

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の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。