

二酸化炭素 (CO₂) 施用時間がトマト促成長期栽培における 収量および無機成分含量に及ぼす影響

伊藤 緑¹⁾・加藤美雪²⁾・樋江井清隆¹⁾・中村嘉孝³⁾・大藪哲也¹⁾・番 喜宏¹⁾

摘要：9月定植、11～6月収穫のトマト促成長期栽培におけるCO₂施用時間が収量および無機成分含量に及ぼす影響について調査を行った。CO₂施用濃度を1000 ppmとして、施用時間を6～10時とした午前施用区、6～15時とした日中施用区および無施用区を設けた。

1 1株あたり可販果収量は、無施用区で8.7 kgであったのに対して、午前施用区で12.1 kg、日中施用区で12.3 kgと、CO₂施用により有意に増加した。日中施用区では午前施用区と比較して1～2月の可販果収量および可販果1果重が増加する傾向があり、厳冬期におけるトマトの増収に効果的であると考えられた。

2 葉柄汁液中硝酸イオン濃度および葉中のカリウム含有率は、他の2区に比べ日中施用区において著しく低下した。これは、CO₂施用により果実肥大が促進されたことで、窒素およびカリウムの要求量が増大したためと考えられた。

キーワード：トマト、促成長期栽培、CO₂、施用時間、収量、無機成分

緒 言

施設園芸品目では、日の出から午前中の換気が開始されるまでの数時間の間に CO₂ 施用が行われており、増収効果が報告されている¹⁾。近年では、長時間の CO₂ 施用によってさらに生産性を向上させるための高温管理や、ミスト噴霧による湿度条件の改善及び LED 補光といった環境制御技術を組み合わせた高度な生産技術の開発が行われている²⁻⁴⁾。

一方、CO₂ 施用下における植物の栄養状態について報告は少ない。植物体中や培養液中の無機成分含有率が異なることは報告されている^{5,6)}が、CO₂ 施用下の栽培に適した養液処方や施肥設計の改善には至っていない。生産性向上のためには、環境制御技術の開発のみでなく植物体の栄養状態を把握し、制御することが重要である。

そこで、本研究では、本県のトマト主要品種を用い、CO₂ 施用時間が促成長期栽培における収量および無機成分含量に及ぼす影響について調査し、若干の知見を得たので報告する。

材料及び方法

1 試験区の設定

試験は、場内の単棟丸屋根ビニルハウス(間口 5.4 m、奥行 10 m、軒高 2 m)3 棟を用い、1 棟ずつ 6～10 時に CO₂ 施用を行う区(午前施用区)、6～15 時に CO₂ 施用を行う区(日中施用区)および無施用区を設けた。CO₂ 施用には液化 CO₂ を用い、畝中央に地上高 1.2 m に配置した 20 cm 間隔で小孔を開けたチューブから吐出させた。施設内の CO₂ 濃度は CO₂ 制御盤(CO₂ 当盤、トヨタネ(株)、愛知)により制御し、施設内の気温が、強制換気の設定温度とした 27℃未満では 1000 ppm、強制換気が断続稼働する 27℃以上 30℃未満では 400 ppm でそれぞれ施用し、連続的に強制換気が行われる 30℃以上で施用を停止する設定とした。CO₂ 施用は 2013 年 11 月 28 日から 2014 年 3 月 31 日まで行った。施設内最低気温は温風加温機により 11℃に設定した。

2 耕種概要

供試品種として「りんか 409」((株)サカタのタネ)を用いた。播種は 2013 年 8 月 22 日に行い、10.5 cm ポリポットで育苗した。定植は 9 月 24 日に 1 ハウス当たり 2 列設置した隔離ベッド(全農スーパードレインベッド 55、全国農業協同組合連合会、東京)に株間 20 cm で 1 ベッドあたり 33 株行い、1 条振り分け誘引とした。収穫は 11 月 18 日から翌年の 6 月 27 日まで行った。なお、摘心は 2014 年 5 月 17 日に開花花房の上 2 葉を残して行った。施肥は灌水同時施肥方式で行い、園試処方

本研究は、共同研究「施設トマトの多収生産技術の開発」により実施した。

¹⁾園芸研究部 ²⁾園芸研究部(現豊田加茂農林水産事務所) ³⁾園芸研究部(現環境基盤研究部)

(2016. 10. 12受理)

準じた培養液で1株当たり窒素施用量を生育に応じて25~120 mg/日とした。試験期間内に1株当たりN:P₂O₅:K₂O=25.8:9.1:36.9 g 施用した。着果促進のため、各花房当たり3~5花開花時に4-CPA液剤(トマトトン、石原産業(株)、大阪)を100倍に希釈して噴霧し、各花房当たり最多で4果となるように摘果した。

3 調査項目および調査方法

施設内CO₂濃度はCO₂濃度測定機(おんどり TR71-Ui、(株)ティアンドデイ、長野)を各区の中央1.5 m 高に設置し2分間隔で測定した。収量は収穫果実を可販果と規格外果に分けて果数および果重を測定した。調査は隔離ベッドの端の株を除いて1区10株連続して選び、4反復で行った。葉柄汁液中硝酸イオン濃度の測定は、各反復で生育中庸な3株を選び、11月下旬から4月下旬までの間に6回、晴天日を選んでそれぞれ13~14時に果実肥大期(果径2~4 cm)の果房直下葉の先端10 cmを採取し、葉柄をにんにく絞り器で搾汁、希釈後、小型反射式光度計(RQflex10、メルク(株)、東京)で行った。無機成分分析には、2013年12月下旬および2014年3月上旬に当該時点での収穫果房直下から採取した葉を供試した。採取した葉を65℃で5日以上の上通風乾燥後、粉碎した。窒素濃度は全窒素炭素測定装置(JM1000、(株)ジェイ・サイエンス・ラボ、東京)で測定した。乾燥粉碎試料を乾式灰化後、リン濃度はバナドモリブデン酸法で分光光度計(UV-1800、(株)島津製作所、京都)を用いて測定し、カリウム、カルシウムおよびマグネシウム濃度は原子吸光分光光度計(Z-5310、日立計測機器サービス(株)、東京)を用いて測定した。

結果及び考察

1 各試験区におけるCO₂濃度

晴天日(2013年12月4日)および曇天日(12月22日)におけるCO₂濃度の推移を図1に示した。天候に関わらず、CO₂濃度は施用開始とともに午前施用区、日中施用区とも設定した1000 ppmまで増加した。午前施用区では施用を終了した10時以降は300 ppm程度で推移した。晴天日には気温の上昇に伴い、10時頃から換気が行われた。このため、日中施用区では、換気開始以降は400~600 ppmで推移する時間が長かった。無施用区では換気開始前までにCO₂濃度が200 ppm以下に低下し、換気開始以降は200~300 ppmで推移した。曇天日には換気が数回しか行われなかったため、日中施用区では6~15時までの間、CO₂濃度は設定した1000 ppmに近い値で維持された。曇天日の午前施用区および無施用区におけるCO₂濃度は晴天日と同様に推移した。

2 CO₂施用時間がトマトの収量に及ぼす影響

各試験区における1株当たりの収量を表1に示した。1株当たりの可販果数および可販果収量の合計はそれぞれ午前施用区で65個・12.1 kg、日中施用区で64個・

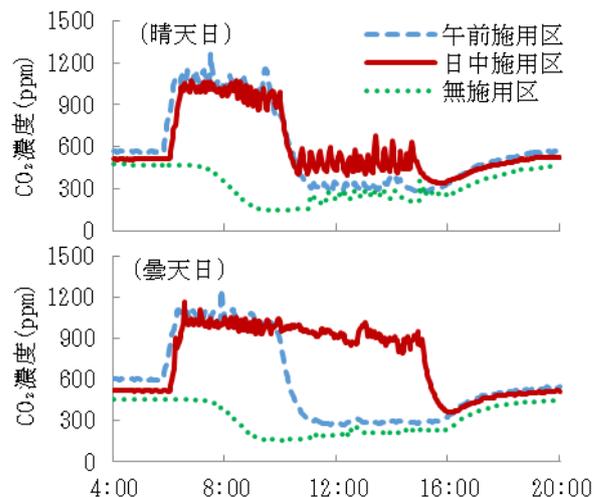


図1 試験ハウスにおける晴天日(上図、2013年12月4日)および曇天日(下図、12月22日)のCO₂濃度の推移

CO₂施用時間は午前施用区6~10時、日中施用区6~15時。換気扇による強制換気の温度設定27℃、CO₂施用濃度は27℃未満1000 ppm、27℃以上30℃未満400 ppm、30℃以上無施用。

12.3 kgと無施用区の51個・8.7 kgより有意に多かった。収穫時期別に可販果収量を比較すると、無施用区に対して、11~12月の可販果収量に差は認められなかったが、1~2月では午前施用区で1.9倍、日中施用区で2.2倍、3~4月では午前施用区で1.5倍、日中施用区で1.6倍と顕著な増収効果がみられた。5~6月については差は認められなかったが、可販果収量は無施用区に対して午前施用区で1.3倍、日中施用区で1.1倍と、11月~4月までの期間と異なり、午前施用区の方が日中施用区より増収効果が大きい傾向であった。また、1株当たりの規格外果数は午前施用区および日中施用区でそれぞれ10個、11個で、無施用区の20個に対し有意に少なく、これは、主に空洞果および小果の減少によるものであった。収穫時期別の可販果1果重を図2に示した。可販果1果重は、1~2月および3~4月の期間において、日中施用区で無施用区と比較し有意に増加した。11~12月および5~6月では各試験区間の可販果1果重に差は認められなかった。

このことから、CO₂施用による増収効果は規格外果の減少による可販果数の増加および1果重の増加が要因であり、これは既報^{1,7)}と同様の結果であった。

根岸・木野本⁸⁾は、高温(28℃)換気条件のトマト促成長期栽培において、CO₂施用濃度を換気時まで1000 ppmとする区および6~16時の間400 ppmを維持する区を設けて収量比較を行った結果、日中400 ppmを維持する区で収量が多かったと報告している。本試験においても、CO₂施用濃度は異なるものの、同様にCO₂の日中長時間施用は午前施用と比較して増収する傾向がみられたことから、日中長時間のCO₂施用は厳冬期におけるトマトの増収に効果が大きいと考えられた。

磯崎ら⁹⁾は、CO₂施用濃度を800 ppm一定に維持する

表1 CO₂施用時間がトマト促成長期栽培の収量に及ぼす影響

	可販果収量(kg/株)					可販果数 (個/株)	規格外果数 (個/株)
	11~12月	1~2月	3~4月	5~6月	合計		
午前施用区	1.8 a ¹⁾	2.5 a	3.8 a	4.0 a	12.1 a	65 a	10 b
日中施用区	1.9 a	2.9 a	3.9 a	3.5 a	12.3 a	64 a	11 b
無施用区	1.7 a	1.3 b	2.5 b	3.2 a	8.7 b	51 b	20 a

品種は「りんか409」。数値は1区10株4反復の平均値。各期間の可販果収量は四捨五入しているため合計収量と同じにならない場合がある。1) 同じ列の異なる英文字間に5%水準で有意差あり(Tukey法)。

区および施設密閉時 800 ppm、換気時 400 ppm に変更する区を設け、収量および経済性を比較する試験を行った結果、施用濃度を換気時に変更しても収量および等級に悪影響は見られず、経済性に優れたと報告している。本試験では施設密閉時(27℃未満)で 1000 ppm、換気時(27℃以上)で 400 ppm、30℃以上では無施用としたが、CO₂施用区の CO₂施用濃度は換気開始時に急激に低下したため、強制換気による CO₂の損失が多かったと考えられた。経済合理性や環境負荷低減を考慮した CO₂施用を行うには、換気温度を高め設定し、換気回数を減らす、換気温度付近では施用濃度を低下させる等の対策が必要である。

3 CO₂施用時間がトマトの葉柄汁液中硝酸イオン濃度および葉中無機成分含有率に及ぼす影響

(1) 葉柄汁液中硝酸イオン濃度の推移

葉柄汁液中硝酸イオン濃度の推移を図3に示した。CO₂施用開始前の11月下旬における葉柄汁液中硝酸イオン濃度は5300~6500 ppmで、各試験区間の差は小さかった。CO₂施用開始から3か月が経過した2月下旬では午前施用区が7700 ppm、日中施用区が4100 ppm、無施用区が9700 ppmと日中施用区で午前施用区および無施用区と比較して葉柄汁液中硝酸イオン濃度が有意に低かった。4月上旬には午前施用区が1800 ppm、日中施用区が1200 ppm、無施用区が4300 ppmと日中施用区および午前施用区で無施用区と比較して有意に低かった。5月上旬には各試験区間に明確な差は認められなかった。

トマトの汁液中硝酸イオン濃度を指標とした栄養診断基準は、各地域や作型で様々なものが考案されているが¹⁰⁻¹²⁾、促成長期作型のものは策定されていない。田中¹⁰⁾は、促成短期作型(6段収穫)において、第3果房開花~摘心期の葉柄汁液中硝酸イオン濃度の指標として3000~4000 ppmが適するとし、栄養診断基準値として定めた。促成長期作型においては開花~収穫が栽培期間を通して長期間継続的に行われており、同様の栽培時期に開花~収穫が行われる促成作型における第3果房開花~摘心期の栄養診断指標がある程度参考にできると考えられる。本試験では、CO₂施用によって、無施用区と比較して有意に葉柄汁液中硝酸イオン濃度が低下し、4月上旬には2000 ppm以下となり、前述の栄養診断基準値を下回った。さらに、CO₂施用時間で比較すると、日中施用区において午前施用区よりも早期に葉柄汁液中硝酸イオン濃度が低下した。無施用区においても4月上旬に急激な葉柄汁液中硝酸イオン濃度の低下がみられたが、栄養診断基準値

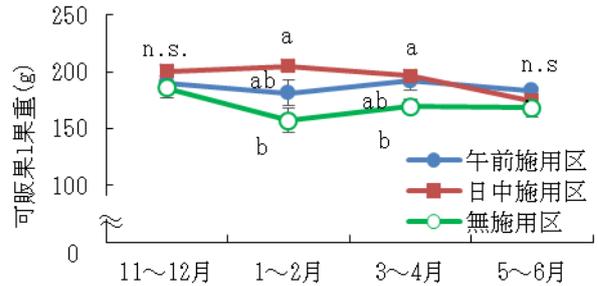


図2 CO₂施用時間がトマトの可販果1果重に及ぼす影響

品種は「りんか409」。数値は1区10株4反復の平均値。垂線は標準誤差(n=4)を表す。異なる英文字間に5%水準で有意差あり(Tukey法)。n. s. は有意差なし。

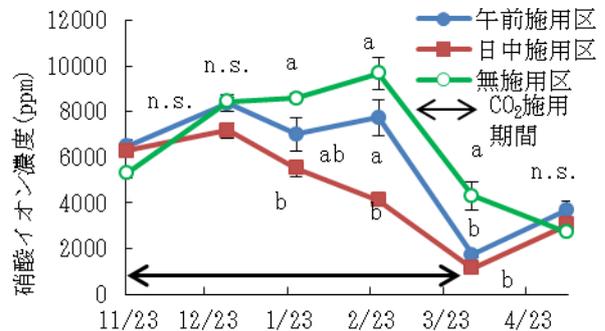


図3 CO₂施用時間がトマトの葉柄汁液中硝酸イオン濃度に及ぼす影響

品種は「りんか409」。数値は1区3株4反復の平均値。垂線は標準誤差(n=4)を表す。異なる英文字間に5%水準で有意差あり(Tukey法)。n. s. は有意差なし。

の範囲内に維持されていたことから、CO₂施用下のトマトにおける窒素要求量は無施用下と比較して増加することが明らかになった。

(2) CO₂施用時間がトマトの葉中無機成分含有率に及ぼす影響

トマト葉中の乾物当たり無機成分含有率を表2に示した。CO₂施用開始から1か月後の12月下旬に採取した葉では試験区間に明確な差はみられなかった。一方で、CO₂施用開始から3か月以上経過した3月上旬に採取した葉では、日中施用区で無施用区と比較してリンを除いた無機成分の含有率が低下する傾向がみられた。

表2 CO₂施用時間が促成長期栽培のトマト葉中の乾物当たり無機成分含有率に及ぼす影響

処理区	サンプル 採取時期	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
午前施用区	12月下旬	3.4	0.3	3.8	4.9	1.5
	3月上旬	3.5	0.4	3.5	5.7	1.3
日中施用区	12月下旬	3.5	0.3	3.6	4.7	1.3
	3月上旬	3.0	0.3	2.3	5.0	1.1
無施用区	12月下旬	3.6	0.3	3.8	4.4	1.3
	3月上旬	3.6	0.3	3.1	5.7	1.5

品種は「りんか409」。収穫果房下葉を供試。

葉中要素含量の欠乏・適量・過剰の判定基準¹³⁾によれば、トマト葉における各成分の適量域は窒素 2.5～3.5%、リン 0.2～0.4%、カリウム 4.0～5.0%、カルシウム 3.0～5.0%、マグネシウム 0.5～1.0%とされる。今回の試験結果を比較すると、葉中無機成分含量は窒素およびリンについては概ね適量域内であったが、カリウムは全ての試験区、採取時期において適量域を下回り、特に3月上旬採取の日中施用区での低下が著しかった。カルシウムは午前施用区および無施用区の3月上旬採取において適量域を上回り、マグネシウムは全ての試験区、採取時期において適量域を上回った。トマトの果実生産に必要な養分吸収量は窒素を100とした場合にリンは26、カリウムは180、カルシウムは74、マグネシウムは18必要である¹⁴⁾とされ、カリウムの必要量は窒素よりもはるかに多い。日中施用区における11～2月の収量は各試験区の中で最も多かったことから、3月上旬までに果実へのカリウム集積が多くなり、日中施用区の葉中のカリウム含量が低下したものと考えられた。

加藤ら⁴⁾はイチゴの高設栽培においてCO₂無施用や早朝施用に比べ、700～1000 ppmの日中施用をした場合、排液のECが低くなったことを報告し、CO₂長時間施用時には十分な肥効を確保する必要があると述べている。本試験では、無機成分含量、特にトマトの葉柄汁液中硝酸イオン濃度および葉中のカリウム含有率がCO₂の日中施用において著しく低下した。このことにより、春期以降の草勢が抑制され、5～6月の収量が無施用区と比較し、大きく増加しなかった可能性も考えられた。

これらのことから、トマト促成長期栽培におけるCO₂日中施用時の施肥設計には、果実の収量増加による窒素やカリウムの要求量の増加を考慮に入れることが重要であると考えられた。今後は、時期別の施肥の組成および施肥量についてさらに検討を進める必要がある。

引用文献

1. 加藤美雪, 番喜宏, 樋江井清隆, 大藪哲也. トマトの長期栽培におけるCO₂濃度及び施用位置の違いが収量に及ぼす影響. 園学研. 13(別1), 330(2014)
2. 津田千織, 奥村義秀, 平野哲司, 堀田真紀子, 岩崎

泰永, 山口徳之. バラ栽培における超微粒ミスト噴霧がCO₂施用に及ぼす影響. 愛知農総試研報, 47, 69-75(2015)

3. 岩崎泰永. 農業技術大系 野菜編 第2巻. 農文協. 東京. 基560の26-27追録39号(2014)
4. 加藤賢治, 小林克弘, 嶋本千晶, 中村嘉孝, 小島寛子, 大藪哲也, 番喜宏, 岩崎泰永. 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. 愛知農総試研報, 47, 51-60(2015)
5. 谷川孝弘, 小林泰生, 松井洋. CO₂施用と昼温がキクの生育, 開花および切り花形質に及ぼす影響. 生物環境調節. 35, 107-115(1997)
6. 伊谷慈博, 吉田裕一, 藤目幸廣. NFT栽培におけるイチゴの養分吸収に及ぼすCO₂施用の影響. 生物環境調節. 36, 145-150(2011)
7. 千葉県農林総合研究センター. 半促成トマトにおける早朝の二酸化炭素施用が上物収量へ及ぼす効果. 平成24年度試験研究成果普及情報(2012) <https://www.pref.chiba.lg.jp/ninaite/shikenkenkyuu/h24.html>. (2016.5.1参照)
8. 根岸直人, 木野本真沙江. 二酸化炭素施用と温度管理によるトマト高品質多収生産技術の確立. 栃木県農業試験場研究成果集. 30, 19-20(2002)
9. 磯崎真英, 太田雄也, 谷本恵美, 小西信幸, 増田実, 鈴木賢. トマト栽培におけるCO₂施用濃度の影響. 園学研. 13(別2), 211(2014)
10. 田中哲司. トマトの養液土耕栽培における葉柄汁液中硝酸イオン濃度を用いた生育診断指標の策定. 愛知農総試研報, 35, 73-78(2003)
11. 國田丙午, 宮地勝正, 伊藤純樹. 養液土耕栽培における夏秋トマトの窒素の栄養と土壌診断に基づいた養水管理方法. 広島県立農業技術センター研究報告, 76, 75-84(2004)
12. 伊藤裕朗, 河井弘康. 夏秋トマトの養液土耕, 長段栽培における生育ステージ別施肥・かん水管理指針の作成. 愛知農総試研報, 37, 73-79(2005)
13. 静岡県産産部農業振興室. 持続的農業を推進する静岡県土壌肥料ハンドブック. p. 298(2009)
14. 中野明正. 農業技術大系 野菜編 第2巻. 農文協. 東京. 基336追録39号(2014)