこで本研究は、千葉県で問題となった接ぎ木キュウリ苗の奇形葉発生要因の究明と防止対策の資料を得るために、接ぎ木法と台木品種の影響を明らかにすることに加え、ホウ素処理の効果を確かめることを目的とした。

第2節 材料及び方法

試験は、千葉県農業総合研究センター(現千葉県農林総合研究センター)生産技術部野菜研究室(千葉市)のガラス温室を使用して実施した。

1. 接ぎ木法の違いが奇形葉の発生に及ぼす影響

穂木品種は現地で栽培される主要な品種の一つである‘はるか’((株)ときわ研究場)、台木品種は‘改良新土佐1号’((株)サカタのタネ)及び‘Newスーパー雲竜’((株)久留米原種育成会)を供試し、6種類の方法で接ぎ木をした。穂木品種はすべて2002年5月7日に播種した。断根挿し接ぎ、挿し接ぎ及び割り接ぎ用台木品種は5月7日、呼び接ぎ用台木品種は5月9日に、斜め合わせ接ぎ用台木品種は5月10日に播種した。播種箱の培養土は、穂木、台木品種ともに市販の培養土(げんきくん果菜200, 無機態窒素200 mg・L⁻¹, コープケミカル社製)とモミガラくん炭を容量比で1:1に混合したものを使用した。接ぎ木は、断根挿し接ぎ、挿し接ぎ、割り接ぎ、斜め合わせ接ぎを5

第15表 現地において発生した接ぎ木キュウリ苗の奇形葉の種類と症状

種類	症状
縮葉	葉身が縮れて凸凹になり、正常に展開しない
萎縮葉	葉身が平滑で、最大葉の1/2以下になる
変形葉	葉身が銀杏の葉身のような形状になったり部分的に欠落する、もしくは左右が非対称になる

月16日、呼び接ぎを5月17日に行い、接ぎ木後、播種箱と同じ培養土を詰めた9 cm黒色ポリポットに鉢上げした。接ぎ木後は厚さ0.02 mm透明ポリフィルムの小トンネル（幅60 cm×高さ15 cm）を設け、その上に保温資材のタイベック（デュポン社製）と遮光率50%の黒寒冷紗を二重にトンネル（幅1.2 m×高さ70 cm）被覆して日中25～30℃を目標に管理し、遮光状態を4日間保った。接ぎ木後4日目に小トンネルに換気口を開け、5日目にタイベックを除去し、5～6日目に換気口数を徐々に増した。7日目にポリフィルムを除去して黒寒冷紗のみとし、8日目に黒寒冷紗も除去して通常管理とした。供試株数は1区12～24株とし、奇形葉の発生は穂木品種播種後23日目の5月30日に、第1～3葉を症状別に5段階の発生指数（0：無発生～4：著しい奇形）を用いて評価した。発症度は Σ （発生指数×発生指数別葉数）/（4×調査葉数）×100により算出した。

さらに呼び接ぎについては、接ぎ木後の穂木及び台木胚軸の切断の影響を検討した。試験区には、対照となる接ぎ木法として断根挿し接ぎを加えた。穂木品種は‘はるか’（(株)ときわ研究場）、台木品種は‘改良新土佐1号’と同系統の‘闘魂’、（(株)ときわ研究場）を供試した。穂木品種は2002年7月19日に、断根挿し接ぎ用台木品種は7月19日、呼び接ぎ用台木品種は7月21日に播種した。接ぎ木は断根挿し接ぎを7月18日、呼び接ぎを7月19日に実施した。培養土は前試験と同じものを使用し、接ぎ木後の管理も前試験に準じた。試験規模は1区8株、3反復とした。

2. 台木品種の違いが奇形葉の発生に及ぼす影響

ブルームレス台木4品種、セイヨウカボチャ1品種、ニホンカボチャ3品種、セイヨウカボチャ×ニホンカボチャ3品種、フィシフォリア1品種、ペポカボチャ2品種の合計14品種を用い、各台木に接ぎ木する穂木品種は‘はるか’（(株)ときわ研究場）を供試した。穂木、台木品種ともに2002年3月25日に前項と同様の培養土を詰めた播種箱に播種し、4月2日に断根挿し接ぎを行った後、播種箱と同じ培養土を詰めた9 cm黒色ポリポットに鉢上げした。その後、厚さ0.02 mmの透明ポリフィルムの小トンネル（幅60 cm×高さ15 cm）を設け、さらにその上に厚さ0.05 mmの透明ポリフィルムでトンネル（幅120 cm×高さ70 cm）被覆を行って日中25～30℃を目標に管理した。地温は温床線を使用して4日間30℃に設定し、その後25℃になるまで徐々に低下させた。接ぎ木後4日目に小トンネルに換気口を開け、5～6日目に換気口数を徐々に増し、7日目にポリフィルムを除去して通常管理とした。試験規模は1区8株、3反復とした。奇形葉の発生は、接ぎ木後25日目の4月19日に第2～4葉を前試験に準じて調査した。

3. ホウ素処理が接ぎ木苗の生育及び奇形葉の発生に及ぼす影響

(1) ホウ砂葉面散布の影響

接ぎ木後のホウ砂の葉面散布が接ぎ木後のキュウリの生育及び奇形葉の発生に及ぼす影響を明らかにするため、接ぎ木直後に5水準の濃度のホウ砂溶液を葉面散布した。

穂木品種は現地で栽培される主要な品種の一つである‘シャープ1’（(株)埼玉原種育成会）、台木品種は‘改良新土佐1号’（(株)サカタのタネ）を供試した。台木品種は2005年2月18日に、穂木品種は2月23日に前試験と同様に播種し、3月2日に断根挿し接ぎを行った後、播種箱と同じ培養土を詰めた9 cm黒色ポリポットに鉢上げした。接ぎ木直後に0、0.01%（ホウ素濃度11 mg・L⁻¹）、0.05%（ホウ素濃度57 mg・L⁻¹）及び0.1%（ホウ素濃度113 mg・L⁻¹）のホウ砂溶液を、0%区は脱塩水を各株当たり1 mL葉面散布した。処理後の管理は前述の台木品種に関する試験に準じた。試験規模は1区8株、3反復とし、接ぎ木22日後の3月24日にキュウリの生育及び奇形葉の発生を前試験に準じて調査した。

(2) 接ぎ木前2日間の培養液ホウ素施与の影響

接ぎ木前のホウ素の施与が接ぎ木後のキュウリの生育及び奇形葉の発生に及ぼす影響を明らかにするため、台木と穂木それぞれについて接ぎ木前の2日間、培養液のホウ素濃度を2水準とした培養液で育苗した。

穂木品種は‘シャープ1’（(株)埼玉原種育成会）、台木品種は‘改良新土佐1号’（(株)サカタのタネ）を供試し、台木品種は2005年2月18日に、穂木品種は2月23日に前試験と同様に播種した。2月28日に台木と穂木の根部を丁寧に水で洗い流しながら掘り出した後、脱塩水を使用して作製した園試処方0.5濃度液にホウ素濃度が0及び1.0 mg・L⁻¹になるようにホウ素を添加し、2日間水耕育苗した後、3月2日に断根挿し接ぎを行い、9 cm黒色ポリポットに鉢上げした。その後の管理は前述の台木品種に関する試験に準じた。試験規模は1区8株、3反復とし、接ぎ木6日目の3月8日に穂木の子葉が上を向いている株を健全、下垂している株を下垂、萎れ始めている株を萎凋として調査した。接ぎ木後22日目の3月24日に、キュウリの生育及び奇形葉の発生を前試験に準じて調査した。

(3) 接ぎ木後の培養液ホウ素濃度の影響

穂木品種は‘シャープ1’（(株)埼玉原種育成会）、台木品種は‘改良新土佐1号’（(株)サカタのタネ）及び‘ひかりパワーゴールド’（(株)ときわ研究場）を供試し、接ぎ木後にホウ素濃度を5水準とした培養液で育苗した。台木品種は2003年9月19日、穂木品種は9月22日に播種し、9月30日に断根挿し接ぎを行った後、水耕で育苗した。10 Lのプラスチック容器にホウ素を除いた園試処方0.5濃度液

第16表 接ぎ木法の違いが接ぎ木キュウリ苗の奇形葉発生に及ぼす影響

台木 ^z 品種	接ぎ木法 ^y	症状別奇形葉発症度 ^x						奇形葉 ^w 発生株率 (%)
		第1葉		第2葉		第3葉		
		萎縮葉	縮葉	萎縮葉	縮葉	萎縮葉	縮葉	
改良新 土佐1号	断根挿し接ぎ	23	0	0	3	0	2	42
	挿し接ぎ	16	0	0	0	0	0	5
	割り接ぎ	34	0	0	0	0	3	46
	斜め合わせ接ぎⅠ	31	0	0	0	0	0	58
	斜め合わせ接ぎⅡ	23	0	0	0	0	0	50
	呼び接ぎ	0	0	0	0	0	0	0
New スーパー 雲竜	断根挿し接ぎ	23	0	0	0	0	0	13
	挿し接ぎ	8	0	0	0	0	3	4
	割り接ぎ	20	0	0	0	0	2	29
	斜め合わせ接ぎⅠ	19	0	0	0	0	0	25
	斜め合わせ接ぎⅡ	44	0	0	0	0	0	67
	呼び接ぎ	0	0	0	0	0	0	0

^z穂木品種は‘はるか’を供試した

^y斜め合わせ接ぎのⅠは台木を断根せず，Ⅱは台木を断根した

^x発症度は各葉位の発生指数を0（無発生）～4（著しい奇形）の5段階評価し，次式で算出した
発症度=Σ（発生指数×発生指数別葉数）/（4×調査葉数）

^w奇形葉発生株率は，萎縮葉もしくは縮葉が発生した株の割合を示す

第17表 異なる接ぎ木法における胚軸の切断が接ぎ木キュウリ苗の奇形葉発生に及ぼす影響

接ぎ木法 ^z	胚軸の処理		接ぎ木後の 根の有無		縮葉 ^y	
	穂木	台木	穂木	台木	発生株率 (%)	発症度 ^x
	断根挿し接ぎ	切断	切断	無	無	40
呼び接ぎ	—	—	有	有	0	0
	切断	—	無	有	0	0
	—	切断	有	無	0	0
	切断	切断	無	無	0	0

^z穂木品種は‘はるか’，台木品種は‘闘魂’を供試した

^y第1～4葉を調査した

^x発症度は第16表に準じて算出した

を6 L入れ，ホウ素濃度を0，0.1，0.3，0.5及び1.0 mg・L⁻¹の5水準設けた。希釈水は脱塩水を使用した。接ぎ木後，厚さ0.02 mmの透明ポリフィルムの小トンネル（幅60 cm×高さ15 cm）を設け，さらにその上に厚さ0.05 mmの透明ポリフィルムと遮光率50%黒寒冷紗でトンネル（幅120 cm×高さ70 cm）被覆を行って日中25～30℃を目標に管理した。接ぎ木5日目に小トンネルに換気口を開け，その後換気口数を徐々に増やし，0 mg・L⁻¹区以外の試験区では9日目にポリフィルムと黒寒冷紗を除去して通常管理とした。0 mg・L⁻¹区は接ぎ木後の活着が進まなかったため，接ぎ木20日後までポリフィルムと黒寒冷紗のトンネル被覆を続けて萎凋を防いだ。試験規模は，台木品種‘改良新土佐1号’は1区5株，‘ひかりパワーゴールド’は1区3株で，各3反復とした。接ぎ木8日目の10月6日に発根株率，萎凋株率，葉縁から溢液が認められた株の割合を示す溢液株率を，

接ぎ木20日目の10月20日に生育及び奇形葉の発生を前試験に準じて調査した。

第3節 結果

1. 接ぎ木法の違いが奇形葉の発生に及ぼす影響

6種類の接ぎ木法を比較したところ，第1葉の萎縮は台木の種類にかかわらず呼び接ぎ以外の接ぎ木法で発生した（第16表）。縮葉は，‘改良新土佐1号’台では断根挿し接ぎと割り接ぎでわずかに発生し，‘Newスーパー雲竜’台では挿し接ぎと割り接ぎでわずかに発生した。一方，呼び接ぎでは，いずれの台木でも奇形葉が全く発生しなかった。

呼び接ぎで台木胚軸の切断の有無を組み合わせた試験では，断根挿し接ぎには縮葉が40%の株で発生したが，呼び接ぎでは穂木及び台木の胚軸を切断しても奇形葉が全く発

第18表 台木品種の違いが接ぎ木キュウリ苗の奇形葉発生に及ぼす影響

種 (グループ)	台木品種 ^z	症状別奇形葉発症度 ^y					
		第2葉		第3葉		第4葉	
		縮葉 ^y	変形葉 ^y	縮葉	変形葉	縮葉	変形葉
ブルームレス	ひかりパワーゴールド	0	0	0	0	0	0
	ゆうゆう一輝(黒)	0	0	0	0	0	0
	ゆうゆう一輝(白)	0	0	0	0	0	0
	Newスーパー雲竜	0	0	0	0	0	0
セイヨウカボチャ	デリシヤス	0	0	1	0	0	0
ニホンカボチャ	白菊座	0	0	0	0	0	0
	鹿が谷	0	0	0	0	0	0
	三毛門	0	0	0	0	0	0
セイヨウカボチャ ×ニホンカボチャ	新土佐1号	0	0	2	0	0	0
	改良新土佐1号	27	0	17	0	3	0
	闘魂	0	0	22	0	1	0
フィシフォリア	黒だね	0	31	0	29	0	0
ペポカボチャ	そうめん	0	0	0	0	0	0
	Golden Table	0	0	0	0	0	0

^z穂木品種は‘はるか’を供試した

^y発症度は第16表に準じて算出した

第19表 ホウ砂溶液の葉面散布が接ぎ木キュウリ苗の奇形葉発生に及ぼす影響

ホウ砂 処理濃度 (%)	症状別奇形葉発生率 ^y (%)				奇形葉 発生株率 ^x (%)
	第1葉		第2葉		
	萎縮葉	縮葉	萎縮葉	縮葉	
0	4	29	0	4	38
0.01	4	8	0	4	12
0.05	0	4	0	8	8
0.1	4	0	0	0	4

^z穂木品種は‘シャープ1’，台木品種は‘改良新土佐1号’を供試した

^y症状別奇形葉発生率は、各葉位に奇形葉が発生した葉の割合を症状別に示す

^x奇形葉発生株率は、萎縮葉もしくは縮葉が発生した株の割合を示す

生しなかった(第17表)。

2. 台木品種の違いが奇形葉の発生に及ぼす影響

14品種の台木を供試して接ぎ木を行った結果、奇形葉は変形葉と縮葉が第2～4葉にみられた(第18表)。フィシフォリアの‘黒だね’には変形葉が、セイヨウカボチャとニホンカボチャの交雑種の3品種にはいずれも縮葉が発生し、特に‘改良新土佐1号’と‘闘魂’に多発した。セイヨウカボチャの‘デリシヤス’には縮葉がわずかに発生した。一方、ブルームレス台木、ニホンカボチャ、ペポカボチャの各グループでは、供試したすべての品種で奇形葉が発生しなかった。

3. ホウ素処理が接ぎ木苗の生育及び奇形葉の発生に及ぼす影響

(1) ホウ砂葉面散布の影響

前試験の結果から、奇形葉の発生しやすい台木を供試して断根挿し接ぎ後にホウ砂の葉面散布を行った。奇形葉は

軽度の縮葉と萎縮葉が発生し、ホウ砂0%区では38%の株に奇形葉が発生したのに対して、ホウ砂を散布した区では濃度が高いほど発生率が低下し、ホウ砂0.1%区では萎縮葉が4%発生したのみであった(第19表)。

なお、接ぎ木22日後のキュウリの生育には、処理区間にほとんど差が認められなかった。

(2) 接ぎ木前2日間の培養液ホウ素施与の影響

接ぎ木6日後の穂木のキュウリは、ホウ素濃度1.0 mg・L⁻¹区ではほとんどの株で子葉が正常な展開を示したのに対し、0 mg・L⁻¹区ではすべての子葉が下垂または萎凋していた(第20表)。

接ぎ木22日後の穂木の生育は、ホウ素濃度0 mg・L⁻¹区では展開葉数、葉身の大きさ、茎葉重のいずれも1.0 mg・L⁻¹区と比較して著しく劣った(第21表)。0 mg・L⁻¹区では萎縮葉、縮葉及び変形葉が認められ、すべての株に奇形葉が発生した。これに対して1.0 mg・L⁻¹区では、縮葉が4%発

第20表 接ぎ木前2日間の培養液ホウ素濃度が接ぎ木キュウリ苗の生育に及ぼす影響²

接ぎ木前2日間の 培養液ホウ素濃度 (mg・L ⁻¹)	キュウリ子葉の症状別株率 (%) ^y		
	健全	下垂	萎凋
0	0	83	17
1.0	92	8	0

²穂木品種は‘シャープ1’，台木品種は‘改良新土佐1号’を供試し，2005年3月8日（接ぎ木6日後）に調査した

^y子葉が垂れていないものを健全，垂れているものを下垂，萎れ始めているものを萎凋とし，症状別の株の割合を示す

第21表 接ぎ木前2日間の培養液ホウ素濃度が接ぎ木キュウリ苗の生育に及ぼす影響²

接ぎ木前2日間の 培養液ホウ素濃度 (mg・L ⁻¹)	展開 葉数 (枚)	茎長 (cm)	葉身の大きさ (cm)				茎葉重 (g)	根重 (g)
			第1葉		第2葉			
			縦	横	縦	横		
0	1.7	2.7	3.9	4.1	4.0	4.4	1.1	3.3
1.0	4.0	11.0	7.9	9.0	10.1	10.2	7.9	3.4
	** ^y	**	*	**	**	**	**	ns

²穂木品種は‘シャープ1’，台木品種は‘改良新土佐1号’を供試し，2005年3月24日（接ぎ木22日後）に調査した

^yt検定によりnsは有意差がないことを，*は5%レベルで，**は1%レベルで有意差があることを示す

第22表 接ぎ木前2日間の培養液ホウ素濃度が接ぎ木キュウリ苗の奇形葉発生に及ぼす影響²

接ぎ木前2日間の 培養液ホウ素濃度 (mg・L ⁻¹)	症状別奇形葉発生葉率 ^y (%)						奇形葉 発生株率 ^x (%)
	第1葉			第2葉			
	萎縮葉	縮葉	変形葉	萎縮葉	縮葉	変形葉	
0	71	0	13	29	29	0	100
1.0	0	0	0	0	4	0	4

²穂木品種は‘シャープ1’，台木品種は‘改良新土佐1号’を供試し，2005年3月24日（接ぎ木22日後）に調査した

^y症状別奇形葉発生葉率は，各葉位に奇形葉が発生した葉の割合を症状別に示す

^x奇形葉発生株率は，奇形葉のいずれかの症状が発生した株の割合を示す

生したのみであった（第22表）。

(3) 接ぎ木後の培養液ホウ素濃度の影響

接ぎ木6日後の台木の発根株率は，‘改良新土佐1号’ではホウ素濃度0 mg・L⁻¹区で13%と著しく低かったが，ホウ素処理効果は顕著で，0.5 mg・L⁻¹以上では100%であった（第23表）。一方，‘ひかりパワーゴールド’では，いずれの濃度でも全株で発根が認められた。接ぎ木8日後の溢液は，‘改良新土佐1号’では0 mg・L⁻¹区で全く認められず，ホウ素濃度が高いほど溢液がみられる株の割合が高くなった。‘ひかりパワーゴールド’では，0 mg・L⁻¹区でも台木で78%，穂木で33%の株に溢液が認められ，台木では0.1 mg・L⁻¹以上の区で100%，穂木では高濃度なほど溢液株率

が高い傾向が認められた。

接ぎ木20日後の生育量は，‘改良新土佐1号’の穂木の場合，0 mg・L⁻¹区では接ぎ木直後とほとんど変わらず，0.1 mg・L⁻¹区では生育が進んだものの展開葉数，茎長，茎葉重とも0.3 mg・L⁻¹以上の区より劣り，0.3 mg・L⁻¹以上では生育量に有意な差がなかった（第24表）。‘ひかりパワーゴールド’の穂木は，0 mg・L⁻¹区で劣ったものの，その他の区ではほぼ同等であった。

また，両品種とも0 mg・L⁻¹区では根長，根重が著しく劣り，‘改良新土佐1号’では接ぎ木20日後でも60%の株で発根しなかったが，両品種とも0.1 mg・L⁻¹以上ではほぼ同等で，健全な生育を示した（第25表）。葉身の異常は，両品

第23表 培養液のホウ素濃度が接ぎ木キュウリ苗の発根、萎凋及び溢液に及ぼす影響²

処理区	ホウ素濃度 (mg・L ⁻¹)	台木の根長別株率 (%)			萎凋株率 ^y (%)		溢液株率 ^x (%)	
		0	~5 cm未満	5 cm以上	台木	穂木	台木	穂木
改良新 土佐1号	0	87	13	0	73	93	0	0
	0.1	13	33	54	13	40	60	13
	0.3	7	40	53	13	20	67	47
	0.5	0	27	73	0	13	80	60
	1.0	0	0	100	0	0	100	80
ひかりパワー ゴールド	0	0	22	78	0	22	78	33
	0.1	0	0	100	0	11	100	33
	0.3	0	0	100	0	0	100	89
	0.5	0	0	100	0	0	100	78
	1.0	0	0	100	0	0	100	100

²穂木品種は‘シャープ1’を供試し、2003年10月6日（接ぎ木6日後）に調査した

^y萎凋株率は、子葉が萎れている株の割合を示す

^x溢液株率は、葉縁から溢液が発生している株の割合を示す

第24表 培養液のホウ素濃度が接ぎ木キュウリ苗の地上部生育に及ぼす影響²

台木品種	ホウ素濃度 (mg・L ⁻¹)	展開 葉数 (枚)	茎長 (cm)	最大葉(cm)		茎葉重 (g)			
				縦	横	台木		穂木	
						新鮮重	乾物重	新鮮重	乾物重
改良新 土佐1号	0	0.1 a ^y	0.6 a	0.5 a	0.4 a	2.3 a	0.35 a	0.1 a	0.02 a
	0.1	2.4 b	5.2 b	6.7 b	8.7 b	6.4 b	0.55 b	5.4 b	0.54 b
	0.3	3.6 c	11.1 c	11.1 c	14.7 c	6.8 b	0.45 ab	10.9 c	1.08 c
	0.5	3.8 c	11.4 c	10.7 c	13.9 bc	7.2 b	0.48 b	10.5 c	1.01 c
	1.0	4.3 c	15.9 c	11.6 c	14.6 c	6.8 b	0.45 ab	13.9 c	1.33 c
ひかり パワーゴールド	0	1.2 a	1.7 a	3.4 a	4.1 a	6.3 a	0.65 a	1.7 a	0.28 a
	0.1	3.9 b	11.5 b	11.7 b	14.3 b	6.0 a	0.46 a	12.7 b	1.32 b
	0.3	4.3 b	16.7 bc	13.2 bc	15.4 b	7.1 a	0.52 a	17.2 b	1.76 b
	0.5	4.0 b	15.2 bc	11.7 bc	14.0 b	6.7 a	0.49 a	16.8 b	1.48 b
	1.0	4.5 b	20.3 c	14.0 c	15.8 b	5.3 a	0.52 a	20.3 b	1.87 b
分散分析 ^x	品種	**	**	**	**	ns	**	**	**

²穂木品種は‘シャープ1’を供試し、2003年10月20日（接ぎ木20日後）に調査した

^y異なるアルファベットは、各品種内においてTukeyの多重検定により5%レベルで有意差があることを示す

^x分散分析により品種間で、nsは有意差がないことを、**は1%レベルで有意差があることを示す

種の0 mg・L⁻¹区で先端葉の葉縁が枯死する症状のみで、縮葉などの奇形葉はみられなかった。

第4節 考 察

山口 (1999) 及び大和ら (1999a) が報告しているように、奇形葉の発生は接ぎ木法によって大きく異なり、断根挿し

接ぎや割り接ぎでは奇形葉が発生したが、呼び接ぎでは全く認められなかった。また、片葉切断接ぎや挿し接ぎで断根をすると奇形葉の発生が助長されると報告されているように (山口, 1999; 大和ら, 1998, 1999a), 本試験においても挿し接ぎでは断根をすることによって奇形葉の発生率が高まった。

さらに本試験では、呼び接ぎにおいて、穂木及び台木の

第25表 培養液のホウ素濃度が接ぎ木キュウリ苗の根部生育と奇形葉発生に及ぼす影響^z

台木品種	ホウ素濃度 (mg・L ⁻¹)	根長別株率 (%)			根長 (cm)	根重 (g)		症状別奇形葉発生株率 ^y (%)	
		0	~2 cm 未満	2 cm 以上		新鮮重	乾物重	葉縁枯死	縮葉
改良 新土佐 1号	0	60	7	33	4.8 a ^x	0.1 a	0.01 a	100	0
	0.1	0	0	100	62.7 b	5.5 b	0.20 b	0	0
	0.3	0	0	100	69.0 b	6.4 b	0.23 b	0	0
	0.5	0	0	100	68.2 b	6.4 b	0.22 b	0	0
	1.0	0	0	100	74.5 b	6.4 b	0.22 b	0	0
ひかり パワー ゴールド	0	60	7	100	18.9 a	1.7 a	0.10 a	67	0
	0.1	0	0	100	53.4 b	4.7 b	0.22 b	0	0
	0.3	0	0	100	57.2 b	7.2 c	0.28 b	0	0
	0.5	0	0	100	58.3 b	6.1 c	0.27 b	0	0
	1.0	0	0	100	48.0 b	4.1 b	0.22 b	0	0
分散分析 ^w	品種	—	—	—	**	ns	ns	—	—

^z穂木品種は‘シャープ1’を供試し、2003年10月20日（接ぎ木20日後）に調査した

^y症状別奇形葉発生株率は、奇形葉が発生した株の割合を症状別に示す

^x異なるアルファベットは、各品種内においてTukeyの多重検定により1%レベルで有意差があることを示す

^w分散分析により品種間で、nsは有意差がないことを、**は1%レベルで有意差があることを示す

胚軸を切断しても奇形葉が全く発生しないことを明らかにした。呼び接ぎの場合、他の接ぎ木法とは異なり、接ぎ木直後に台木、穂木ともに根が付いていることから、接ぎ木後も穂木に対する養水分の供給が行われるために奇形葉が発生しないのではないかと考えられる。そこで、台木として奇形葉の発生が‘改良新土佐1号’と同程度の‘闘魂’を供試し、穂木及び台木の胚軸切断の有無を組み合わせで検討したところ、前試験同様、断根挿し接ぎでは奇形葉が多発したが、呼び接ぎではいずれの胚軸を切断しても奇形葉が全く発生しなかったことから、胚軸の接合方法、接合部位、接合部面積などの要因も考慮する必要があると考えられる。

山口（1999）及び大和ら（1999c）は、台木品種及びブルーム発生の有無にかかわらずいずれも奇形葉が発生したことから、台木の品種間差異はないとしている。しかし、本試験において接ぎ木苗の奇形葉発生程度には、台木の品種間差異が認められた。苗としての商品価値を最も低下させている縮葉は、台木としてセイヨウカボチャ×ニホンカボチャの系統、特に‘改良新土佐1号’と‘闘魂’を、変形葉はフィシフォリアの‘黒だね’を使用すると特異的に発生した。大和ら（1999c）の試験では、供試した台木13品種のすべてで奇形葉が発生したが、本試験では大和ら（1999c）が供試したのと同じ6品種のうちで、奇形葉が発生したのは‘黒だね’と‘新土佐1号’のみであった。両者における試験方法の主な相違点は接ぎ木法で、山口

（1999）及び大和ら（1999c）は断根を伴う片葉切断接ぎで接ぎ木をしたのに対して、本試験は断根挿し接ぎであり、前者は台木の子葉が1枚しかついていないために子葉の数も異なる。Asahinaら（2002）は、キュウリの接ぎ木の際に台木の子葉を切除すると、胚軸切断面付近の細胞分裂が強く阻害されて台木と穂木との組織癒合・接着が不良になることを報告しており、これには子葉で産生するジベレリンが関与していると推察している。このようなことから、子葉が1枚しかついていない片葉切断接ぎでは台木と穂木の組織癒合・接着が不良になり、断根挿し接ぎよりも奇形葉が発生したものと考えられる。

大川・大竹（2000）及び山口ら（1998）が指摘しているように、奇形葉の発生は接ぎ木後にホウ素0.05~0.1%溶液を葉面散布することによってかなり防止できた。さらに本試験においては、接ぎ木前の2日間、ホウ素1.0 mg・L⁻¹の培養液で育苗するだけで接ぎ木後の活着が早まり、奇形葉の発生を防止できることを明らかにした。このことから実際の育苗場面においては、播種床培養土のホウ素含量も奇形葉発生に影響を及ぼすものと考えられ、この点については今後さらに検討を要する。

ホウ素は植物体内で再移動ができないため、欠乏症は根端や茎頂などの細胞分裂の盛んな細胞・組織に発現し、これらの組織の伸長停止や壊死として現れるといわれるように（Kouchi・Kumazawa, 1975；間藤, 1997）、本試験においても接ぎ木後、培養液にホウ素を無施与の場合には根

の伸長が阻害されたが、その程度には顕著な品種間差異が認められた。

また、本試験において、接ぎ木前後に与えるホウ素が台木と穂木の活着に強い影響を与えていることが示唆された。接ぎ木の活着は、台木と穂木間への細胞物質の凝集、接ぎ木面でのカルス細胞の増殖、接ぎ木境界面を横切る維管束の再分化が重要な要件とされ（中山, 1989）、維管束が連絡して台木と穂木間に養水分の移行が認められ、穂木が生長し始めることが活着の指標とされる（小田, 1992）。本試験においてホウ素を接ぎ木前後に施与すると、無施与に比べて接ぎ木活着の外観的な指標とされる穂木における子葉の展開や溢液の始まる時期が早く、ホウ素が活着を促進したものと考えられる。Asahinaら（2006）は、キュウリ切断胚軸の皮層の組織癒合に対して、根から導管液を通じて供給されるマンガン、亜鉛及びホウ素が関与するとしている。Iwaiら（2002）が、細胞接着性を失って不定芽を形成できない変異体の細胞壁を調査した結果では、植物の細胞接着にホウ素が関与することを示唆しており、これらから本試験におけるホウ素無施与区で認められた生育不良は、接ぎ木後の台木と穂木の細胞接着が阻害されたことによるものと推察された。また、ホウ素無施与下での台木と穂木の活着は、'改良新土佐1号'が'ひかりパワーゴールド'より強く阻害され、顕著な品種間差異が認められた。

大川・大竹（2000）は奇形葉の発生防止対策として、接ぎ木前日の最低気温を15℃から20℃に高める、播種から接

ぎ木までの期間を6日から12日と長くする、接ぎ木後にホウ砂を葉面散布することを挙げたが、試験結果をみると、これらの処理によっていずれも接ぎ木後の生育が促進されており、接ぎ木後の活着が良好であったものと推察される。接ぎ木法でみると、本試験で奇形葉の発生が多かった断根挿し接ぎ法や割り接ぎ法は、接ぎ木後活着して通常の管理ができるまでの養生期間を7～10日要するのに対して、奇形葉が全く認められなかった呼び接ぎでは、接ぎ木後2日程度と短期間に通常管理に戻すことができ、接ぎ木後の活着が早いという特徴がある（崎山, 2001）。台木を断根すると、活着の遅延とともに奇形葉の発生が助長される。本試験において、奇形葉が発生しなかった'ひかりパワーゴールド'は奇形葉が発生した'改良新土佐1号'に比べて、ホウ素が少ない状態でも発根と根の伸長及び接ぎ木後の穂木の生育が優れた。分裂組織における細胞接着にホウ素が関与しており（Asahinaら, 2006; Iwaiら, 2002）、ホウ素が十分ある条件下では接ぎ木後の細胞接着・組織癒合、すなわち活着が順調に進むと考えられる。以上の点には、接ぎ木後の活着が早い条件下では奇形葉の発生が少ないことが共通しており、これらのことから接ぎ木後に発生する奇形葉は、活着するまでの養水分不足に起因するものと推察された。このため、接ぎ木後のホウ素の施与や接ぎ木前後の適温・適湿度管理などにより、台木と穂木の活着を早めることによって奇形葉の発生を防止できるのではないかと考えられるが、この点については今後さらに検討を要する。

第V章 総合考察

キュウリは、近年、消費の減退、価格の低迷及び単位面積当たりの収量が伸び悩む一方で、生産資材価格等の上昇による収益性の低下、生産者の高齢化や後継者不足などを背景として（千葉県農林技術会議，1996；千葉県農林水産技術会議，2007，2010；河野，2000；黒木，2000；大越，2000；坂田・鈴木，2008），作付面積は1998年から2008年までの10年間で22%もの大幅な減少を示した（農林水産省大臣官房統計部，2010；農林水産省経済局統計情報部，2000）。生産上の問題としては、キュウリの生育促進と増収を図るために栽培施設内を高温・高湿度に管理するいわゆる「蒸し込み栽培」が行われており、劣悪な温熱環境下での日々の作業が後継者にキュウリ生産の魅力を失わせるとともに、雇用労働力の確保を困難にしている。また、作業の分業化が進展する中で購入苗が増加しており、このような中で接ぎ木苗の奇形葉の発生が問題となった（千葉県農林水産技術会議，2007）。

今後、キュウリ生産の安定を図るためには、さらなる生産性の向上とともに、雇用労働力の導入及び作業の分業化による規模拡大を推進することによって所得の向上を図り、産地を維持・拡大していかなければならない。これらを推進する上で重要な生産技術上の課題として生産性の向上、労働の快適化、苗の生産安定が挙げられる（荒木，2008；千葉県農林水産技術会議，2007；板木，2003，2009；兵藤，2003；川島，2010；河野，2000；黒木，2000；宮本・阿部，2000，2004；大越，2000；大森，1999；坂田・鈴木，2008）。本研究は、今後のキュウリ生産を維持・発展させる上で重要課題となっている生産性向上を図るための二酸化炭素の効率的施用技術の開発、労働の快適化を図るための温度管理技術の開発及び苗生産の安定に寄与する接ぎ木苗の奇形葉の発生要因と防止対策を明らかにすることを目的とした。

1. 低濃度二酸化炭素施用が促成栽培キュウリの収量に及ぼす影響とその経済性評価

植物は大気中から二酸化炭素を取り込み、光合成によって植物体の主成分である炭水化物に同化しており、大気中の二酸化炭素濃度を高めると植物による光合成が促進される。一方、気密性の高い施設内では、晴天日の日中には植物の光合成によって二酸化炭素が消費され、二酸化炭素濃度が200 ppm以下にまで低下することがある（伊東，1970；Mortensen，1987；Sanchez-Guerreroら，2005；矢吹・今津，1965）。二酸化炭素施用は、このような作物の光合成によって低下した施設内の二酸化炭素濃度を積極的に高めて、生育促進や増収などを図ろうとする技術である。

二酸化炭素施用効果は、鉢物植物、切り花、野菜において生育促進、増収のほか、メロンのネット形成のような品質面の向上としてみられている（Mortensen，1987；戸田ら，1982）。野菜では、キュウリ（Berkel・Uffelen，1975；Dennis，1980；板木，1983；Nederhoff，1994；Sanchez-Guerrero，2005；Slack・Hand，1985，1986；土岐，1977）、アールスメロン（岩崎，1977；戸田・中村，1982a，b）、トマト（Liら，1999；Nederhoffら，1992；Slackら，1988）、ナス（今津ら，1976；Nederhoff・Buitelaar，1992）、ピーマン（Aloni・Karni，2002）、イチゴ（高橋ら，2006）、タマネギ（Daymondら，1997）、ナバナ、コカブ、ハウレンソウ、シュンギク、フキ（久富，1977）、フダンソウ（今津ら，1976）など、多くの種類で二酸化炭素施用による増収効果が認められている。現在、我が国では二酸化炭素施用は野菜を中心に実施されており、その主な対象作物はトマト、キュウリ、イチゴ、メロンである（大須賀，2003）。

キュウリは二酸化炭素施用による増収効果が高い作物とされ（Mortensen，1987）、我が国では1970年代半ば頃からアールスメロンと並んで二酸化炭素施用技術が現地に普及した。

二酸化炭素施用上で考慮すべき主な要素は、施用濃度、施用時間、二酸化炭素発生源である。Mortensen（1987）は、二酸化炭素施用に関する過去の212の研究を総説して、作物の生長及び収量面から最適CO₂濃度は700～900 ppmの間にあり、1,000 ppm以上では温室からの漏出による二酸化炭素の散逸が増加するとし、Berkel（1984）はキュウリの場合1,500 ppm以上になるとnecrosisやchlorosisを引き起こす可能性があるとしている。オランダでは大気中の濃度よりやや高い500～800 ppm程度に二酸化炭素を施用することが勧められている（Kamp・Timmerman，2004）。また、二酸化炭素施用時間は、換気が行われない冬季は日の出後から日没までの太陽光がある間継続的に施用することが勧められている（Mortensen，1987）。

一方、我が国の施設栽培キュウリに対する二酸化炭素施用基準は、日の出30分後から換気を開始するまでの2～3時間、換気をしなくても3～4時間、晴天時で1,000～1,500 ppm、曇天時で500～1,000 ppmとされ（大須賀，2003）、欧米の施用方法に比べて施用する二酸化炭素濃度が高く、施用時間が短い。

施用時間が短いのは、換気をとまなう日中に二酸化炭素を施用しても室外に散逸して不経済とされる（伊東，1977；渡辺・上浜，1976）ことに基づくものであるが、換気を行っている時間帯でも作物の群落内及び葉面周辺では二酸化

炭素濃度が大气より低下すること (伊東, 1970, 1971; Slack・Hand, 1985; 矢吹・今津, 1965), キュウリでは気温が上昇して換気が頻繁に行われる夏季の施用でも増収効果が認められている (Mortensen, 1987; Slack・Hand, 1985). また, 低濃度で二酸化炭素を施用すれば, 換気による室外への二酸化炭素放出割合が低下し, 施用した二酸化炭素の利用率は高まると考えられる (Kamp・Timmerman, 2004; Mortensen, 1987; Slack・Hand, 1985).

このような考えに基づいて著者は二酸化炭素の効率的施用法について検討し, 500ppmで換気中にも行う二酸化炭素施用は, これまでの施用基準に準じる1,000ppm短時間施用に比べて増収効果が高いとともに, 二酸化炭素施用量が少ない効率的な施用法であることを明らかにした (第1~4表). 本試験では, 低濃度長時間二酸化炭素施用により収量は無施用に比べて50%増加し, 高い施用効果が得られた (第1表). この要因として, 試験期間が厳寒期の12月~3月上旬で温室の換気時間が短かく, 施用された二酸化炭素の利用率が高かったことに加えて, 密植して側枝を伸ばし常に光合成能力の高い若い葉が多数あるつる下ろし栽培に近い整枝法を採用したことなどが考えられる.

このようなことから二酸化炭素施用は, 光合成能力の高い若い葉が次々と展開するつる下ろし栽培で高い効果を発揮するものと考えられる. つる下ろし栽培は, 活力のある新葉が順次展開することに加えて, 果実に光線がよく当たることから上物率が高いことが特徴で, 千葉県の促成栽培では約80%で本整枝法が採用されており (千葉県農林水産技術会議, 2007), キュウリの生産性向上のために特につる下ろし栽培では本成果の導入を積極的に考慮すべきと考える.

増収を図るためには, 作物により多くの二酸化炭素を吸収させることが必要で, 今後はさらに施用時間の延長や施用期間を拡大するための技術開発が課題である. 換気による二酸化炭素の散逸を防止するために, 二酸化炭素施用と換気の開閉を連動される試みがなされており (Sanchez-Guerreroら, 2005), 早春の気温上昇が早い我が国では, 今後このような研究が求められるであろう.

二酸化炭素の施用法は, プロパンガスや灯油燃焼式, 液化二酸化炭素が使用され, 制御法はタイマー制御と濃度制御が行われるが, 制御が容易なタイマー制御が広く利用されている. しかし, 本研究のように一定濃度の二酸化炭素施用を行うためには, 濃度制御でなければならず, この場合, 施用コストの高い液化二酸化炭素を使用することが必要である. これに対して施用コストの低い灯油やプロパンガスの燃焼式では, 二酸化炭素の温度が高いために換気によって散逸しやすい欠点があり, 燃焼式二酸化炭素発生装置を使用する場合は, 本技術を適用することが難しい.

今後, 二酸化炭素施用の低コスト化を図る観点から, 燃焼式で発生させた二酸化炭素の温度を低下させる装置を組み合わせた二酸化炭素発生装置の開発が望まれる.

2. キュウリの促成栽培における温度管理が温熱環境, 作業負担及びキュウリの生育・収量に及ぼす影響

労働の快適化に関係する要素として, 作業の省力化・効率化, 軽作業化及び作業環境の改善が挙げられる.

キュウリ栽培における作業の省力化・効率化, 軽作業化を目指した近年の主な取り組みとしては, 効率的接ぎ木法の開発 (阿部, 1992; 板木, 1992; 小林, 1992; 守田, 1992) 及び接ぎ木ロボットの開発 (藤本, 1999; 近藤・遠藤, 1987, 1988; 清野, 1999), 栽植様式の改善による省力化 (金井・阿部, 2003), つる下ろし栽培における省力的誘引器具の開発 (清野, 2009), 育苗及び定植作業の効率化に寄与するセル成型苗の生産と直接定植技術の開発 (白木, 1999) などがある. キュウリは連日収穫することが必要で, 定期的な休日をとれない問題があり, これを解決するための1~2週間おきに収穫休みを導入する昼夜温管理法 (金井ら, 1999)の開発も進められた. このような技術開発と併せて現地では出荷規格の簡素化, 自走式収穫台車, 小型選果機の導入, 施設の装置化による施肥, 換気の自動化, 育苗や出荷調製作業の分業化を図るための育苗センター, 集選果施設の整備を進め, 省力化・軽作業化・労力削減はかなり進展しており (千葉県農林水産技術会議, 2010; 川島, 2010; 河野, 2000; 黒木, 2000, 大越, 2000), 残された重要な課題の一つが「蒸しこみ栽培」といわれる高温・高湿度管理をしている (千葉県農林水産技術会議, 2010; 宮本・阿部, 2004; 土岐, 1987) 施設内作業環境の改善である.

これまでにキュウリの栽培施設内温熱環境を改善するため, 施設の換気温度を25℃もしくは29℃に低下させることが試みられてきたが, キュウリの初期収量低下や快適化が不十分であったりする問題があった (平間ら, 2002; 宮本・阿部, 2004). また, 施設内への細霧噴霧は室温を低下させ WBGTを低下させる効果があるものの, 湿度を高めてべと病や褐斑病の発生を助長する問題があった (阿部, 2000; 松沼, 2006).

著者らが実施した収穫時間帯である9時30分~11時30分までの2時間を施設内温度25℃を目標に管理すると WBGTは24~27℃となり, 宮本・阿部 (2004) がキュウリの促成栽培で目標とした WBGT 30.5℃ よりかなり低くなるとともに作業中の心拍数の上昇も少なく, 作業負担が大幅に軽減された (第4図). その後13時30分までの2時間を33℃に昇温させることによって慣行区の「蒸しこみ栽培」と同等の収量・品質が得られたうえ, 平間ら (2002) が半促成栽培で実施した室温25℃・相対湿度40%でみられた初期収量の減少も認められなかった (第10表).

また、本変温管理は、うどんこ病及びべと病の発病を抑制した（第8表、第12表、第14表）。これには湿度低下（諸見, 1995.）及び正午前後の感染適温をはずれた高温が発病を抑制したものと推察した。

本温度管理法を適用すると施設内の日中の相対湿度は低下する（第9表、第13表）。湿度は病害の発生と密接に関係しており、湿度の低下によって発病が抑制される病害として、キュウリのべと病（諸見, 1995）の他、キュウリの褐斑病（我孫子, 1988）、トマトの灰色かび病（手塚ら, 1983）も挙げられ、本変温管理を適用することによりキュウリの重要病害である褐斑病や灰色かび病も抑制できる可能性があるものと考えられ、今後の検討を要する。

佐藤（2004）は、キュウリの施設栽培で、ガラス温室の温度を一時的に45℃にする高温処理をすると、うどんこ病、べと病の発生が抑制され、これにはキュウリ体内のサリチル酸濃度が上昇し、サリチル酸をシグナル伝達物質とした病害抵抗性反応が誘導されるとしている。本変温管理は、1日2時間33℃に昇温させるものであるが、本温度でも同様の病害抵抗性反応が誘導されるものなのか、今後の検討を要する。

このように本変温管理は、細霧冷房で見られた施設内相対湿度の上昇に起因する病害の発生を助長することなく、むしろ発病を抑制し、かつ労働の快適化を実現する画期的な技術と考えられる。

本技術を適用する上で室内温度と連動した換気の自動化が必要で、自動換気装置があれば本技術を適用して施設内労働の快適化と病害の抑制を容易に実現できる。

3. 接ぎ木キュウリ苗の奇形葉の発生に及ぼす接ぎ木法、台木品種及びハウ素処理の影響

キュウリの苗はこれまで自家生産が主であったが、近年、生産者の高齢化や栽培規模の拡大に伴って苗専門業者が生産する購入苗の利用が拡大し、1998年にはキュウリで使用する苗の31.6%が購入苗で、そのうちの約9割が接ぎ木苗と推定される（野菜・茶業試験場, 2001）。

接ぎ木法は、自家育苗では主に呼び接ぎが行われてきたが、育苗の省力化・分業化が進展する中で、生産規模拡大及び大量生産する苗専門業者が求める育苗の効率化への対応、流通利便性の高いセル成型苗に対する適応性が優れる幼苗斜め合わせ接ぎや瞬間接着剤による接ぎ木、磁気圧着法による接ぎ木など、各種の新しい接ぎ木法が開発されてきた（阿部, 1992; 板木, 1992; 小林, 1992; 守田, 1992）。さらに、育苗センター及び苗専門業者においても労力不足や高齢化が進み、細かな作業を行う接ぎ木要員の確保が困難となる中、接ぎ木作業の機械化、自動化が望まれるようになり、接ぎ木ロボットも開発された（藤本, 1999; 近藤・遠藤, 1987, 1988; 清野, 1999）。このような取り組みの結

果、接ぎ木方法は、1999年に行われた調査によると幼苗斜め合わせ接ぎが全体の39%で最も多く、次いで断根挿し接ぎが26%、挿し接ぎが18%で、従来最も一般的に行われていた呼び接ぎは14%にまで低下した（野菜・茶業試験場, 2001）。

著者らの研究において奇形葉の発生は、接ぎ木方法と深く関係しており、断根挿し接ぎ、割り接ぎ、挿し接ぎで発生し、呼び接ぎでは発生しなかった。また、挿し接ぎでは断根することにより奇形葉の発生を助長した（第16表）。これらのことから奇形葉の発生は接ぎ木方法と密接に関係しており、従来行われていた呼び接ぎから現在の主要な接ぎ木方法である幼苗斜め合わせ接ぎや断根挿し接ぎへの移行に伴って顕在化したものと考えられた。これらの接ぎ木法は、セルトレイへの植付けを容易にするため、穂木のみならず台木の下胚軸も切断するために根が付いていないのが特徴の一つである。一方、呼び接ぎでは、穂木及び台木胚軸の切断の有無にかかわらず全く発生しなかった（第17表）ことから、奇形葉の発生は断根によって助長されるものの、胚軸の接合方法もしくは接合部位の影響も大きいと考えられた。

著者の研究では、これまでの報告（山口, 1999; 大和ら, 1998）とは異なり台木品種によって奇形葉の発生が異なり、台木として‘改良新土佐1号’などセイヨウカボチャ×ニホンカボチャのF₁品種を使用すると奇形葉が発生しやすかった（第18表）。これまでの報告と異なる結果となった要因として、前者の実験で採用された接ぎ木法は子葉が1枚しか付いていない片葉切断接ぎであったのに対して、著者らが採用した接ぎ木法は断根挿し接ぎという相違があり、これには分裂・細胞接着に深く関与するとされるジベレリンを産生する子葉の数が影響していたものと推察した（Asahina, 2002）。

接ぎ木前後にハウ素を施与すると、接ぎ木後の穂木の萎れからの回復が早く、その後の生育が早まり、奇形葉の発生を軽減した。一方、接ぎ木後にハウ素を添加しない培養液で栽培すると、台木の発根が著しく阻害され、穂木の生育もほぼ停止し、接ぎ木接合部の組織癒合が阻害された（第19表～第25表）。また、ハウ素無添加に対する台木の発根、接ぎ木後の生育には大きな品種間差異がみられ、培養液中にハウ素がなくても発根する品種は接ぎ木後の活着の指標とされる穂木の生育が良好で奇形葉の発生が少なかった（第18表、第23表～第25表）ことから、ハウ素に対する反応によって台木品種の奇形葉発生難易を推定できる可能性があるものと考えられ、この点については、今後さらに検討を要する。

これまで行われた奇形葉発生に関係する研究を整理してみると、次のようになる。温度管理や接ぎ木時期、ハウ砂

の施用などによって接ぎ木後の生育が良好なほど奇形葉の発生が少ない(大川・大竹, 2000)。接ぎ木法でみると、奇形葉の発生が多かった断根挿し接ぎ法や割り接ぎ法は、活着して通常の管理ができるまでに7~10日を要するのに対して、奇形葉が発生しなかった呼び接ぎは、接ぎ木後2日程度と短期間に通常管理に戻すことができ、接ぎ木後の活着が早い方法である(崎山, 2001)。奇形葉が発生しなかった‘ひかりパワーゴールド’は奇形葉が発生した‘改良新土佐1号’に比べてホウ素が少ない状態でも発根と根の伸長及び接ぎ木後の台木と穂木の生育が優れた(第18表, 第23表~第25表)。分裂組織における細胞接着にホウ素が関与していると考えられ(Asahina ら, 2006; Iwai ら, 2002)、ホウ素が十分ある条件下では細胞接着・組織癒合がスムーズに進む。

これらを総合すると奇形葉の発生は活着するまでの養水分不足に起因するものと推察され、これを防止する上で、接ぎ木前後の温・湿度管理を適切に行う、接ぎ木を適期に、

そして接ぎ木操作を適切に行う、接ぎ木前後にホウ素を施与することなどにより接ぎ木後短期間に活着をさせることが重要と考えられた。また、接ぎ木後の養生環境は、温度25~30℃、相対湿度85~97%、照度3000Luxが適し、この条件では4日で活着するとされ(阿部・佐々木, 1994)、このような養生環境が奇形葉の発生防止につながるものと考えられたが、この点については今後さらに検討を要する。

以上のように、キュウリの促成栽培において増収効果が高く経済的な二酸化炭素施用技術及びハウス内作業環境の快適化と病害発生を抑制する温度管理法並びに接ぎ木苗に発生する奇形葉の発生要因と防止対策を明らかにした。

本技術を適用することにより、生産性の飛躍的向上、施設内労働の快適化及び接ぎ木苗の生産安定が可能となり、キュウリ栽培における収益性の向上、雇用労力の確保及び規模拡大が容易になり、もって魅力あるキュウリ経営と産地の維持・発展に貢献することが期待される。

第Ⅵ章 要約

近年、キュウリは全国的に作付面積が大きく減少しており、その背景としては、消費の減退と価格の低迷、単位面積当たりの収量が伸び悩む一方で生産資材価格の上昇による収益性の低下、生産者の高齢化や後継者不足などが挙げられる。今後、キュウリ生産の安定を図るためには、さらなる生産性の向上とともに、雇用労力の導入及び作業の分業化による規模拡大を推進することによって所得の増大を図り、産地を維持・拡大していかなければならない。著者は、今後のキュウリ経営を維持・発展させる上で重要課題となっている生産性の向上を図るための二酸化炭素の効率的施用技術、労働の快適化を図るための温度管理、苗生産の安定に寄与する奇形葉の発生要因の究明と防止対策からなる3つの課題を取り上げ、「キュウリの促成栽培の生産安定技術及び労働快適化に関する研究」としてとりまとめた。

第Ⅱ章では、キュウリ促成栽培における二酸化炭素施用方法として、従来の基準より低濃度で換気中にも施用することによって増収効果が高く、二酸化炭素施用量が少ない効率的施用技術を開発した。

第Ⅲ章では、厳しい温熱環境下での作業が行われるキュウリの促成栽培における温度管理による労働の快適化技術を開発した。

第Ⅳ章では、接ぎ木キュウリ苗の奇形葉の発生に及ぼす接ぎ木法、台木品種とホウ素の影響を明らかにし、奇形葉発生に関する考察を加えた。

試験結果の概要は、以下のとおりである。

1. 低濃度二酸化炭素施用が促成栽培キュウリの収量に及ぼす影響とその経済性評価

キュウリの促成栽培において、ガラス温室内の二酸化炭素濃度500 ppm長時間施用と同1,000 ppm短時間施用が、果実収量に及ぼす影響を明らかにするとともに、その経済性評価を行った。二酸化炭素施用により上物収量は無施用より39～55%増加した。二酸化炭素施用に伴う経費を差し引いた収益は、無施用に比べ、1a当たり5.8万円～9.6万円増

加した。500 ppm長時間施用は、1,000 ppm短時間施用に比べて増収効果が高いとともに、二酸化炭素施用量が少なかった。

2. キュウリの促成栽培における温度管理が温熱環境、作業負担及びキュウリの生育・収量に及ぼす影響

高温・高湿度管理を行うキュウリの促成栽培における作業の快適化を目的として、温度管理が室内の温熱環境、作業者の労働負担及びキュウリの生育、果実収量、果実品質、病害の発生に及ぼす影響を明らかにした。収穫作業を行う9時30分～11時30分までの換気温度を25℃にすると、慣行栽培である29℃に対してWBGTが低下し、作業者の心拍数の上昇は抑制され、施設内での労働負担が軽減された。また、11時30分～13時30分までを38℃にするとキュウリの上物収量が低下し、曲がり果の発生が増加し、果皮色は淡くなったが、33℃では慣行の温度管理と同等の収量・品質を維持することができた。さらに、33℃変温管理は慣行の29℃に比べてうどんこ病やべと病の発生が少なく、薬剤散布の労力やコストの削減につながるものと考えられた。

3. 接ぎ木キュウリ苗の奇形葉の発生に及ぼす接ぎ木法、台木品種及びホウ素処理の影響

接ぎ木キュウリ苗の奇形葉発生要因の究明を目的として、接ぎ木法、台木品種及びホウ素処理が奇形葉発生に及ぼす影響を明らかにした。キュウリの接ぎ木苗に発生する奇形葉は、断根挿し接ぎ、割り接ぎ、挿し接ぎで発生し、呼び接ぎでは発生しなかった。呼び接ぎでは、穂木及び台木胚軸の切断の有無にかかわらず、全く発生しなかった。奇形葉の発生は台木品種によっても異なり、台木として‘改良新土佐1号’など、セイヨウカボチャ×ニホンカボチャのF₁品種を使用すると多かった。接ぎ木直後にホウ砂0.05～0.1%溶液を葉面散布すると、奇形葉の発生が抑制された。接ぎ木前の2日間ホウ素の供給を断つと、奇形葉が多発した。ホウ素処理は、台木の発根及び接ぎ木後の活着に強い影響を及ぼした。

引用文献

- 阿部晴夫. 1992. 磁気圧着法による接ぎ木. 平成4年度課題別研究会資料. 接ぎ木苗生産の効率化研究の現状と展望. 野菜・茶業試験場. 7-12.
- 阿部晴夫. 2000. キュウリの省力・快適化生産－群馬園試におけるキュウリの省力・快適化生産技術開発－. 平成12年度課題研究会資料. キュウリ生産の現状と技術開発の方向. 野菜・茶業試験場. 49-57.
- 阿部 隆・佐々木裕二. 1994. キュウリ接ぎ木苗セル成型化技術としての断根苗の生育特性と養生法. 岩手園試研報. 7 : 91-98.
- 我孫子和夫. 1988. キュウリべと病. p.324. 岸 國平編. 作物病害事典. 全国農村教育協会. 東京.
- 我孫子和夫. 1988. キュウリ褐斑病. p.326. 岸 國平編. 作物病害事典. 全国農村教育協会. 東京.
- 我孫子和夫・岸 國平. 1979. キュウリうどんこ病の発病に及ぼす温度並びに湿度の影響. 野菜試報A. 5 : 167-176.
- Aloni, B. and L. Karni. 2002. Effects of CO₂ enrichment on yield, carbohydrate accumulation and changes in the activity of antioxidative enzymes in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Hort. Sci.* 77 : 534-540.
- 荒木陽一. 2008. 野菜類の施設栽培の現状と課題. p. 134-140. すぐに役立つハウス栽培技術－高収益性と環境保全を目指して－. 農業電化協会. 東京.
- Asahina, M., H. Iwai, A. Kikuchi, Y. Kamiya and S. Satoh. 2002. Gibberellin produced in the cotyledon is required for cell division during tissue-reunion in the cortex of cut cucumber and tomato hypocotyls. *Plant Physiol.* 129 : 201-210.
- Asahina, M., Y. Gocho, H. Kamata and S. Satoh. 2006. Involvement of inorganic elements in tissue reunion in the hypocotyl cortex of *Cucumis sativus*. *J. Plant Res.* 119 : 337-342.
- 浅尾俊樹・富田浩平・谷口久美子・潮 和頼・伴 琢也・細木高志・禿 泰雄. 2002. 冷水施与によるキュウリ奇形葉の発生およびTNZ303 (ジャスモン酸誘導体・ブラシノステライド誘導体混合剤) 種子処理による発生の軽減. 園学雑. 71 : 297-299.
- Berkel, N. van. 1984. Injurious effects of high CO₂ concentration on cucumber, tomato, chrysanthemum and gerbera. *Acta. Hort.* 162 : 101-112.
- Berkel, N. van and J. A. M. Uffelen. 1975. CO₂ nutrition of spring cucumber in The Netherlands. *Acta. Hort.* 51 : 213-224.
- 千葉県. 2006. 2005年農林業センサス (農林業経営体調査) 加工統計集. 362-363.
- 千葉県農林技術会議. 1996. 野菜経営収支試算表. 168-173.
- 千葉県農林水産技術会議. 2007. キュウリ栽培技術資料. 1-51.
- 千葉県農林水産技術会議. 2010. 野菜経営収支試算表. 19-20.
- Daymond, A. J., T. R. Wheeler, P. Hadley and J. I. Morison. 1997. The growth, development and yield of onion (*Allium cepa* L.) in response to temperature and CO₂. *J. Hort. Sci.* 72 : 135-145.
- Dennis, D. J. 1980. Effects of carbon dioxide enrichment and temperature program on the growth and yield of grasshouse cucumber. *Acta. Hort.* 118 : 205-220.
- 藤本秀幸. 1999. 全自動装置による接ぎ木の新技术・課題・今後の展開. 平成11年度野菜・花き並びに茶業課題研究会. 果菜類の大量育苗における技術開発の現状と今後の展開. 野菜・茶業試験場. 34-41.
- 平間信夫. 2009. 蒸しこまない, 快適環境下でのキュウリ栽培の可能性. 平成21年度野菜・花き並びに茶業課題研究会. ウリ科野菜生産を取り巻く現状と技術開発. 日本種苗協会. 野菜茶業研究所. 47-53.
- 平間信夫・水澤秀雅・松浦誠司. 2002. キュウリの半促成栽培におけるハウス内の気温と湿度が生育に及ぼす影響. 園学研. 1 : 183-186.
- 久富時男. 1977. 施用の効果 (2) トマト, その他. 野菜の炭酸ガス施用に関する試験研究打ち合わせ会議とりまとめ資料. 野菜試験場. 27-29.
- 兵藤宗郎. 2003. 施設園芸の現状と展望. p. 6-9. 日本施設園芸協会編. 五訂版施設園芸ハンドブック. 日本施設園芸協会. 東京.
- 池田英男. 1996. 用水と培養液の調整. p. 142. 日本施設園芸協会編. 最新養液栽培の手引き. 誠文堂新光社. 東京.
- 池田勝彦. 1978. 光の強さが野菜の光合成に及ぼす影響に関する研究 (第2報). 測定時における温度のちがい及び3要素欠乏が光合成特性に及ぼす影響. 東京農大農集報. 23:129-140.
- ISO7243. 1989. Hot environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulbe globe temperature). International

- Organization for Standardization. 1-2. Switaerland.
- 板木利隆. 1983. 施設園芸・装置と栽培技術. p. 205-214. 誠文堂新光社. 東京.
- 板木利隆. 1992. プラグトレイ上での幼苗接ぎ木. 平成4年度課題別研究会資料. 接ぎ木苗生産の効率化研究の現状と展望. 野菜・茶業試験場. 13-22.
- 板木利隆. 2003. 省力化・快適化技術の展開. p. 218-227. 日本施設園芸協会編. 五訂施設園芸ハンドブック. 日本施設園芸協会. 東京.
- 板木利隆. 2009. 施設園芸の発達と現況. p. 13-31. 施設園芸・野菜の技術展望. 園芸情報センター. 東京.
- 伊東 正. 1970. そ菜栽培における作物群落内の炭酸ガス濃度低下. 園学雑39: 185-192.
- 伊東 正. 1971. 施設園芸における炭酸ガス増与とその問題点. 農及園. 46: 245-250.
- 伊東 正. 1973. 蔬菜の生育・生理に及ぼす炭酸ガス環境の影響. 千葉大学園芸学部特別報告. 7: 3-14. 47-60. 75-97.
- 伊東 正. 1977. 施設園芸における炭酸ガス施用技術. 農及園. 52: 199-205.
- Iwai, H., N. Masaoka, T. Ishii and S. Satoh. 2002. A pectin glucuronyltransferase gene is essential for intercellular attachment in the plant meristem. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99: 16319-16324.
- 岩切 敏・稲山光男. 1975. 施設園芸作物の群落光合成に関する研究. 4. キュウリの個葉の2, 3の光合成特性. 農業気象. 30: 161-166.
- Kamp, P. G. and G. J. Timmerman. 2004. コンピューターによる温室環境の制御 (中野明正・細野達夫・東出忠桐・高市益行・島地英夫訳). p. 49-55, 74-79. 154-159. 日本施設園芸協会監修. 誠文堂新光社. 東京.
- 金井幸男・阿部晴夫・飯塚 浩. 1999. 施設栽培キュウリの収穫休み導入のための環境制御法. 群馬園試研報. 4: 1-10.
- 川島孝夫. 2010. 雇用を活用したきゅうり多収安定生産. 施設園芸・植物工場展2010 基調講演, 海外講演, 特別セミナーテキスト. 179-198.
- 小林 研. 1992. ウリ科野菜の接ぎ木装置. 平成4年度課題別研究会資料. 接ぎ木苗生産の効率化研究の現状と展望. 野菜・茶業試験場. 23-30.
- 小嶋和雄. 1978. ハウス内の作業環境について. 農業機械学会誌. 40: 289-292.
- 河野徳義. 1987. 促成栽培トマトの生育に伴う換気ハウスの気象特性およびCO₂濃度の変化. 農業気象. 43: 15-20.
- 河野 勉. 2000. 埼玉県における生産の現状と今後の課題. 平成12年度課題研究会資料. キュウリ生産の現状と技術開発の方向. 野菜・茶業試験場. 35-43.
- Kouchi, H. and K. Kumazawa. 1975. Anatomical responses of root tips to boron deficiency (1) Effects of boron deficiency on elongation of root tips and their morphological characteristics. *Soil. Sci. Plant. Nutr.* 21: 21-28.
- 黒木利美. 2000. 宮崎県における生産の現状と今後の課題. 平成12年度課題研究会資料. キュウリ生産の現状と技術開発の方向. 野菜・茶業試験場. 44-48.
- 李 智軍・名田和義・橘 昌司. 2003. 高温遭遇によるキュウリ葉のABAおよびポリアミン含量の変化と光合成器官の高温順化との関係. 園学雑. 72: 393-401.
- Li, J. H., M. Sagi, M. Volokita and A. Novoplansky. 1999. Response of tomato plants to saline water as affected by carbon dioxide supplementation. I. growth, yield and fruit quality. *J. Hort. Sci. Bio.* 74: 232-237.
- 間藤 徹. 1997. アポプラスト元素－ホウ素とカルシウム. 生物と化学. 35: 864-869.
- 松沼俊文. 2006. 施設キュウリの細霧による病害への影響と温熱環境の改善効果. 農及園. 81: 400-404.
- 松山松夫. 1992. 接ぎ木苗の人工光下順化における量産. 平成4年度課題別研究会資料. 接ぎ木苗生産の効率化研究の現状と展望. 野菜・茶業試験場. 40-49.
- 宮本雅章・阿部晴夫. 2000. 快適化作業環境による雇用労力対応技術の確立(3)遮熱資材とキュウリ抑制栽培. 群馬園試研報. 6: 95-96.
- 宮本雅章・阿部晴夫. 2004. 施設キュウリ栽培における温熱環境改善のための温度管理. 群馬農技セ研報. 1: 1-8.
- Mortensen, L. M. 1987. Review: CO₂ enrichment in greenhouse. Crop responses. *Sci. Hort.* 33: 1-25.
- 守田伸六. 1992. 瞬間接着剤による接ぎ木. 平成4年度課題別研究会資料. 接ぎ木苗生産の効率化研究の現状と展望. 野菜・茶業試験場. 1-6.
- 長岡正昭・高橋和彦. 1983. 複合環境制御下におけるトマトの生育・収量. 野菜試報A. 11: 45-56.
- 長岡正昭・高橋和彦・新井和夫. 1984. トマト・キュウリの光合成・蒸散に及ぼす環境条件の影響. 野菜試報A. 12: 97-117.
- 中井誠一・寄木 明・森本武利. 1990. 夏季運動時温熱環境の実態と温熱指標の比較. 体力科学. 38: 120-125.
- 中山 包. 1989. 接木成否に関する生物学. 農及園. 64: 33-37.
- Nederhoff, E. M., A. N. M. Dekoning and A. A. Rijdsdijk. 1992. Leaf deformation and fruit production

- of glasshouse grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by CO₂, plant density and pruning. *J. Hort. Sci.* 67: 411-420.
- Nederhoff, E. M. and K. Buitelaar. 1992. Effects of CO₂ on greenhouse grown eggplant (*Solanum melongena* L.) II. leaf tip chlorosis and fruit production. *J. Hort. Sci.* 67: 806-812.
- 信岡 尚. 1992. 底面吸水マット利用による簡易順化装置の開発. 平成4年度課題別研究会資料. 接ぎ木苗生産の効率化研究の現状と展望. 野菜・茶業試験場. 50-55.
- 農林水産省大臣官房統計部. 2010. 平成20年産野菜生産出荷統計. 94.
- 農林水産省大臣官房統計部. 2010. 平成20年産農業所得統計.
- <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001068083#>.
- 農林水産省経済局統計情報部. 1996. 平成6年産農業所得統計. 177.
- 農林水産省経済局統計情報部. 1998. 平成8年産農業所得統計. 177.
- 農林水産省経済局統計情報部. 2000. 第75次農林水産省統計表(平成10年~11年). 76.
- 農林水産省生産局生産流通振興課. 2009. 園芸用ガラス室・ハウス等の設置状況.
- <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001051847>.
- 小田雅行. 1992. 接ぎ木の生理. 平成4年度課題別研究会資料. 接ぎ木苗生産の効率化研究の現状と展望. 野菜・茶業試験場. 56-63.
- 大川浩司・大竹良知. 2000. 断根接ぎ木したキュウリ苗にみられる奇形葉の発生要因と対策. 愛知農総試研報. 32: 111-117.
- 大越 聡. 2000. 福島県における生産の現状と今後の課題. 平成12年度課題研究会資料. キュウリ生産の現状と技術開発の方向. 野菜・茶業試験場. 28-34.
- 大須賀隆司. 2003. 二酸化炭素制御. p. 170-177. 日本施設園芸協会編. 五訂版施設園芸ハンドブック. 日本施設園芸協会. 東京.
- 及川 仁. 2010. 施設園芸の今後の推進方策. 施設園芸・植物工場展 2010 基調講演, 海外講演, 特別セミナーテキスト. 3-17.
- 坂田好輝・鈴木克己. 2008. キュウリ. 主要な野菜品目および茶業における低コスト安定生産技術の開発に向けた研究戦略. 野菜茶業研究所研究資料(3). 野菜茶業研究所. 16-18.
- 崎山 一. 2001. ハウス半促成栽培(無加温). p. 26-44. 川城英夫編. 新野菜つくりの実際 果菜II. 農文協. 東京.
- 崎山 一・壇 和弘・今田成雄. 2001. 高温条件下の一時的な気温低下処理がキュウリの生育, 蒸散, 養分吸収, 乾物生産に及ぼす影響. 園学雑. 70 (別2): 274.
- 崎山 一・壇 和弘・今田成雄・宇田川雄二. 2002. 高温条件下の高湿度がキュウリ幼植物の生育, 蒸散, 養分吸収, 乾物生産に及ぼす影響. 千葉農総研報. 1: 25-33.
- Sanchez-Guerrero, M. C., P. Lorenzo, E. Medrano. 2005. Effect of variable CO₂ enrichment on greenhouse production in mild winter climates. *Agri. Forest Meteorology* 132: 244-252.
- 清野英樹. 1999. 半自動装置による接ぎ木の新技术・課題・今後の展開. 平成11年度野菜・花き並びに茶業課題研究会. 果菜類の大量育苗における技術開発の現状と今後の展開. 野菜・茶業試験場. 26-33.
- 清野英樹. 2009. 省力で高品質果実生産が可能なる下ろし栽培の現状と展望. 平成21年度野菜・花き並びに茶業課題研究会. ウリ科野菜生産を取り巻く現状と技術開発. 日本種苗協会. 野菜茶業研究所. 54-57.
- 関山哲雄. 1975. 複合環境調節装置の構成と動作について. 農業気象. 31: 95-101.
- 渋谷俊夫. 2009. ウリ科接ぎ木苗生産の現状と課題. 平成21年度野菜茶業課題研究会資料. ウリ科野菜生産を取り巻く現状と技術開発. 野菜茶業研究所. 6-11.
- 白木己歳. 1999. 直接定植栽培における管理技術. 平成11年度課野菜・花き並びに茶業課題研究会資料. 果菜類の大量育苗における技術開発の現状と今後の展開. 野菜・茶業試験場. 64-69.
- Slack, G. and D. W. Hand. 1985. The effect of winter and summer CO₂ enrichment on the growth and fruit yield of glasshouse cucumber. *J. Hort. Sci.* 60: 507-516.
- Slack, G. and D. W. Hand. 1986. The effects of propagation temperature, CO₂ concentration and early post-harvest night temperature on the fruit yield of January-sown cucumbers. *J. Hort. Sci.* 61: 303-306.
- Slack, G., J. S. Fenlon and D. W. Hand. 1988. The effects of summer CO₂ enrichment and ventilation temperature on the yield, quality and value of glasshouse tomatoes. *J. Hort. Sci.* 63: 119-129.
- 菅原真治・武井昭夫・伊藤克己. 1978. 養液栽培トマトの生産安定に関する研究(第3報) 栽植密度と炭酸ガス施用効果. 園学要旨. 昭53春: 262-263.
- 庄司卓郎・江川義之・興水ヒカル. 2003. 環境温度の違いが作業パフォーマンスに及ぼす影響. 産業安全研究所特別報告. 28: 49-61.
- 高橋龍彦・佐藤 巧・伊部 歩・柴崎則久・野水幸一・伊藤道秋. 2006. 新潟県におけるハウス促成栽培イチゴ

- の炭酸ガス施肥効果. 新大農研報. 58 (2): 97-102.
- 巽 穰・堀 裕. 1970. そ菜の光合成に関する研究. II. 温度および光の強さとそ菜幼植物の同化特性. 園試報A. 9: 181-188.
- Tazuke, A. and R. Sakiyama. 1986. Effect of fruit temperature on the growth of cucumber fruits. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 55: 62-68.
- Tazuke, A. and R. Sakiyama. 1991. Relationships between growth in volume and respiration of cucumber fruit attached on the vine. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 59:745-750.
- 戸田幹彦・中村新市. 1982. 温室メロンの炭酸ガス施用に関する研究(第2報)施用濃度並びに複合制御について. 静岡農試研報. 27: 9-19.
- 戸田幹彦・鈴木徹司・木村進・中村新市・岩崎正男. 1982. 温室メロンの炭酸ガス施用に関する研究(第1報)施用方式並びに施用時間帯について. 静岡農試研報. 27: 1-8.
- 土岐知久. 1970. 施設栽培における適環境条件の生理的研究. 1. キュウリの栽培温度の解析. 千葉農試研報. 10: 62-72.
- 土岐知久. 1977. 施用の効果(1)キュウリ. 野菜の炭酸ガス施用に関する試験研究打ち合わせ会議とりまとめ資料. 野菜試験場. 23-26.
- 土岐知久. 1987. キュウリ. p. 140-144. 伊東 正編著. 野菜の栽培技術. 誠文堂新光社. 東京.
- 東京青果物情報センター. 2008. 東京都中央卸売市場青果物流通年報. 野菜編. p. 76-77. 東京.
- 王 玉梅・橋 昌司. 1996. キュウリの初期生長と無機栄養に及ぼす高気温と高地温の影響. 園学雑. 64: 845-852.
- 渡辺庄一・上浜竜雄. 1976. CO₂施用によるキュウリ越冬栽培ハウス内の濃度変化. 農及園. 51: 1045-1046.
- 矢吹万寿・宮川秀夫. 1970. 風速と光合成に関する研究. 2. 風速と光合成との関係. 農業気象. 26: 137-141.
- 山口秀和. 1999. 接ぎ木キュウリに発生する奇形葉の発生条件と対策. 関東東海農業の新技術. 平成10年度. 15:116-121.
- 山口秀和・丸山 進・木下義明. 1998. 接ぎ木キュウリの奇形葉発生に及ぼすホウ素およびカルシウムの影響. 園学雑. 67 (別2): 305.
- 大和陽一. 1999. 接ぎ木キュウリにおける奇形葉の発生. 平成11年度野菜・花き並びに茶業課題別研究会. 果菜類の大量育苗にける技術開発の現状と今後の展開. 野菜・茶業試験場. 51-55.
- 大和陽一・濱野 恵・山崎博子・三浦周行. 1998. 接ぎ木キュウリの奇形葉発生に及ぼす接ぎ木時の播種後日数および断根の影響. 園学雑. 67 (別2): 561.
- 大和陽一・濱野 恵・山崎博子・三浦周行. 1999a. キュウリの奇形葉発生に及ぼす接ぎ木方法の影響. 園学雑. 68 (別2): 129.
- 大和陽一・濱野 恵・山崎博子・三浦周行. 1999b. 断根挿しした接ぎ木キュウリの奇形葉は接ぎ木前の低夜温により増加する. 園学雑. 68 (別1): 228.
- 大和陽一・濱野 恵・山崎博子・三浦周行. 2000. 接ぎ木キュウリの奇形葉発生に及ぼす接ぎ木前後の温度の影響. 園学雑. 69 (別1): 114.
- 大和陽一・山崎博子・濱野 恵・三浦周行. 1999c. 接ぎ木キュウリの奇形葉の発生に及ぼす台木品種の影響. 園学雑. 68 (別1): 392.
- 野菜試験場. 1977. 施用基準(案). 野菜の炭酸ガス施用に関する試験研究打ち合わせ会議とりまとめ資料. 野菜試験場. 43.
- 野菜・茶業試験場. 2001. 野菜の接ぎ木栽培の現状と課題. 野菜・茶業試験場研究資料. 9: 34-112.
- 安井秀夫・本多藤雄. 1977. 野菜の生育制御に関する生態学的研究 I 野菜の生長解析. 野菜試報C 3: 15-50.
- 寄木 明. 1992. WBGTを指標とした暑熱下運動時の生体応答と熱ストレスの評価. 体力科学. 41: 477-484.

Summary

Studies on the Development of Techniques for Stabilizing Cucumber (*Cucumis sativus* L.) Forcing Production and for Reducing the Labor Load in Greenhouse

Hideo KAWASHIRO

Key words : carbon dioxide supplementation, cucumber, malformed leave, thermal environment, time-dependent temperature management,

In recent years, the planted acreage of cucumber in Japan has been decreased dramatically from 16,000 ha in 1998 to 12,500 ha in 2008. In such background, the consumption has gradually decreased with slump of the price and the yield of cucumber also decreased. Consequently the profit decreased by the rise of the production cost. Furthermore, young successors don't want to succeed their farming and the average age of the farmer has been getting older. Therefore, it becomes the urgent matter to establish the efficient techniques for cucumber, and to reduce the labor load in greenhouse for facilitating introduction of employment labor. The aim of this study was to develop new techniques for stable production with comfortable working condition in the forcing cucumber greenhouse culture. The study consists of three researches: (1) development the method of cost-effective carbon dioxide enrichment for increase in productivity, (2) development the method of temperature control for reducing labor load in greenhouse, (3) find the causing factor and preventing measures of malformed leaves of grafted cucumber seedlings for the stability of nursery plant production

1. Effects of low-concentration carbon dioxide supplementation on fruit yield and economic value of cucumber on forcing culture

The responses of cucumber plants grown with different carbon dioxide concentrations and length of supplementation times in a greenhouse were investigated. The treatments both of the long hours(7hr) with low concentration(500 ppm) and the short hours(3hr) with high concentration(1,000 ppm) treatments increased the marketable fruit yield by 39–55%. Even if expenditure due to carbon dioxide enrichment is subtracted, the gross return was 58,000–96,000 yen per 100 m² higher than non-enriched culture. In the long-hours supplementation the growth yield was higher, and the amount of carbon dioxide used was less than those in the short-term supplementation. Therefore, the long-hours supplementation at 500 ppm was cost-effective.

2. Effects of temperature control in greenhouse on thermal environment, work load, growth and fruit yield of cucumber in forcing culture

In order to reduce labor load for harvesting in greenhouse under high air temperature and high humidity, effects of new temperature control on the thermal environment, work load, fruit yields, quality and occurrence of diseases were investigated. The air temperature in the greenhouse was adjusted by the ventilation of roof window. The Wet Bulb Globe Temperature and the heart rate of worker at air temperature of 25°C from 9:30 to 11:30 was lower than those of 29°C as conventional control. When cucumber plants were grown at air temperature of 38°C from 11:30 to 13:30, the marketable yields decreased, the curved fruit increased and fruit skin color became pale. However, there was no difference of the branch length, fruit yields, quality and skin color between time-dependent temperature

management of 33°C and conventional control of 29°C from 11:30 to 13:30. Occurrence of powdery mildew and downy mildew at time-dependent temperature management of 33°C was reduced compared with those of 29°C. It was suggested the frequency of fungicide application and production cost of cucumber could be reduced by this time-dependent temperature management.

3. Effects of grafting method, cultivars of rootstock and boron treatments on the occurrence of malformed leaves of grafted cucumber seedlings

Effects of the grafting method, cultivars of rootstock and boron application on the causative factors and preventative measures of malformed leaves of grafted cucumber seedlings were investigated. Malformed leaves occurred in insert grafting to the cut rootstock, insert grafting with a rooted rootstock and cleft grafting, but did not occur in approach grafting, even if the hypocotyls of the scion and the rootstock were cut off just after grafting. The occurrence of malformed leaves differed by the rootstock cultivar, and tended to increase using F₁ hybrid of *Cucurbita maxima* Duch × *Cucurbita moschata* Duch. The occurrence was reduced by foliar application of borax solution at 0.05 – 0.1% after grafting. The rate of malformed leaves markedly decreased when boron was added to the nutrient solution for 2 days before grafting in hydroponics. The rooting of the rootstock and subsequent growth after grafting were strongly influenced by boron application. The mechanisms of the occurrence of malformed leaves after grafting were discussed.

編集委員長	片瀬雅彦
編集委員	植松清次
	日坂弘行
	大泉利勝
	加藤修
	山本幸洋
	大井田寛
	深見正信
	吉田俊郎
	赤山喜一郎
	香川晴彦
	藤代淳
	古川雅文
	岩澤勝巳
編集委員会事務局	田中雅史
	砂盛恵理子

千葉県農林総合研究センター特別報告 第3号

平成24年3月31日発行

発行所 千葉県農林総合研究センター

場所 〒266-0006

千葉県緑区大膳野町808番地

電話 (043) 291-0151 (代表)

印刷 三陽メディア株式会社

住所 〒260-0824

千葉県中央区浜野町1397番地

電話 (043) 266-8437

