

イチゴ促成栽培におけるミスト噴霧とCO₂長時間施用が生育・収量に及ぼす影響

加藤賢治¹⁾・小林克弘¹⁾・嶋本千晶²⁾・中村嘉孝³⁾・小島寛子²⁾・大藪哲也²⁾・
番喜宏²⁾・岩崎泰永⁴⁾

摘要：ミスト噴霧およびCO₂長時間施用がイチゴの生育および収量に及ぼす影響を調査した。

- 1 ミスト噴霧の効果について、ハウスサイドを開放する秋期及び春期には、ミストによりハウス内気温が低下するとともに相対湿度が高く維持された。厳寒期については、ミストを噴霧しなくてもハウス内の相対湿度は高く維持され、効果は小さいと思われた。
- 2 ミスト噴霧により施設内気温を低下させて換気を抑制し、CO₂施用時間を延長することが可能か検討した。ハウス閉鎖時のミスト噴霧による施設内気温の低下はわずかであり、ミスト噴霧によりCO₂施用時間を大幅に延長することは難しいと思われた。
- 3 日中のCO₂濃度を700~1000 ppm(ただし換気温度付近では400 ppm)とするCO₂長時間施用と高めの培養液の給液により、「とちおとめ」ではCO₂無施用に対して39~45%、早朝のみの慣行施用に対して21~26%収量が増加した。

キーワード：イチゴ、CO₂施用、ミスト、相対湿度、収量、培養液濃度

Effect of Mist Spray and Long-Time CO₂ Enrichment on Growth and Yield of Strawberry in Forcing Culture

KATO Kenji, KOBAYASHI Katsuhiko, SHIMAMOTO Chiaki, NAKAMURA Yoshitaka,
KOJIMA Hiroko, OYABU Tetsuya, BAN Yoshihiro and IWASAKI Yasunaga

Abstract: We investigated the effect of mist spray and long-time CO₂ enrichment on strawberry growth and yield.

1. Whereas the side-windows of greenhouse were opened in autumn and spring, mist spraying kept temperature lower and relative humidity higher in the greenhouse. In midwinter, almost all windows were shut and the relative humidity was maintained at a high level even without mist spraying; therefore, the humidification effect of mist spray was limited.
2. We examined whether mist cooling could extend the CO₂ enrichment time by suppressing ventilation to reduce temperature in the greenhouse. Mist spraying without ventilation could reduce the temperature only a little, so it appears difficult to extend the CO₂ enrichment time drastically by mist spray.
3. Long-time (during the day) CO₂ enrichment at a concentration of 700–1000 ppm (400 ppm near the ventilation temperature) along with thick nutrient solution increased yield of 'Tochiotome' strawberry by 35–45% from that without CO₂ enrichment, and by 21–26% from that with custom CO₂ enrichment (short-time in the early morning).

Key Words: Strawberry, CO₂ enrichment, Mist spray, Relative humidity, Yield, Culture solution concentration

本研究の一部は園芸学会平成25年度秋季大会(2013年9月)、平成26年度秋季大会(2014年9月)および平成26年度園芸学会東海支部研究発表会(2014年8月)において発表した。

本研究は農林水産省新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業および農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「CO₂長期・長時間施用を核とした環境制御技術を開発し東海の園芸産地を活性化する」により実施した。

¹⁾ 園芸研究部(現西三河農林水産事務所) ²⁾ 園芸研究部 ³⁾ 園芸研究部(現環境基盤研究部)

⁴⁾ 農研機構野菜茶業研究所

(2015.9.8 受理)

緒言

イチゴにおけるCO₂施用は、1970年代から多くの研究がされている¹⁾。冬期寡日照地域を中心に、終日施用で高い増収効果が認められ²⁾、冬期多日照地域においても、土壌からのCO₂供給が少ない高設栽培で増収効果が認められている³⁻⁵⁾。愛知県の施設イチゴ栽培においては、高設栽培を中心に灯油燃焼式のCO₂施用機を用い、早朝数時間の稼働でCO₂濃度2000 ppm前後の施用が行われている。

CO₂施用は、短時間よりも長時間、光強度の弱い時間帯よりも強い時間帯で効果が高いとされており⁶⁾、冬期においても比較的日照が多く、換気回数が多いためCO₂濃度を高く保つことが難しい太平洋側では、光強度の高い時間帯にCO₂施用を行うことが難しい。

また、CO₂施用時の温湿度環境の影響については明らかとなっていない点も多く、更なる研究が必要とされている⁷⁾。

一方、トマト等において、ミストが夏期高温対策技術として検討され、イチゴにおいても本ぼ定植後の高温対策としてミストの利用が検討され、夏期高温対策マニュアルとしてまとめられている⁸⁾。ミスト噴霧は、気化しやすい小さな粒径のミストを施設内に噴霧することにより、気温を低下させるとともに、加湿効果もあり、生育の促進や増収が期待される。

このような中、東海地域でのCO₂長期長時間施用技術の確立を目指し、愛知県農業総合試験場では、ミスト噴霧によるハウス内の昇温抑制効果や加湿効果およびイチゴの生育および収量に及ぼす影響について検討した。また、日中のCO₂濃度制御によるCO₂長時間施用がイチゴの生育および収量に及ぼす影響について検討した。

材料及び方法

試験1 ミスト噴霧が施設内環境、生育および収量に及ぼす影響

愛知県農業総合試験場内の屋根型鉄骨ハウス（東西棟：間口7.5 m×奥行15 m、フッ素フィルム（商品名エフクリーン）展張）を中央部でビニルフィルムによって東西に分割し、1室はCO₂施用のみ行ってミスト無区とし、もう1室はCO₂施用とミスト噴霧による加湿制御を組み合わせたミスト有区とした。

CO₂施用は、液化CO₂を用いて、CO₂濃度制御機（トヨハシ種苗、CO₂当盤、愛知）により、施用濃度の設定値を7～15時の間は1000 ppm、15～16時の間は600 ppmとした。上記の時間の中で、28℃以上となった場合には強制換気し、施用濃度は400 ppmとした。

ミスト（トヨハシ種苗、グローミスト、愛知、粒径27～28 μm、ノズルあたり噴霧量100 ml/分、ノズル数1個/10 m²）噴霧は、気温23℃以上かつ相対湿度85%以下の

とき、5秒噴霧5秒休止サイクルで行った。CO₂施用およびミスト噴霧とも2012年11月13日から開始し、CO₂施用は常時サイド換気を行うようになったため2013年3月31日まで、ミスト噴霧は2013年5月31日まで実施した。

品種は「章姫」、「とちおとめ」、「紅ほっぺ」、「ゆめのか」を用い、30日間の短日夜冷処理後、2012年9月11日に高設栽培ベッドに株間21 cmで定植した。給液はロックメイトT処方をEC0.5～0.8 dS/mに希釈した培養液を1株あたり100～200 ml/日タイマーにより与えた。気温28℃以上で換気扇による強制換気を行い、ハウス内気温最低8℃を確保するように温湯加温を行った。サイド部分のみ内張保温カーテンを展張し、天井部分は外張りのみとした。

ハウス内の温湿度は、通風筒内にセンサー部を挿入した温湿度ロガー（チノー、温湿度カードロガーMR6662、東京）で測定した。

ハウス内のCO₂濃度は、CO₂データロガー（佐藤商事、CO₂濃度計MCH-383SD、東京）で測定した。

生育調査は2013年1月10日に草高および第3展開葉の葉幅、小葉長、葉柄長を調査した。収穫調査は収穫初めから5月31日まで、6g以上の販売可能な果実を調査し、可販果収量とした。生育調査および収穫調査は1品種あたり10株2反復で行った。

試験2 ミストの噴霧開始時期がイチゴの収量に及ぼす影響

最適なミスト噴霧開始時期を検討した。ミスト噴霧開始時期を、定植時の9月11日、定植41日後の10月22日、CO₂施用開始時の12月1日とした。試験は愛知県農業総合試験場の同型のパイプハウス（南北棟：間口5.4 m×奥行19 m、PO展張）2棟で行い、イチゴ品種「章姫」を供試した。

ミスト（トヨハシ種苗、グローミスト、愛知、粒径27～28 μm、ノズルあたり噴霧量100 ml/分、ノズル数10個/100 m²）噴霧は、気温23℃以上かつ相対湿度80%以下かつ濡れセンサー（アズツック、AKI-1801、長野）が濡れを感知していないとき連続噴霧で行った。ミスト噴霧は2014年5月31日まで実施した。

CO₂施用は、7～15時の間を1000 ppm、15～16時の間を800 ppmとし、そのうち28℃以上では400 ppmになるように設定し施用した。CO₂濃度の制御にはスマートリレー（IDEC、FL1E-H12RCE、大阪）を用い、CO₂センサモジュール（センスエアー、CO₂EngineK30、スウェーデン）を用いてCO₂濃度を計測し、電磁弁（CKD、AB41-02-3-AC100V、愛知）を開閉することで液化CO₂を供給し制御した。CO₂施用は2013年12月1日から2014年3月25日まで実施した。

2013年11月21日、固定式内張りを展張した。同日から温風暖房機により最低8℃で加温を実施した。

ハウス内の温湿度は、試験1と同様に測定した。

収穫調査は収穫初めから4月30日まで、6g以上の販売可能な果実を調査し、可販果収量とし、1区あたり10株3反復で行った。

試験3 相対湿度がイチゴの葉面積、乾物重およびT/R率に及ぼす影響

愛知県農業総合試験場の温室内に小型のチャンバー（幅65 cm×奥行190 cm×高さ100 cm、PO被覆）を3個設置した。7～17時の相対湿度をそれぞれ60%、75%、90%に、CO₂濃度を1000 ppmに設定したチャンバー内で2014年1月22日から3月10日までイチゴ品種「章姫」を、川砂を詰めた12 cmポリポットで1区当たり8株栽培した。苗は2013年10月1日に採苗し適宜施肥を行いながら育苗し、チャンバー内では園試処方に大塚ハウス5号を50 g/1000 L添加した培養液をEC0.8 dS/mで底面給液により与えた。花房は適宜除去した。相対湿度とCO₂濃度の制御にはスマートリレー（IDEC、FLIE-H12RCE、大阪）を用いた。相対湿度は、湿球温度と乾球温度から計算し、0～5℃に冷却した循環水を通した塩化ビニルチューブに小型ファン（山洋電機、SanAce60、東京）でチャンバー内の空気を送風することにより結露させ、除湿するか、超音波加湿器（OHM、FH-1538R、東京）により加湿することで目標の相対湿度となるよう制御した。CO₂濃度は試験2と同様の方法で制御した。

栽培終了後、葉面積および地上部・地下部の乾物重を計測した。葉面積は葉面積計（藤原製作所、green Leaf Area meter model GA-5、東京）で計測した。

試験4 ミストと高温管理によるCO₂長期長時間施用と培養液濃度がイチゴの生育・収量に及ぼす影響

愛知県農業総合試験場の同型のパイプハウス（南北棟：間口5.4 m×奥行19 m、PO展張）2棟を用い、1棟はミスト噴霧と日中にCO₂濃度を指標とした施用（以下濃度施用）を行い、12月から2月の換気温度を32℃に設定した処理区とした。もう1棟はタイマーにより早朝のみCO₂施用を行い、慣行の換気温度である28℃に設定した慣行区とした。CO₂施用は液化CO₂を用いて、慣行区はタイマーで6～8時30分に1500 ppmを目標に行い、その後は施用しなかった。処理区は試験2と同様の方法で行った。CO₂施用は2013年12月1日から2014年3月25日まで実施した。

それぞれのハウス内でイチゴ品種「章姫」、「ゆめのか」、「とちおとめ」を慣行の培養液濃度（以下中EC区、EC=0.65～0.95 dS/m）と高濃度の培養液（中EC区よりも常に0.2 dS/m高い培養液、以下高EC区）で栽培した。給液は園試処方に大塚ハウス5号を50 g/1000 L添加した培養液を設定したECで、排液率が30～40%となるように日射比例方式で与えた。

ミスト噴霧は試験2と同様の方法で、2013年9月11日から2014年5月31日まで実施した。

各品種とも30日間の短日夜冷処理後、2013年9月11日に高設栽培ベッドに株間21 cmで定植した。2013年11月21日、固定式内張りを展張した。同日から温風暖房機により最低8℃で加温を実施した。

ハウス内の温湿度およびCO₂濃度は試験1と同じ方法で計測した。

生育調査は2013年10月11日、12月5日、2014年1月30

日、3月27日に第3展開葉の葉長を調査した。

収穫調査は収穫初めから5月31日まで、6 g以上の販売可能な果実を調査し、可販果収量とした。

生育調査および収量調査は1品種あたり10株3反復で行った。

試験5 CO₂施用濃度および培養液濃度がイチゴの収量およびみかけのCO₂吸収量に及ぼす影響

愛知県農業総合試験場のガラス温室1棟（南北棟：間口3.7 m×奥行12 m）をCO₂無施用区、パイプハウス1棟（南北棟：間口6 m×奥行18 m、フッ素フィルム（商品名エフクリーン）展張）を、早朝のみCO₂施用する慣行区、パイプハウス2棟（南北棟：間口5.4 m×奥行19 m、PO展張）を、日中の施用濃度を700 ppmとする700 ppm区および1000 ppmとする1000 ppm区とした。さらに、700 ppm区と1000 ppm区には12月から1月の培養液を他区より0.3 dS/m高くした高EC区を設けた。700 ppm区、1000 ppm区ともにハウス内気温24℃以上では施用濃度を400 ppmとし、28℃以上で強制換気した。CO₂施用は液化CO₂を用い、慣行区はタイマーで6～8時30分に1500 ppmを目標に行い、その後は放任とした。700 ppm区および1000 ppm区は7～15時を700 ppmおよび1000 ppmとした。上記の時間のうち24℃以上では400 ppmになるように施用し、28℃以上となった場合には強制換気した。CO₂濃度の制御は試験2と同様の方法で行った。CO₂施用は2014年11月28日から2015年3月17日まで実施した。

供試品種は「とちおとめ」を用いた。30日間の短日夜冷処理後、2014年9月10日に高設栽培ベッドに株間21 cmで定植した。給液は園試処方に大塚ハウス5号を33 gまたは50 g/1000 L添加した培養液をEC=0.65～1.15 dS/m（高EC区は0.65～1.45 dS/m、給液ECが1.2 dS/m以上の時、大塚ハウス5号の添加量を33 g/1000 Lとした。）、排液率が30～40%となるように日射比例方式で与えた。2014年11月22日、固定式内張りを展張した。同日から温風暖房機により最低5℃で加温を実施し、培地内に埋設した温床線（日本ノーデン、農電ケーブル250 W・100 V・31 m/栽培ベッド15 m、東京）により最低13℃で培地加温を実施した。

ハウス内のCO₂濃度はCO₂センサモジュール（センスエア、CO₂EngineK30、スウェーデン）および電圧ロガー（T&D、VR-71、長野）を用いて計測・記録した。

収量調査は1品種10株3反復で行った。

みかけの1株当たり1日のCO₂吸収量は、Kuroyanagiら⁹⁾の方法を参考に、あらかじめ求めた各ハウスの隙間換気回数と、CO₂供給量、ハウス内外のCO₂濃度から次式により1時間ごとの株当たりCO₂吸収量F (g株⁻¹h⁻¹)を算出し、7～16時の算出値を積算した。

$$F(\text{g株}^{-1}\text{h}^{-1}) = (R_{a+1} - R_a + S - W) D^{-1} \\ = (R_{a+1} - R_a + S - nVA^{-1}(C_{\text{ain}} - C_{\text{out}})) D^{-1}$$

R_a (gm⁻²): a時におけるハウス内CO₂残存量

R_{a+1} (gm⁻²): a+1時におけるハウス内CO₂残存量

S (gm⁻²h⁻¹): a時からa+1時におけるCO₂供給量
 W (gm⁻²h⁻¹): 隙間換気によるCO₂損失量
 n (回h⁻¹): 隙間換気回数
 V (m³): ハウス容積
 A (m²): ハウス面積
 C_{ain} (gm⁻³): a時からa+1時のハウス内の平均CO₂濃度
 C_{out} (gm⁻³): 外気のCO₂濃度 (400 ppm≒0.75 gm⁻³とした)
 D (株m⁻²): 栽植密度

試験6 CO₂施用濃度と培養液濃度がイチゴの収量に及ぼす影響

同形の場内パイプハウス (南北棟: 間口5.4 m×奥行19 m, PO展張) 2棟を用い、1棟は日中のCO₂施用濃度を700 ppmとする700 ppm区、もう1棟は同じく1000 ppmとする1000 ppm区とした。700 ppm区、1000 ppm区ともにハウス内気温24℃以上では施用濃度を400 ppmとした。それぞれのハウス内でイチゴ品種「章姫」、「ゆめのか」、「とちおとめ」を慣行の培養液濃度 (以下中EC区、EC=0.65~1.15 dS/m) と高濃度の培養液 (中EC区より0.3 dS/m高い培養液、以下高EC区、EC=0.65~1.45 dS/m) で栽培した。

定植、CO₂施用、給液、内張り、ハウス加温、培地加温は試験5と同様に行った。

収穫調査についても試験5と同様の方法で行った。

試験結果

試験1 ミスト噴霧が施設内環境および生育・収量に及ぼす影響

初冬期 (2012年11月25日) の9~16時のハウス内相対湿度は、ミスト無区では40%程度まで低下したのに対して、ミスト有区では、60~70%を維持でき、平均飽差はミスト無区の15.1 hPaに対して、ミスト有区は9.6 hPaとなった。ハウス内気温には差が見られなかった (図1)。

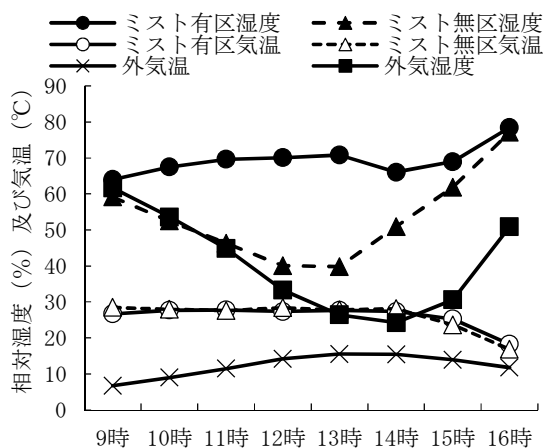


図1 ミスト噴霧が施設内の温度・湿度に及ぼす影響 (試験1) (2012年11月25日調査)

注) ミスト噴霧条件: 温度23℃以上、湿度85%以下。

厳寒期 (2012年12月27日) の9~16時のハウス内相対湿度は、ミスト無区では50%程度まで低下したのに対して、ミスト有区では、60~70%を維持でき、平均飽差はミスト無区の11.6 hPaに対して、ミスト有区は8.2 hPaとなった。ハウス内気温には差が見られなかった (図2)。

春期 (2013年3月27日) の9~16時のハウス内相対湿度は、ミスト無区では25%程度まで低下し、ミスト有区でも、40%まで低下した。平均飽差はミスト無区の17.0 hPaに対して、ミスト有区は12.1 hPaとなった。ハウス内気温には差が見られなかった (図3)。

2013年1月29日に換気扇を作動させずに、各室の中央部に設置した通風筒内の温湿度を測定した結果、ミストを噴霧している間、ミスト有区の室温はミスト無区に対して約2℃低かった。しかしながら、ミスト有区で換気設定温度に達する時間は、ミスト無区に比べて30分程度遅れるのみであった。相対湿度は、ミスト無区が50%を中心に推移したのに対し、ミスト有区では70%を中心に推移した (図4)。

生育調査の結果、1月には各品種でミスト有区の生育が旺盛になり、第3展開葉の葉幅、小葉長、葉柄長でミスト無区と有意な差が見られた (表1)。

11~1月におけるミスト有区の1株当たりの可販果収量は、ミスト無区と比較して、「章姫」で16%、「とちおとめ」で16%、「ゆめのか」で18%の増収となった (図5)。しかし、「紅ほっぺ」では9%減収した。5月までの1株当たりの可販果収量は、ミスト有区の方が、「章姫」では4%、「とちおとめ」では2%、「紅ほっぺ」では4%、「ゆめのか」では18%の増収となった。

試験2 ミストの噴霧開始時期が収量に及ぼす影響

9月の晴天日にはミスト噴霧により、日中のハウス内気温が5℃程度低下し、ハウス内の湿度も60~75%を維持できた (図6)。9月中旬~10月中旬の9~16時のハウス内湿度は、ミスト噴霧により15~25%高くなったが、

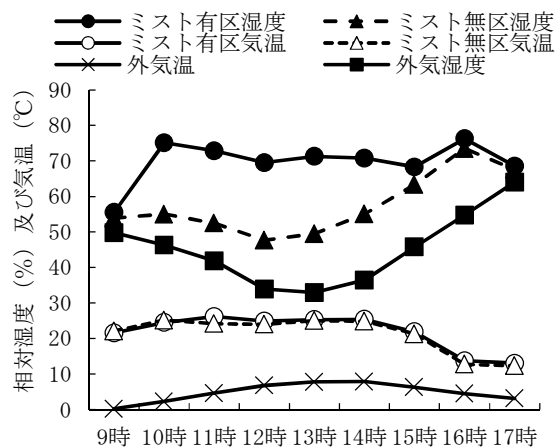


図2 ミスト噴霧が施設内の温度・湿度に及ぼす影響 (試験1) (2012年12月27日調査)

注) ミスト噴霧条件: 温度23℃以上、湿度85%以下。

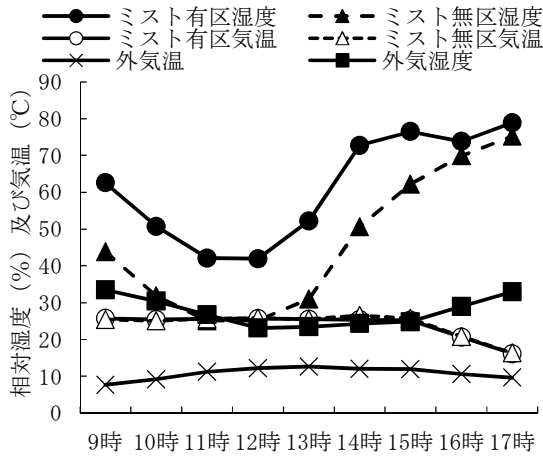


図3 ミスト噴霧が施設内の温度・湿度に及ぼす影響 (試験1) (2013年3月26日調査)

注) ミスト噴霧条件: 温度23℃以上、湿度85%以下。

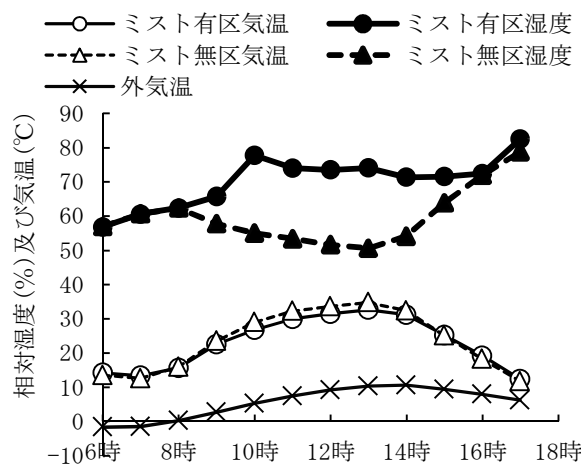


図4 ミスト噴霧が施設内の温度・湿度に及ぼす影響 (試験1) (2013年1月29日調査)

注) ミスト噴霧条件: 温度23℃以上、湿度85%以下。

表1 ミスト噴霧とCO₂施用が生育に及ぼす影響 (試験1) (第3展開葉を1月10日に調査)

品種	試験区	草高 (cm)	葉幅 (cm)	小葉幅 (cm)	葉柄長 (cm)
章姫	ミスト有	24.0	5.1	7.5	13.8
	ミスト無	22.1	4.9	6.9	12.0
	t検定	n. s.	*	*	**
とちおとめ	ミスト有	18.4	4.7	6.4	8.1
	ミスト無	18.6	4.2	5.7	6.8
	t検定	n. s.	**	**	**
紅ほっぺ	ミスト有	26.3	5.4	8.0	16.3
	ミスト無	25.3	4.7	6.6	13.6
	t検定	n. s.	**	**	**
ゆめのか	ミスト有	19.9	5.7	7.0	11.3
	ミスト無	19.6	4.8	6.3	9.4
	t検定	n. s.	**	**	**

注) n. s. : 有意差なし。* : 5%危険率で有意差あり。** : 1%危険率で有意差あり。

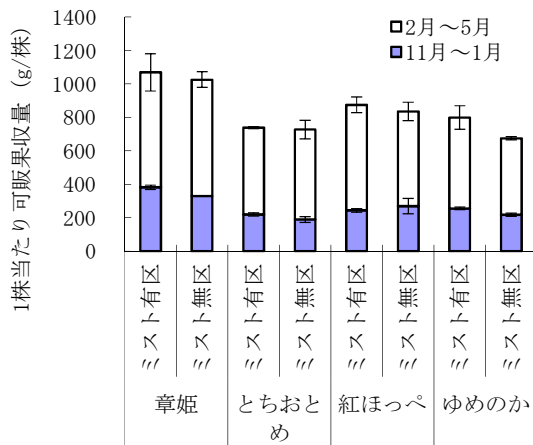


図5 ミスト噴霧が可販果収量に及ぼす影響 (試験1)

注) 垂直線は標準誤差 (n=2) を示す。

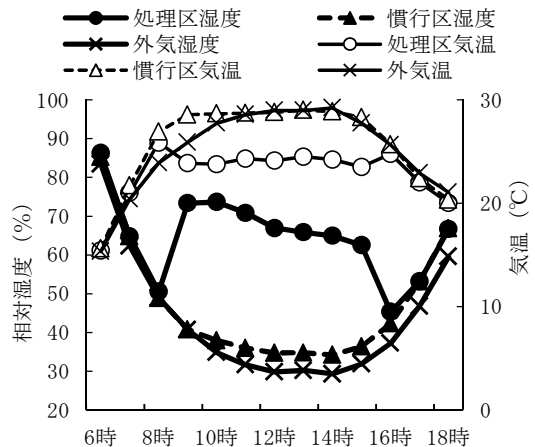


図6 ミスト噴霧が施設内の温度・湿度に及ぼす影響 (試験2) (2013年9月28日調査)

注) ミスト噴霧条件: 温度23℃以上、湿度80%以下。

徐々に差は小さくなり、11月下旬には差はなくなった。同様に9月中旬～10月中旬の9～16時のハウス内温度は、ミスト噴霧により3℃程度低くなったが、徐々に差は小さくなり、11月下旬には差はなくなった(図7)。

年内収量には大きな差は見られず、4月までの可販果収量は9月11日および10月22日にミスト噴霧を開始した区が12月1日に開始した区よりも少なくなった(図8)。

試験3 相対湿度が葉面積・乾物重・T/R率に及ぼす影響

栽培期間中の7～17時のチャンパー内の平均相対湿度およびCO₂濃度は、60%区が67%および970 ppm、75%区が76%および910 ppm、90%区が86%および970 ppmであった。

栽培終了時の葉面積は、60%区が1171 cm²、75%区が1196 cm²、90%区が1106 cm²で大きな差は見られなかった。

乾物重についても、60%区が32.3 g、75%区が32.8 g、90%区が32.4 gで試験区間に差は見られなかったが、75%区に対して、60%区および90%区の地上部乾物重がやや軽く、地下部乾物重がやや重かったことから、75%区のT/R率が最も大きく、次いで90%区、60%区の順にT/R率は小さくなった(図9)。

試験4 ミストと高温管理によるCO₂長期長時間施用と培養液濃度が生育・収量に及ぼす影響

9～16時のハウス内相対湿度について、ハウスサイドを開放した9～10月、4～5月は、慣行区の45～55%に対して、処理区はミスト噴霧により65～70%を維持でき、ハウス内気温は、慣行区よりやや低くなった(図10)。11～1月の処理区と慣行区のハウス内温湿度は、ほとんど差が見られなかった。7～16時のハウス内平均CO₂濃度について、12～2月は、慣行区が約600 ppmであったのに対して、処理区では700～900 ppmと高く維持できた。

第3展開葉の葉長は、全品種とも同じで10月11日および12月5日調査では処理区および慣行区とも高EC区で長い傾向で、処理による差は見られなかった(図11)。3月27日調査では処理中EC区のみ他区に比べ有意に短かった。

中ECでは、処理区の2月までの1株当たり可販果収量は「章姫」、「ゆめのか」では慣行区と差がなく、「とちおとめ」では少なかった(表2)。5月までの処理区の1株当たり可販果収量は3品種とも慣行区より有意に少なかった。高ECでは、処理区の2月までの1株当たり可販果収量は「章姫」、「ゆめのか」では慣行区より多く、「とちおとめ」では差がなかった。5月までの処理区の1株当たり可販果収量は「ゆめのか」、「とちおとめ」では慣行区と差がなく、「章姫」では多かった。

試験5 CO₂施用濃度が収量およびみかけのCO₂吸収量に及ぼす影響

12月の7～17時のハウス内CO₂濃度は、700 ppm区と1000 ppm区では、10時頃まで設定濃度を維持した(図12)。その後徐々に低下したものの、400 ppm以上を維持した。

慣行区では概ね正午頃までは400 ppm以上であったが、午後は400 ppmを下回った。無施用区は9時以降ほとんどの時間400 ppm以下であった。

CO₂施用開始後1月6日までの排液ECは、慣行区がほぼ横ばいで、無施用区では上昇したのに対して、700 ppm区と1000 ppm区では低下し、1000 ppm区の低下が大きかった(図13)。その後2月14日にかけて無施用区と慣行区では給液ECより高くなり、700 ppm区ではほぼ給液ECと同じで、1000 ppm区は給液ECを下回った。高EC区ではCO₂施用後から排液ECが徐々に上昇し、2月中旬にかけて給液ECと同等になった。

みかけの1株当たり日CO₂吸収量は、各区12月・1月ともほぼ同じで、無施用区が0.7 g株⁻¹日⁻¹程度で最も少なく、1000 ppm区が1.7 g株⁻¹日⁻¹程度で最も多かった(図14)。700 ppm区は1.1 g株⁻¹日⁻¹、慣行区は1.3 g株⁻¹日⁻¹とほぼ同程度であった。

4月までの1株当たり可販果収量は、無施用区が504 gで最も少なく、次いで慣行区が579 g(対無施用区115%)、700 ppm区が698 g(同139%)、1000 ppm区が730 g(同145%)であった(図15)。700 ppm高EC区では700 ppm区に対して11%の増収となったが、1000 ppm高EC区では1000 ppm区に対して増収しなかった。

試験6 CO₂施用濃度と培養液濃度がイチゴの収量に及ぼす影響

4月までの1株当たり可販果収量について、「章姫」では高EC区が中EC区に比べ11～13%多く、700 ppm区と1000 ppm区の差は小さかった。「ゆめのか」では、1000 ppm区が700 ppm区に比べ10～16%多く、高EC区が中EC区に比べ4～10%多かった。「とちおとめ」では、700 ppm高EC区が他区に比べ6～11%多かった。また、「章姫」では、1000 ppm区で奇形果の発生が多かった(図16)。

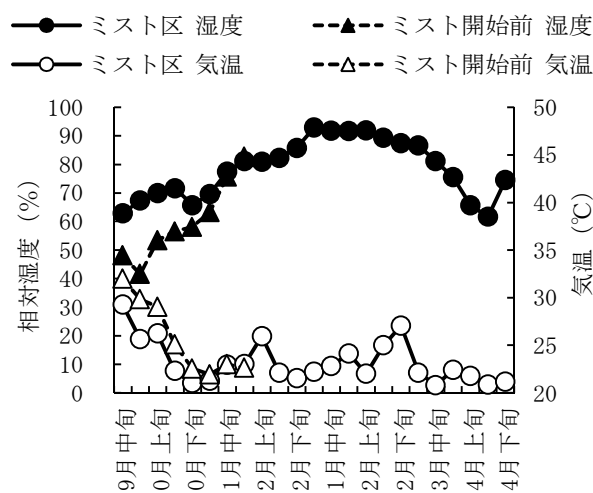


図7 ミスト噴霧が施設内の温度・湿度に及ぼす影響(試験2)

注) 9～16時の平均値。
ミスト噴霧条件: 温度23℃以上、湿度80%以下。

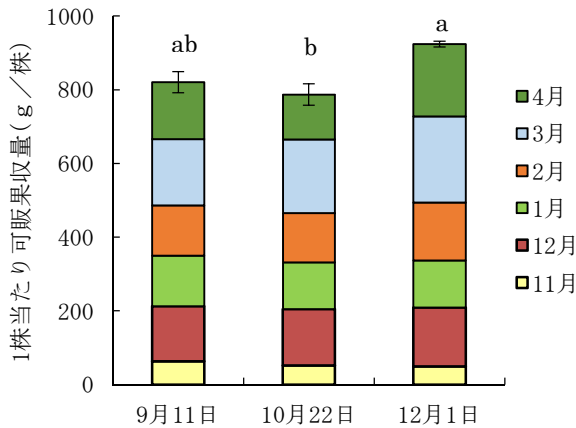


図8 ミスト噴霧開始時期が可販果収量に及ぼす影響 (試験2)

注) 垂直線は標準誤差 (n=3) を示す。
異なる英小文字間には、合計収量について Tukeyの多重検定により5%水準で有意差あり。

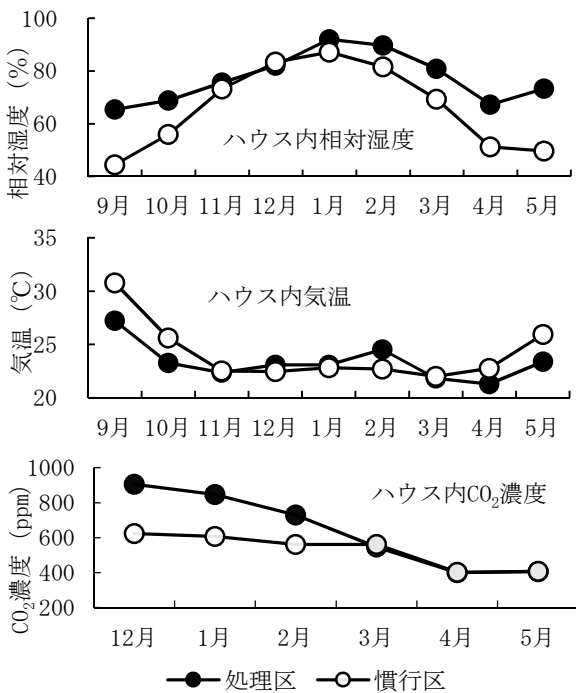


図10 ミストおよび高温管理によるCO₂長時間施用処理がハウス内温湿度およびCO₂濃度に及ぼす影響 (試験4)

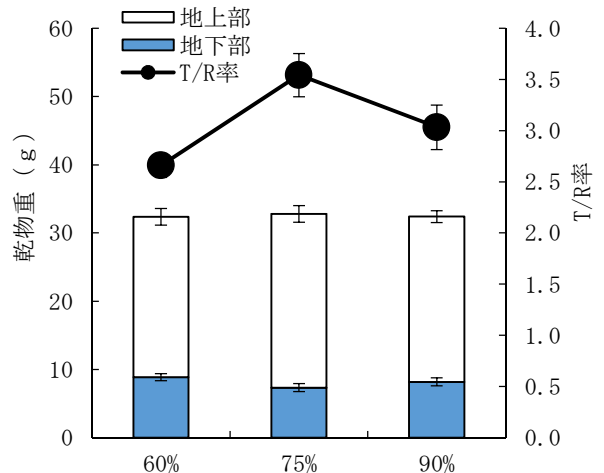


図9 相対湿度がイチゴ「章姫」の乾物重及びT/R率に及ぼす影響 (試験3)

注) 垂直線は標準誤差 (n=8) を示す。

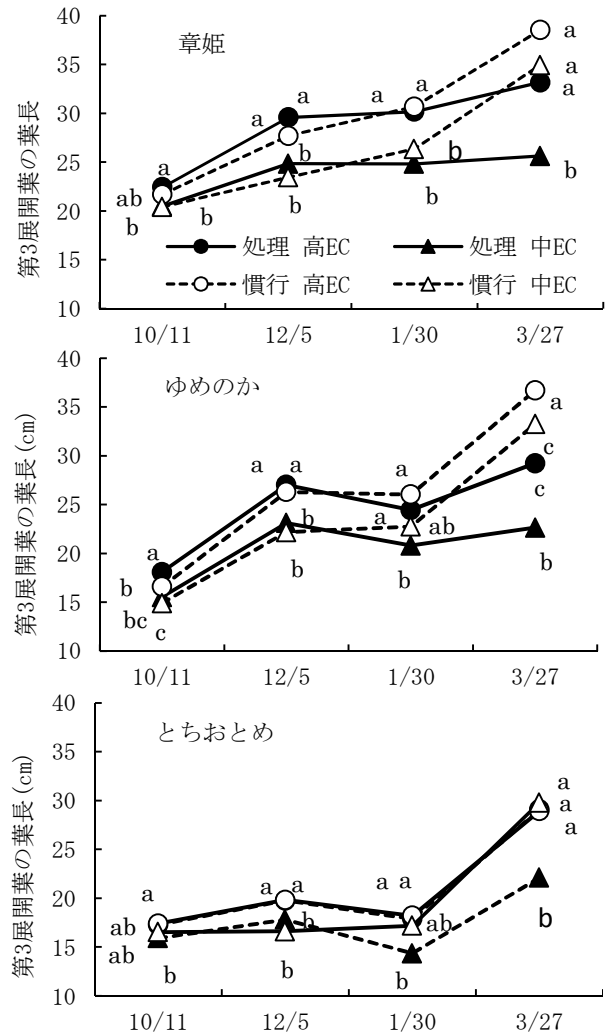


図11 ミストおよび高温管理によるCO₂長時間施用処理と培養液濃度が第3展開葉の葉長に及ぼす影響 (試験4)

注) 各調査日における異なる英小文字間にはTukeyの多重検定により5%水準で有意差あり。

表2 ミスト噴霧と高温管理によるCO₂長時間施用が可販果収量に及ぼす影響（試験4）

品種	試験区	高EC		中EC	
		2月まで (g/株)	5月まで (g/株)	2月まで (g/株)	5月まで (g/株)
章姫	処理区	652	1368	512	1036
	慣行区	597	1218	476	1152
	t検定	*	*	n. s.	*
ゆめのか	処理区	564	1206	374	666
	慣行区	435	1264	369	1001
	t検定	**	n. s.	n. s.	**
とちおとめ	処理区	398	922	296	618
	慣行区	400	900	371	887
	t検定	n. s.	n. s.	**	**

注) 処理区：換気温度=高+ミスト噴霧+CO₂長時間施用。慣行区：換気温度=通常+早朝のみCO₂施用。高EC：給液EC=0.65~1.15 dS/m、中EC：給液EC=0.45~0.95 dS/m。
n. s.：有意差なし。*：5%危険率で有意差あり。**：1%危険率で有意差あり。

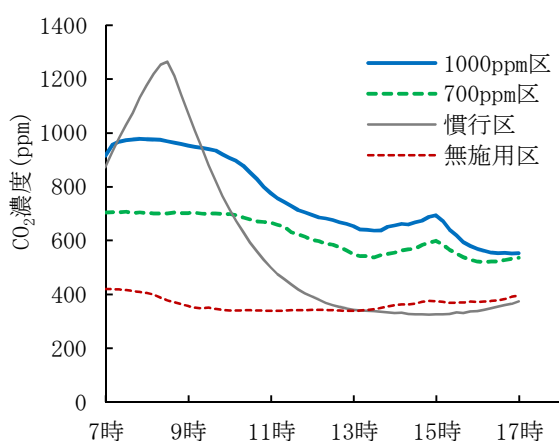


図12 CO₂施用法がハウス内平均CO₂濃度に及ぼす影響（試験5）

注) 2014年12月調査。

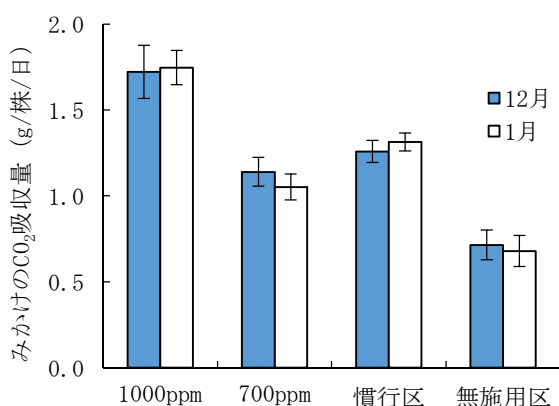


図14 CO₂施用がみかけの1株当たりCO₂吸収量に及ぼす影響（試験5）

注) 垂直線は標準誤差 (12月:n=11、1月:n=23) を示す。

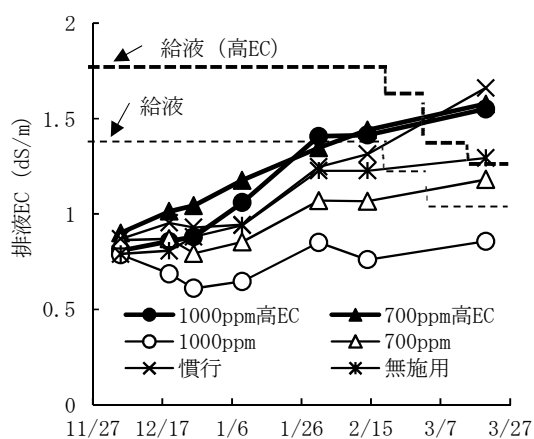


図13 CO₂施用法と培養液濃度が排水ECに及ぼす影響（試験5）

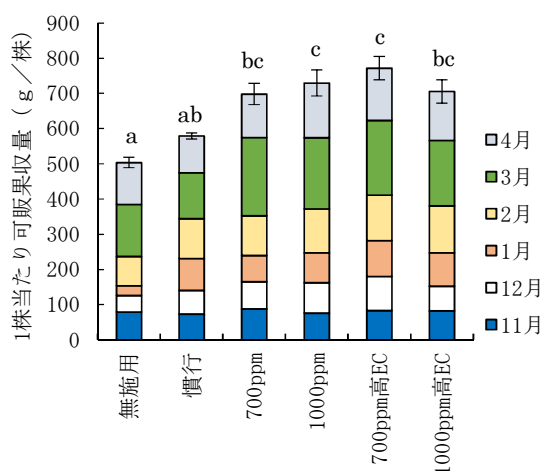


図15 CO₂施用法と培養液濃度が可販果収量に及ぼす影響（試験5）

注) 垂直線は標準誤差 (n=3) を示す。異なる英小文字間には、合計収量についてTukeyの多重検定により5%水準で有意差あり。

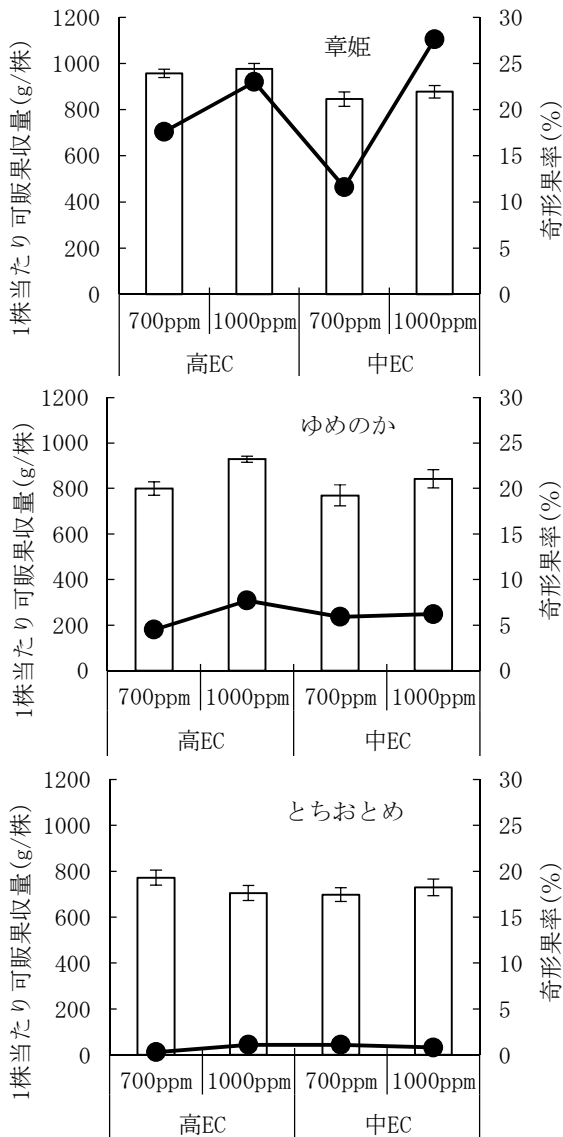


図16 CO₂濃度と培養液濃度が可販果収量及び奇形果率に及ぼす影響(試験6)

注) 垂直線は標準誤差 (n=3) を示す。
奇形果率は2015年3月調査で先青果と不授精果様の奇形果の割合。

考 察

ミスト噴霧が温湿度に与える影響について試験を行った結果、9月の晴天日にはミストがない場合、日中のハウス内気温29℃程度、ハウス内の相対湿度も40%以下となったのに対して、ミスト噴霧により、ハウス内はイチゴの生育に適した、気温25℃程度、相対湿度60~75%を維持できたため、効果が高いと思われた。厳寒期については、内張りの有無によって結果が異なり、2重被覆を行っていない試験1では、ミスト噴霧を行っていない場

合、ハウス内の相対湿度は50%まで低下した一方、2重被覆を行った試験4では、ミストを噴霧しなくてもハウス内の相対湿度は高く維持され、ミストはほとんど稼働しなかった。春期以降は、ハウスサイドが解放された条件下では、十分なミスト噴霧能力があれば、ハウス内気温の低下効果と加湿効果が見られた。

以上のことから、ミストの効果的な施用時期は、ハウスサイドを開放している秋期と春期であり、厳寒期にはハウス内が特に乾燥しやすい場合を除き、ミスト噴霧の効果は小さいと思われた。また、定植後の夏期高温対策としてミスト噴霧を開始した場合であっても、10月以降のミスト噴霧はハウス内気温の低下により生育遅延の恐れがあり、実施しない方が良くとされる⁸⁾。試験2において、10~11月にミスト噴霧した場合に後期収量が減少したことから、この時期のミスト噴霧は停止するか、ごく低湿度の時のみとした方が良くと思われた。

湿度が光合成速度に及ぼす影響について、個葉についての報告はあるものの^{11, 12)}、イチゴ個体に与える影響についての報告は少ない。そこで、光合成が影響すると思われる乾物重に及ぼす湿度の影響を検討した。その結果、相対湿度60~90%で葉面積や乾物重に差は見られなかったが、T/R率は75%区が最も大きく、90%区、60%区の順に小さくなったことから、相対湿度は地上部と地下部の発達に影響を及ぼす可能性があると思われた。このように、湿度がイチゴの植物体に及ぼす影響の一部が明らかとなったが、長期的な影響や時期別・生育ステージ別の最適湿度環境などについては、今後、さらに詳細に検討する必要があるものと思われた。

ミスト噴霧により施設内気温を低下させて換気を抑制し、CO₂施用時間を延長することが可能か検討した。試験1において、厳寒期の2013年1月29日には、ミスト噴霧によりハウス閉鎖時の施設内気温はやや低下したが、換気開始時間は30分ほどしか遅らせることができなかった。ミスト噴霧による気温低下は、ミストが気化する際に気化熱を奪うことによって引き起こされる。換気を行わない条件下のハウス内ではミスト噴霧により相対湿度が上昇し、目標とする相対湿度に達すると、ミスト噴霧が停止してしまうため、ミスト噴霧によりCO₂施用時間を大幅に延長することは困難であった。

そこで、加湿しながらCO₂流出を抑制する方法として、換気温度を高くするとともに、CO₂の濃度施用を組み合わせ、CO₂長時間施用を行った場合と、慣行の早朝のみCO₂施用を行った場合の施設内環境および生育・収量を培養液濃度変えて比較することを試みた。その結果、12~2月の7~16時のCO₂長時間施用区のハウス内平均CO₂濃度は慣行区より100~300 ppm高く維持できたにも関わらず、慣行の培養液濃度では1月以降の葉長が短くなり、2月までの1株当たり可販果収量は、慣行区と差が少なく、5月までの1株当たり可販果収量は3品種とも慣行区より10~30%少なかった。

高濃度の培養液を与えた場合、2月までの1株当たり可販果収量は慣行区より多いか差がなく、5月までの1株当たり可販果収量は慣行区と差がないか多かった。

稲角ら¹³⁾は香川式ピートバッグ栽培において、CO₂施用条件下で、通常より低濃度の培養液を「女峰」に施用した場合、草勢が明らかに劣る事例が見られたとし、CO₂施用下における培養液濃度について検討したが、大塚A処方の30~50%濃度を慣行とし、その0.8~1.2倍濃度の培養液で収量に有意な差は見られなかったとしている。しかしながら、高CO₂濃度条件下ではイチゴの生長が促進され、養分吸収量が増加するため、供給する培養液中の養分濃度を高くすることが望ましい³⁾としており、本試験5においても、CO₂無施用や慣行の早朝施用に比べ、700~1000 ppmの日中濃度施用をした場合、排液のECが低くなったことから、CO₂長時間施用時には、十分な肥効を確保する必要があるものと思われた。

なお、試験5において日中のCO₂濃度を700~1000 ppm (ただし換気設定温度付近では400 ppm) とするCO₂長時間施用と高めの培養液の給液により、「とちおとめ」ではCO₂無施用に対して39~45%、早朝のみの慣行施用に対して21~26%収量が増加したことから、日中のCO₂濃度施用は早朝のみの慣行施用より有効であると思われた。しかしながら、試験6において、1000 ppm区では、高EC、中ECとも「章姫」で先青果や奇形果が多く発生した。高CO₂施用により草勢が強くなったことが要因の一つと推察されるがはっきりとした原因は不明であった。そのため、CO₂施用にあたっては、日中700 ppm (換気温度付近では400 ppm) 程度の濃度施用を基本とし、着果負担や草勢に応じて施用濃度を調整することが必要である。着果負担と適正なCO₂施用濃度や高濃度CO₂施用時の奇形果の発生要因などについて、今後さらに検討していく必要がある。

引用文献

1. 織田弥三郎. イチゴに対するCO₂施用の理論とその実用化. 農及園. 50, 57-62(1975)
2. 川島信彦. 施設内におけるCO₂施肥に関する研究 (第3報) イチゴの生育に対する効果. 奈良農試研報. 22, 65-72(1991)
3. 伊谷慈博, 原圭美, ワサナ ナ ファン, 藤目幸擴, 吉田裕一. ピートバッグ培におけるイチゴの収量、果実品質と養水分吸収に及ぼすCO₂施用と栽植密度の影響. 生物環境調節. 37, 171-177(1999)
4. 吉田裕一, 花岡俊弘, 溝渕俊明. 香川型イチゴピート栽培システム“らくちん”の開発. 第6報. 排液ECと排液中養分濃度の関係に対する培養液組成とCO₂施用の影響. 園学雑. 68 (別1), 90(1999)
5. 竹内常雄, 塚本忠士. イチゴのロックウール養液栽培における摘果、培地加温および炭酸ガス施用が収量等に及ぼす影響. 静岡農試研報. 44, 61-71(1999)
6. 和田義春, 添野隆史, 稲葉幸雄. 促成、半促成栽培におけるイチゴ品種‘とちおとめ’の高CO₂濃度下の葉光合成速度促進に及ぼす光と温度の影響. 日作紀. 79(2), 192-197(2010)
7. Mortensen, L.M. Review: CO₂ enrichment in greenhouses. Crop responses. Scientia Hort. 33, 1-25(1987)
8. 愛知県農業総合試験場 企画普及部広域指導室・園芸研究部野菜研究室. ミストを使って生産性向上! トマト&イチゴ~夏期高温対策マニュアル~. 2013
9. Kuroyanagi, T., Yasuba, K., Higashide, T., Iwasaki, Y. and Takaichi, M. Efficiency of carbon dioxide enrichment in an unventilated greenhouse. Biosystems Engineering. 119, 58-68(2014)
10. 二村幹雄, 山口徳之, 池内 都, 和田朋幸, 大石一史. 夏期高温時の超微粒ミスト噴霧と夜間冷房がバラ切り花の収量・品質に及ぼす影響. 愛知農総試研報. 44, 53-59(2012)
11. 矢吹万寿, 宮川秀夫. 風速と光合成に関する研究 (第2報) 風速と光合成との関係. 農業気象. 26, 137-141(1970)
12. 鈴木真美, 松尾誠治, 梅田大樹, 岩崎泰永. CO₂施用時の高い相対湿度がキュウリの生育、光合成速度、窒素含量に及ぼす影響. 日本冷凍空調学会論文集. 31(3), 14-19(2014)
13. 稲角大地, 吉田裕一, 後藤丹十郎, 村上賢治. 培養液の施用濃度と摘果が高CO₂濃度条件下で育てたイチゴ‘女峰’の養分吸収と収量、果実品質に及ぼす影響. 園芸学研究. 12(3), 273-279(2013)