

北部九州地域でのイチゴの高設栽培における CO₂施用効果と品種に適した施用法

水上宏二*・平田祐子¹⁾・森山友幸¹⁾

北部九州の冬季多日照条件で、イチゴの高設栽培におけるCO₂の施用効果と効果的な施用方法を検討した。

「あまおう」(品種登録名「福岡S 6号」)の高設栽培では、11月20日～3月10日の期間中にCO₂を朝(6～10時)施用すると、無施用と比べて第一次腋果房以降の開花期が早まり、収穫果数が増加して2～3月の収量が40%、5月までの総収量が15%増加した。しかし、CO₂を夕方(15～18時)に追加して施用時間を長くしても、朝施用以上には増収しなかった。早生性および連続出蕾性が優れる「さがほのか」では、朝と夕方にCO₂を施用すると朝のみの施用よりも第一次腋果房以降の開花期がさらに早くなり、無施用と比べて2～3月の収量が46%、総収量が36%増加した。個葉の光合成速度は、光強度500～1,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ のとき、両品種ともCO₂濃度1,000ppmで頭打ちとなった。また、CO₂濃度1,000ppmと2,000ppmでは生育や時期別収量に差がなかった。これらのことから、増収のための効果的なCO₂施用法は、CO₂濃度1,000ppmを「あまおう」では朝に、「さがほのか」では朝と夕方に施用する方法であると考えられた。

[キーワード: イチゴ高設栽培, 「あまおう」, 「さがほのか」, CO₂, 生育促進, 増収]

Effective CO₂ Enrichment Regimes for Yield Increases in High-Bench Strawberry Culture in Northern Kyushu. MIZUKAMI Koji, YUKO HIRATA and TOMOYUKI MORIYAMA (Fukuoka Agricultural Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) Bull. Fukuoka Agric. Res. Cent. 30: 34-39 (2011)

We examined the effect of different CO₂ enrichment regimes on two high-bench culture strawberry varieties, Amaou and Sagahonoka, in the northern Kyushu area. There was no difference in growth and yield between treatments of 1,000 ppm and 2,000 ppm CO₂. When CO₂ was applied to Amaou from 06:00 to 10:00 between November 20 and March 10, compared with the control treatment, the flowering period occurred earlier after the secondary fruit cluster, the quantity of fruit increased, yield increased by 40% from February to March, and by May, total yield increased by 15%. The Sagahonoka variety had two treatment regimes, a single treatment from 06:00 to 10:00, and twice-daily treatment from 06:00 to 10:00 and 15:00 to 18:00. The second Sagahonoka treatment regime led to earlier flowering, a 46% yield increase from February to March, and a 36% total yield increase by May. Neither variety had an increase in photosynthetic rate of more than 1,000 ppm of CO₂ concentration in the optical power range 500-1,000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$. The effective CO₂ enrichments for a yield increase in Amaou and Sagahonoka were 1,000 ppm applied once daily, and 1,000 ppm applied twice daily, respectively.

[Key words: high-bench strawberry culture, Amaou variety, Sagahonoka variety, CO₂, growth promotion, yield increase]

緒 言

イチゴの高設栽培は、土耕栽培で問題となる前屈、中腰などの作業姿勢および作業環境が改善されるとともに作業の効率化が図られるため、規模拡大を促進し雇用型経営体を育成する技術として普及が期待されている(伏原 2004)。福岡県における高設栽培は、2007年現在、共販面積の12%に当たる46haで導入されているが、十分な収量と投資に見合った収益を確保できていない(北島 2005)。

高設栽培では、有機質資材を主体とした専用培土を用いるため、土耕栽培のように土づくりのために多量の堆きゅう肥を施用することがなく、土壌からのCO₂の供給が期待できない(Yoshidaら 1997)。このため、冬季の曇天日など換気されないハウス内では、植物体の光合成によるCO₂固定によりその濃度が低下しやすい。イチゴへのCO₂施用効果については、織田が1975年に「宝交早生」や「ダナー」で発表して以降、

「女峰」「とよのか」「とちおとめ」など多くの品種で報告されている(中川ら 1989, 松垣ら 1998, 重野ら 2001)。しかし、北部九州の主要品種「あまおう」や「さがほのか」へのCO₂施用効果については知見が得られていない。CO₂施用による増収効果は、冬季に換気を行うことが少ない寡日照地域における6～17時の終日施用で40%以上と高い(中川ら 1989, 川島 1991)。重野ら(2001)は、冬季に日照量が多く適時換気が必要な栃木県において、CO₂濃度を600～1,200ppmに制御した早朝施用で総収量が16%増加したが、その増収効果は寡日照地域における終日施用に比べれば低いものであったと報告している。本県を含めた九州の産地も全国的にみて冬季に日照量が多く、これら適時換気が必要な地域でのCO₂の終日施用は、施用効率や経済性の点で適する技術とはいえない。竹内・塚本(1999)は、冬季に日照量が多い静岡県における「章姫」のロックウールによる高設栽培で、換気を行っていない午前と午後の4時間程度、700～

*連絡責任者
(野菜栽培部: mizukami@farc.pref.fukuoka.jp)

1) 現 筑後分場

1,000ppmのCO₂施用で30%の増収を報告している。このようなCO₂の午前、午後 2回施用は、冬季に日照量が多い地域で実用的な施用方法であると考えられる。

そこで、本研究では、北部九州の冬季多日照条件下、イチゴ「あまおう」の高設栽培におけるCO₂の施用時間および濃度の違いが生育、収量に及ぼす影響について検討し、収量向上のための効果的な施用方法を明らかにした。また、比較品種として供試した「さがほのか」に対するCO₂施用効果についても、「あまおう」とは特徴的な違いが認められたので併せて報告する。

材料および方法

試験 1 CO₂施用時間がイチゴに及ぼす影響

2007年度に「あまおう」と「さがほのか」を供試し、5時30分からCO₂施用を開始して6～10時にCO₂濃度を2,000ppmに維持する朝施用区、日中のCO₂施用時間を長くしてその効果を高める目的で15～18時にも追加施用した朝＋夕施用区および無施用区を設けた。織田（1975）、川島（1991）は、寡日照条件下のイチゴにおける実用的なCO₂施用濃度を750～1,000ppmとしている。しかし、イチゴの光合成速度は、高光強度および高CO₂濃度条件であるほど顕著に増加し、光強度が高い場合、光合成適温は高温側に移動する（織田・田辺 1990、織田・鈴木 1991）。このため、試験区のCO₂施用濃度は、多日照条件下での光合成速度の増大を期待して高めの2,000ppmに設定した。CO₂施用は、灯油燃焼式光合成促進装置（CG-254S1、ネボン）を用い、CO₂コントローラ（CGC-102S1、ネボン）で設定濃度に制御した。なお、CO₂濃度は、CO₂コントローラにボルテージレコーダ（VR-71、T&D）を接続して5分間隔で記録した。CO₂の施用期間は、11月20日～翌年3月10日とした。灯油燃焼によるCO₂施用時の急激な温度上昇を抑えるため、光合成促進装置はハウス外に設置し、発生したCO₂をポリダクトでハウス内に引き込んだ。また、CO₂施用時間帯は換気を行わないように朝施用時は6～11時、夕方施用時は15～18時に自動換気装置の設定温度を28℃とし、その他の時間帯は23～25℃で管理した。なお、無施用区のハウスは、自動換気装置が1段サーモであったため、終日28℃で開き24℃で閉まる設定とした。試験規模は、1区10株3反復とした。

育苗は、50穴セルトレイ（黒色キビトレイ50、東罐興産）を用い、千鳥に配置して1トレイ25株で行った。6月10日に鉢上げし、7月3日にIB-S1号（N-P₂O₅-K₂O=10-10-10）の中粒をセル当たり1粒置肥した。9月25日に福岡県三潞郡大木町の福岡県農業総合試験場筑後分場内に設置した間口6m、奥行き20mのパイプハウス内の高設架台に定植した。高設架台は、ポリエチレン製割布（ベリーウェーブ、アグリス）を用いた30cm幅の栽培槽で高さが110cmの平段式とした。栽植様式は、株間15cmの2条外成りで、a当たり栽植本数は990株とした。培養土は、いちご専用培土1号（清新産業）を用い、株当たり培養土量は1.4Lとした。施肥は基肥を施用せず、10月12日から10cmピッチの点滴チューブ（ストリームライン、NETAFIM）でOK-F-1（N-P₂O₅-K₂O=15-8-17）の2,000～3,000倍液をかん水同時施肥し、株当

り総窒素施用量を2gとした。黒マルチ被覆は10月22日、ビニル被覆は10月27日に行った。電照は11月15日～2月25日に2～5時間の暗期中断で行い、温風暖房機の設定温度は9℃とした。なお、株管理は、下位の枯れ葉、黄化葉を適宜摘葉し、芽整理や摘果は行わなかった。

調査は、厳寒期の2月14日に新生第3葉の葉柄長、葉身長および葉幅長を計測した。開花期および収穫期は、各果房で頂果の開花株、収穫株が50%に達した日とした。収穫は、12月の収穫開始から5月31日まで週に2～3回行い、本県の出荷基準に従って6g以上で奇形果を除いたものを可販果収量とした。

試験 2 CO₂施用濃度がイチゴに及ぼす影響

2008年度に「あまおう」と「さがほのか」を供試し、CO₂施用濃度1,000ppm区と2,000ppm区を設けた。CO₂は11月20日～3月10日の期間に、6～10時が各設定濃度となるようにCO₂コントローラで制御して施用した。試験規模は、1区10株3反復とした。

育苗は、試験1と同様に行い、置肥は6月23日にIB-S1号の中粒をセル当たり1粒施用した。高設架台は、ポリエチレン製割布の栽培槽を上段に1槽、下段に2槽持つひな壇2段（福岡農総試 2010）とし、上段の一部に強化プラスチック製の栽培桶（GFT-17、矢崎化工）の平段式を設けた。普通期作型の定植日は「あまおう」が9月24日、「さがほのか」が9月16日とした。また、「あまおう」では8月28日～9月18日に暗黒低温処理して9月18日に定植する早期作型を追加して設けた。株間は、ひな壇2段が15cm、平段式が20cmで、それぞれのa当たり栽植本数は1,283株および743株とした。株当たり培養土量は、ひな壇2段の上段と平段式が1.4L、ひな壇2段の下段が2.8Lとした。施肥は、10月3日より試験1と同様にかん水同時施肥し、株当たり総窒素施用量を2gとした。その他の管理は、試験1と同様に行った。

調査は、試験1に準じて行った。さらに試験2では、光合成速度を測定した。光合成速度の測定は、2009年2月20日に光合成蒸散測定装置（LI-6400P、Li-Cor）を用い、1,000ppm区のひな壇2段における上下段それぞれの6株について、新生第4葉の個葉のCO₂吸収速度を調査した。測定条件は、光合成有効光量子束密度（PPFD、以下光強度と略す）を福岡県の冬季における曇天日のハウス内に相当する500 μ mol/m²/sおよび晴天日の1,000 μ mol/m²/sに設定し、葉温は28～29℃とした。

試験 3 現地圃場におけるCO₂施用によるハウス内CO₂濃度と経済性

2009年2月24～27日の4日間に、福岡県八女市のひな壇2段高設栽培（アグリス）でCO₂を早朝に1回施用している現地圃場（3連棟ハウス865m²）のハウス内CO₂濃度の実態を調査した。測定は5分間隔で行い、測定を行った4日間のうち、比較的天候が良好であった2月25日（曇り時々晴れ）の測定値を用いて、5分毎のCO₂濃度の増減値を算出した。この増減値より、10時までCO₂濃度1,000ppmを確保するためのタイマー設定をシミュレーションした。

現地圃場の光合成促進装置は、場内試験で使用したものと同機種（CG-254S1）で、稼働時間は 6時30分からの 1時間であった。また、換気は、ハウス天井の谷部のみの開閉で行い、自動換気の設定温度は26℃であった。なお、燃料費は灯油単価80円/Lで計算した。

結 果

1 CO₂施用によるハウス内CO₂濃度と温度の日変化

2008年における晴天日（12月19日）と曇天日（12月24日）のハウス内CO₂濃度および温度の日変化を第1図に示した。CO₂濃度は、5時30分から上昇し 6時30分には1,000ppm区が1,200ppm、2,000ppm区が2,200ppmの最高値に達した。その後CO₂は、晴天日には1,000ppm区が 2回、2,000ppm区が 3回、曇天日にはそれぞれ 1回および 2回追加施用され、10時まで概ね設定濃度を保った。10時以降のCO₂濃度は、晴天日は換気により午前中に外気並みまで急激に低下したが、曇天日は午後にかけて緩やかに低下した。16時以降は、夜間にかけて620ppm程度まで漸増した。また、ハウス内の気温は、2,000ppm区ではCO₂施用開始の 5時30分～ 6時の30分間に急激に上昇し、1,000ppm区に比べて最高で5℃前後高かった。日中の気温や地温は、1,000ppm区と2,000ppm区で顕著な差はみられなかった。

2 CO₂施用時間がイチゴに及ぼす影響

CO₂施用時間とイチゴの生育との関係を品種別に第1表に示した。2月の葉柄長は、「あまおう」「さがほのか」とともにCO₂を施用した区が無施用区より長く、朝施用区と朝+夕施用区間では有意な差がみられなかった。葉面積は、両品種ともCO₂施用区が無施用区より有意に大きかった。さらに、「さがほのか」では、朝+夕施用区が朝施用区より有意に大きかった。

CO₂施用時間とイチゴの品種別各果房の開花期、収穫期および収量の関係を第2表に示した。「あまお

第1表 CO₂施用時間とイチゴの品種別生育との関係¹⁾

CO ₂ 施用 ²⁾ 時間帯	あまおう ³⁾		さがほのか ³⁾	
	葉柄長 ⁴⁾ cm	葉面積 ⁴⁾ cm ²	葉柄長 cm	葉面積 cm ²
朝	19.7a ⁴⁾	82.7a	20.7a	103.2b
朝+夕	20.8a	88.8a	24.1a	131.2a
無施用	14.1b	53.6b	14.4b	79.8c

1) 2007 年度試験、平段式高設栽培。2008 年 2 月 14 日調査。

2) CO₂施用時間は、朝が 6～10時、朝+夕が 6～10時+15～18時。濃度は 2,000ppm で施用。

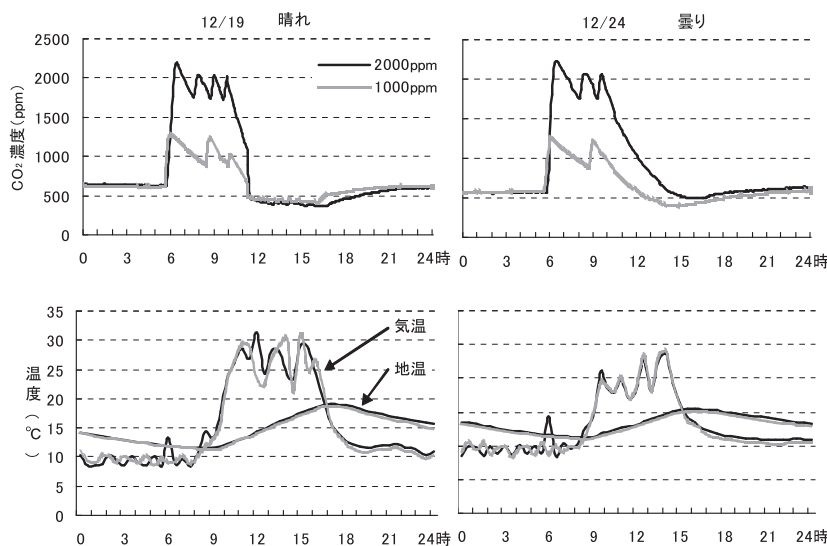
3) 新生第3葉を計測し、葉面積は葉身長×葉幅長とした。

4) 異文字間には 5%水準で有意差あり (Tukey)。

う」では、朝施用区と朝+夕施用区間で、開花期、収穫期および収量のいずれの項目にも有意な差が認められなかった。このため、より経済的な朝施用区を無施用区と比較すると、果房間出葉数は両区とも頂果房～第一次腋果房間が4.0枚、第一次～第二次腋果房間が3.0枚程度で有意な差がみられなかった。一方で第一次腋果房の開花期および収穫期は、朝施用区がそれぞれ12月25日、2月7日で、無施用区と比べて16日および14日間早かった。第二次腋果房の開花期は、朝施用区が2月17日で無施用区より11日間早かった。a当たり可販果収量は、朝施用区では2～3月が245kg、総収量が648kgで、それぞれ無施用区と比べて40%および15%増加した。また、朝施用区の株当たり収穫果数は33.9個で無施用区の28.9個より有意に多かったが、収穫期間を通しての平均果重は19.3gで両区間に差がなかった。

「さがほのか」では、「あまおう」と同様にCO₂施用区と無施用区間で果房間出葉数に有意な差が認められなかった。しかし、第一次腋果房の開花期は、CO₂施用区が無施用区より4～7日早い傾向にあった。また、第一次腋果房の収穫期と第二次腋果房の開花期は、朝施用区が無施用区よりそれぞれ15日および17日間早く、朝+夕施用区はさらに3日および7日間早かった。a当たり可販果収量は、2～5月の収量がCO₂施用時間が長いほど高くなる傾向

にあり、その効果により総収量は朝+夕施用区が761kg、朝施用区が666kgで、それぞれ無施用区より36%および19%増加した。また、収穫期間を通しての平均果重は、15.5～16.2gで試験区間に有意な差がみられなかったが、株当たり収穫果数は、CO₂施用時間が長いほど多い傾向にあった。すなわち、朝+夕施用区が48.7個、朝施用区が43.4個、無施用区が34.9個であった。



第1図 CO₂施用濃度とハウス内のCO₂濃度および温度の日変化（2008年度）

第2表 CO₂施用時間とイチゴの品種別各果房の開花期、収穫期および収量の関係¹⁾

品 種	CO ₂ 施用 ²⁾ 時間帯	頂果房 開花期 月/日	果房間 出葉数 枚	第一次腋果房		果房間 出葉数 枚	第二次腋果 房開花期 月/日	可販果収量				収穫 果数 個/株	平均 果重 g
				開花期 月/日	収穫期 月/日			12～1月	2～3月	4～5月	合 計		
あまおう	朝	11/18a ³⁾	3.8a	12/25a	2/ 7a	3.1a	2/17a	129a	245a	274a	648a	33.9a	19.3a
	朝＋夕	11/20a	3.8a	12/23a	2/ 5a	3.0a	2/15a	136a	248a	243a	627a	32.5a	19.5a
	無施用	11/18a	4.0a	1/10b	2/21b	3.0a	2/28b	123a	175b	252a	550b	28.9b	19.3a
さがほのか	朝	11/10a	3.7a	12/19ab	1/29b	2.8a	2/ 3b	161a	238b	267ab	666b	43.4b	15.5a
	朝＋夕	11/10a	3.5a	12/16a	1/26a	2.8a	1/27a	158a	302a	301a	761a	48.7a	15.8a
	無施用	11/12a	3.7a	12/23b	2/13c	2.8a	2/20c	134a	207b	220b	561c	34.9c	16.2a

1) 2007 年度試験，平段式高設栽培。

2) CO₂ 施用時間は，朝が 6～10 時，朝+夕が 6～10 時+15～18 時。濃度は 2,000ppm で施用。

3) 各品種の異文字間には，5%水準で有意差あり (Tukey)。

第3表 CO₂濃度と「あまおう」の生育，各果房の開花，収穫期および収量の関係¹⁾

CO ₂ 濃度	葉柄長 ²⁾	葉面積	頂果房 収穫期	果房間 出葉数	第一次腋果房		第二次腋果 房開花期	可販果収量			
					開花期	収穫期		12～1月	2～3月	4～5月	合計
ppm	cm	cm ²	月/日	枚	月/日	月/日	月/日	kg/a			
1000	22.8	100.7	12/15	3.6	12/16	1/30	2/12	175	235	212	622
2000	22.1	100.3	12/16	3.7	12/17	2/ 2	2/12	166	233	226	625
t 検定	ns ³⁾	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

1) 2008 年 9 月 24 日定植のひな壇 2 段高設栽培における普通促成栽培。

2) 葉柄長，葉面積は 2009 年 2 月 10 日調査。

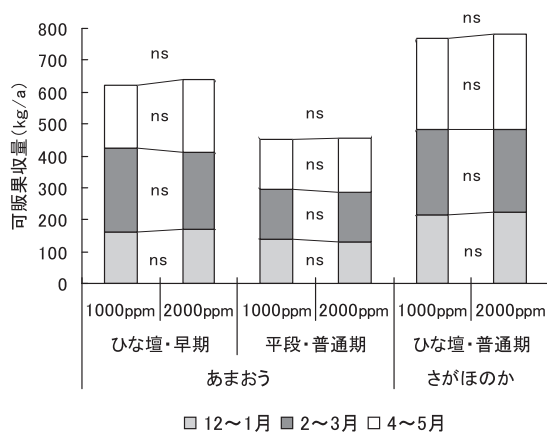
3) ns は 5%水準で有意差なし (t 検定)。

3 CO₂施用濃度がイチゴに及ぼす影響

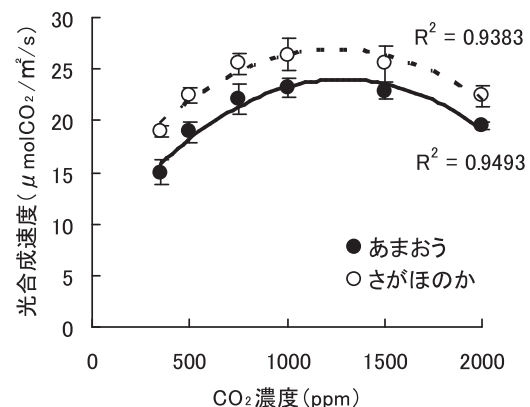
CO₂濃度と「あまおう」の生育，各果房の開花，収穫期および時期別収量の関係を第 3 表に示した。「あまおう」のひな壇 2 段における普通期作型では，1,000ppm区と2,000ppm区間で 2 月の葉柄長，葉面積，頂果房～第二次腋果房の開花期や各果房間出葉数，時期別収量および総収量に有意な差が認められなかった。次に，第 2 図に第 3 表とは高設システムや作型が異なる「あまおう」とひな壇 2 段で栽培した普通期作型の「さがほのか」における CO₂濃度と時期別収量を示した。1,000ppm区と2,000ppm区の時期別収量および総収量は，「あまおう」ではひな壇 2 段の早期作型，平段式の普通期作型においても両区間で有意な差が認められなかった。また，「さがほのか」においても，CO₂濃度1,000ppmと2,000ppmで収量に有意な差がみ

られなかった。

CO₂施用条件を光合成特性の面から検討するため，「あまおう」「さがほのか」両品種の CO₂濃度と光合成速度の関係を第 3 図に示した。光強度 500 μmol/m²/s における光合成速度は，両品種とも同様に CO₂濃度 350～1,000ppm の範囲では濃度が高いほど上昇したが，1,000ppm 以上では大幅な上昇がみられず頭打ちとなった。次に，「あまおう」の光-光合成曲線を第 4 図に示した。光強度 1,000 μmol/m²/s における「あまおう」の光合成速度は，500 μmol/m²/s 時と同様に 1,000ppm 以上では上昇がみられなかった。また，外気相当の 350ppm と 1,000ppm 間の光合成速度の較差は，500 μmol/m²/s 時の 2.9 μmolCO₂/m²/s から 1.7 倍の 4.9 μmolCO₂/m²/s に広がった。

第2図 イチゴの高設システムおよび作型別の CO₂濃度と時期別収量1) 2008 年度試験。CO₂ は 6～10 時に施用。

2) ns は 5%水準で有意差なし (t 検定)。

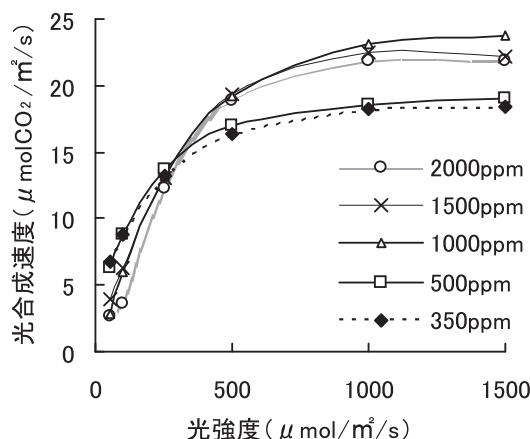
第3図 イチゴの品種別 CO₂—光合成曲線

1) 2009 年 2 月 20 日に光合成蒸散測定装置で測定。

2) 光強度は 500 μmol/m²/s。

3) 葉温は「あまおう」が 28℃、「さがほのか」が 29℃。

4) エラーバーは標準偏差。

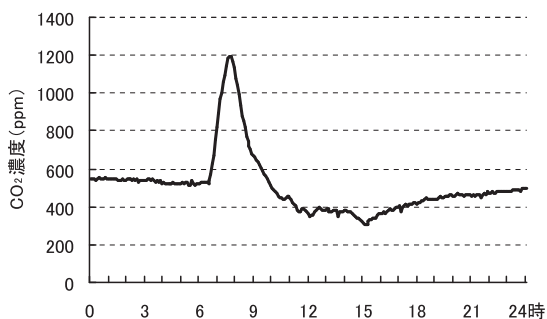


第4図 「あまおう」の光－光合成曲線

- 1) 2009年 2月 20日に光合成蒸散測定装置で測定。
- 2) 葉温は 28℃。

4 現地圃場におけるCO₂施用によるハウス内CO₂濃度と経済性

八女市の「あまおう」高設栽培圃場で測定したCO₂濃度の日変化を第5図に示した。ハウス内のCO₂濃度は、夜間の呼吸により早朝には530ppm程度になり、6時30分から1時間のCO₂施用で1,200ppmまで上昇した。その後、CO₂濃度はイチゴのCO₂取り込み等により急激に低下し、8時30分には820ppmになり、10時には500ppmを下回った。このデータを基に、6～10時にCO₂濃度1,000ppmを維持するためのCO₂施用をシミュレーションした。その結果、CO₂濃度は、6時から1時間15分および8時15分と9時15分からそれぞれ15分間の合計1時間45分光合成促進装置を稼働すると、1,000ppmを維持できると推定された（データ略）。CO₂施用にかかる10a当たり年間コストは、光合成促進装置の導入費が48,000円（機種CG-254S1、耐用年数5年）、燃料費が1日1.75時間、11月20日～3月10日の110日間の稼働で26,180円（灯油燃焼量1.7L/h、灯油単価80円/L）の合計74,180円と試算された。



第5図 イチゴ現地圃場におけるCO₂濃度の日変化

- 1) 福岡県八女市の現地圃場を2009年 2月 25日に測定。
- 2) 3連棟ハウス 865m²におけるひな壇 2段高設栽培。
- 3) CO₂施用時間は、6時30分から1時間。

考 察

試験地の筑後分場が位置する大木町は、福岡県南部地域にあり、冬季でも多日照な条件にある。このため、冬季の晴天日にはハウス内の温度が上昇し、11時頃から換気が始まった。6～10時のCO₂濃度は、各区の設定濃度±200ppmの範囲で制御された。10時以降のCO₂濃度は、天候に伴う換気に左右され、晴天日は午前中に外気と同等まで低下した。一方、換気がほとんど行われない曇天日のCO₂濃度は、10時以降イチゴの光合成によるCO₂固定により漸減したが、13～15時まで外気より高く推移した。ハウス内の気温は、CO₂施用開始に伴い5時30分から30分間に最大5℃の一時的な上昇がみられたが、地温には影響しなかった。このような条件の下、北部九州における主要品種「あまおう」と「さがほのか」の高設栽培でCO₂施用効果および施用法を検討した。

「あまおう」では、6～10時にCO₂を施用すると、無施用と比べて2～3月の収量が40%、総収量が15%増加した。また、「さがほのか」では、同一条件でCO₂を施用すると、無施用と比べて総収量が19%増加した。これら収量の増加は、平均果重の増加によるものではなく、収穫果数の増加によるものであった。

西沢・堀（1988, 1989）は、イチゴ果実の肥大期、着色期には、光合成産物の果房への分配率が47%および86%と非常に高くなることを報告している。このため着果過多の場合には、新葉や根への分配が減少し、それらの拡大、伸長が抑制され、その後の果実収量の減少や株のわい化にみられる「なり疲れ」現象が発生するとしている。一方、織田（1975）は、CO₂施用は光合成の促進による純同化率の増大と光合成器官である葉面積の増大の相乗的な効果として現れるとしている。本試験では、頂果房による着果負担と低温のために最も「なり疲れ」が発生しやすい時期にもかかわらず、CO₂施用により「あまおう」「さがほのか」両品種とも2月の葉柄長および葉面積の増大がみられた。また、第一次および第二次腋果房の開花期は、果房間出葉数の減少を伴わずに早進し、葉の展開速度が速くなったことを示した。これらの生育促進効果は、CO₂施用で光合成が促進されて同化量が増大し、果実の着果期にも関わらず光合成産物を新葉や根に十分供給できたことに起因すると推察された。さらに、CO₂施用による腋果房開花期の早進化は、同一収穫期間内における収穫果数の増加を促し、増収に結びついたと考えられた。織田（1975）、中川ら（1989）、川島（1991）は、寡日照地域におけるCO₂の終日施用で収穫果数の増加と平均果重の増大を報告している。しかし、本試験では、CO₂施用による平均果重の増大は認められなかった。西沢・堀（1988）は、1果房内の第一次、第三次枝梗花の間で、光合成産物の取り込みに競合が認められたと報告している。本試験では、CO₂施用が終日ではないことに加え、着果制限をしなかったことから、CO₂施用で増大した光合成産物が枝梗花間の競合により分散され、果実肥大への効果が小さくなったものと推測された。

朝＋夕施用によりCO₂施用時間を長くしたときの腋果房開花期の早進や増収効果は、「あまおう」で

はみられず「さがほのか」でのみ認められた。川島（1991）は、CO₂施用による増収効果が高い品種として「女峰」と「とよのか」を挙げ、その品種特性として連続出蕾性を有していることを指摘している。竹内・塚本（1999）も、早生性品種「章姫」を供試したCO₂の午前、午後 2回施用で30%の大幅な増収を報告している。つまり、早生性、連続出蕾性に優れた品種は、元々開花、収穫時期が早いことに加え、長時間のCO₂施用による生育促進および早進効果でさらに収穫時期が前進化し、同じ収穫期間内でもより多くの果房が収穫可能となり増収するものと考えられた。「さがほのか」は、「あまおう」より頂果房の収穫期が 6～10日早い早生性を示し（第2表）、果房間出葉数も少なく連続出蕾性に優れた品種であることから、CO₂の施用時間を延長した効果が現れやすかったものと推察された。

これらのことから、イチゴの高設栽培における増収のための効果的なCO₂施用法は、「あまおう」では朝施用、「さがほのか」では朝と夕方 の 2回施用であると考えられた。

「あまおう」の光合成速度は、福岡県における冬季の曇天日に相当する光強度500 μ mol/m²/sでは、CO₂濃度350～1,000ppmの範囲で濃度が高いほど上昇したが、1,000ppm以上では上昇がみられず頭打ちとなった。晴天日に相当する光強度1,000 μ mol/m²/sでは、500 μ mol/m²/sと比べて、外気相当のCO₂濃度350ppmと1,000ppmの光合成速度の較差が広がった。しかし、光合成速度は、500 μ mol/m²/sのときと同様にCO₂濃度1,000ppm以上で上昇がみられなかった。「さがほのか」においても500 μ mol/m²/s時の光合成速度は、「あまおう」と同様な傾向を示した。つまり、多日照条件による光量の増大と28℃換気による高温管理で、CO₂濃度の飽和点が上昇することを想定したが、両品種とも1,000ppmで飽和に達したことが示唆された。さらに、「あまおう」へのCO₂施用試験では、高設栽培システムや作型の違いに関係なく、CO₂濃度1,000ppmと2,000ppmで生育や収量に有意な差が認められなかった。「さがほのか」でもまた、1,000ppmと2,000ppmで収量に有意な差が認められなかった。これらのことから、「あまおう」と「さがほのか」の高設栽培におけるCO₂施用濃度は、1,000ppmが適当と考えられた。このことは、織田（1975）、川島（1991）が実用的なCO₂濃度として論じている750～1,000ppm水準と一致した。

現地の高設栽培圃場の調査から試算したCO₂施用による10a当たりの年間コストは、光合成促進装置の耐用年数を 5年、灯油代を80円/Lとした場合74,180円となった。「あまおう」の10a当たり平均収量は3,460 kg（2007～2009年度の平均）で、CO₂施用試験の増収効果でみられた15%分は519kgに相当する。「あまおう」の近年 3カ年（2007～2009年度）の平均単価1,133円/kgを勘案すると、売上額は約59万円の増益となり、CO₂施用による年間コストを差し引いても50万円以上の導入メリットが出る。このことから、イチゴの高設栽培においてCO₂施用は、収量向上を図る上でコストパフォーマンスが高い有用な技術であると考えられる。

引用文献

- 福岡県農業総合試験場（2010）イチゴひな壇2段高設栽培システムの仕様と栽培マニュアル.p.1～69.
- 伏原 肇（2004）イチゴの高設栽培.栽培のポイントと安定化の課題.農山漁村文化協会、東京、p.1～117.
- 川島信彦（1991）施設内におけるCO₂施用に関する研究.第 3報 イチゴの生育に対する効果.奈良農試研報22：65～72.
- 北島伸之（2005）イチゴの高設栽培における技術開発・普及状況.促成イチゴの品種・生産・流通の現状と問題点.九州沖縄農業試験研究推進会議野菜花き推進部会研究会地域農業確立研究検討会要旨：26～32.
- 松垣喜詞・徳丸健太郎・山田芳文・佐藤 如（1998）イチゴ‘とよのか’の促成栽培におけるCO₂施用技術.大分農技センター研報28：45～56.
- 中川 泉・吉岡 宏・河田 貢・西村仁一・村上晶子（1989）寡日照地域における施設野菜のCO₂施用に関する研究.第 2報 イチゴ‘女峰’の生育・収量に及ぼすCO₂施用の影響.園学雑58（別 2）：352～353.
- 西沢 隆・堀 裕（1988）イチゴにおける¹⁴C光合成産物の転流・分配に及ぼす花房の発育段階の影響.園学雑57：433～439.
- 西沢 隆・堀 裕（1989）イチゴの栄養生長期から休眠期にかけての光合成と光合成産物の転流・分配.園学雑57：633～641.
- 織田弥三郎（1975）イチゴに対するCO₂施用の理論とその実用化.農業および園芸50：1497～1502.
- 織田弥三郎・田辺久輝（1990）異なったCO₂濃度条件下におけるイチゴ品種‘女峰’の光合成特性.園学雑59（別1）：442～443.
- 織田弥三郎・柳 智博（1990）栽培イチゴにおける光合成速度の品種間差異について.近畿中国農研80：38～42.
- 織田弥三郎・鈴木 彰（1991）異なったCO₂濃度条件下におけるイチゴ品種‘とよのか’の光合成特性.園学雑60（別 2）：380～381.
- 重野 貴・栃木博美・大橋幸雄・稲葉幸雄（2001）促成栽培におけるイチゴ「とちおとめ」の生育及び収量に及ぼす電照、炭酸ガス施用及び地中加温の効果.栃木農試研報50：39～49.
- 竹内常雄・塚本忠士（1999）イチゴのロックウール養液栽培における摘果、培地加温及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.
- Yoshida Y, Morimoto Y, Yokoyama K（1997）Soil organic substances positively affect carbon dioxide environment in greenhouse and yield in strawberry. J. Japan. Soc. Hort.Sci. 65（4）：791～799.