

<<資 料>>

長期多段どりトマト栽培における炭酸ガスの日射比例施用効果

川内亜紀*・小林昌永**

Effect of Carbon Dioxide Application in Proportion to Solar Radiation on Long-term, Multi-stage Tomato Cultivation

Aki KAWAUCHI, Masahisa KOBAYASHI

施設園芸において増収のための効率的な炭酸ガス施用方法として、栽培温室を外気と同程度の炭酸ガス濃度に維持する「ゼロ濃度差施用」が生産者の間で広まりつつある。一方、灌水については「日射比例施用」が、摘葉管理については日射量の増加に合わせて葉面積指数を上げていく管理が推奨されている。そこで、養液土耕によるトマトの長期多段どり栽培の実証研究を行っている「実証ラボ」(図1)において、ゼロ濃度差施用に加えて日射が多い時に外気より高い濃度となるよう炭酸ガスを施用する「日射比例施用」の検討を行った。本稿では2020年度から3か年で行った試験のうち最終年の2022年度の結果を中心に報告する。

材料および方法

実証ラボは、2017年、当センター久喜試験場内(久喜市六万部91)に、軒高4m、誘引高3.4mの高軒高温室として建設された。内部に加須市北川辺地区の水田転作トマト温室の土壌を30cm程度客土し、トマト長期多段どり栽培を行っている(1年目のみ促成栽培)。

2022年8月22日にトマト大玉品種の麗容(株サカタのタネ)を穂木、バックアタック(株サカタのタネ)を台木とした9cmポットの接ぎ木苗(本葉6枚程度)を条間1.8m、株間0.2mで定植し(2,778株/10a)、1条振分け(誘引幅0.6m、茎間0.4m)によるつる下ろし栽培を2023年7月10日まで行った。

定植前に土質改善を目的としてバーク堆肥(フトール1号、高崎化成(株))を1t/10a(窒素成分で8kg/10a)施用した。養液土耕栽培のため基肥の施用は行わず、灌水と同時に施肥を行った(養液土耕2号(14-8-25)、OATアグリオ(株))。施肥は栽培ベッド中央深さ20cmにECセンサー(Hydra ProbeII, Stevens社)を埋設し、土壌のEC値が概ね1.0~1.2mS/cmを示すように管理した。

灌水は日射比例とAIを組み合わせた灌水システム(ZeRo.agri, 株ルートレック・ネットワークス)によって、土壌水分センサー(ECセンサーに同じ)の測定値(体積含水率)を指標として行った。灌水の指標は灌水システムのメーカー推奨に準拠し、栽培開始前に48時間連続で灌水を行い、土壌水分を飽和状態とした後、灌水を停止、土壌水分センサー値が大きく変動しなくなった時の値を目安として、栽培状況に応じてpFメーター(DIK-8333, 大起理化工業(株))による測定値を参考にしながら調整した。

葉面積指数(LAI)は月1回の測定データをもとに、10月下旬まではLAI2.5~3.5、11月上旬から1月中旬は同2.0~2.5、1月下旬から3月上旬は同2.5~3.5、3月中旬から6月上旬は同3.5~4.5、以降は同2.5~3.5となるよう摘葉を実施した。果房当たりの着果数が5果以上の場合は4果になるよう摘果を行った。

炭酸ガスの施用には液化炭酸ガスを用い、トマト群落内中央130cm高に設置した多孔質チューブから施用し、環境制御用の炭酸ガスセンサーの吸入口が150cm高になるよう設置した。ゼロ濃度差区では第3果房開花後の10月から日中(8:00~16:00)の温室内炭酸ガス濃度が外気の炭酸ガス濃度(400ppm程度)を下回った場合に施

*次世代技術実証普及担当, **次世代技術実証普及担当(現大里農林振興センター)

用する設定とした（ゼロ濃度差施用）。日射比例区では、11月から4月の期間はゼロ濃度差施用を行いながら、日射比例施用分として日射が $0.5\text{kW}/\text{m}^2$ 以上になった場合に炭酸ガス濃度を外気よりやや高濃度（500 ppm 程度）に維持するよう炭酸ガス施用を行う設定とした（図 1 参照）。両区とも飽差 $6\text{g}/\text{m}^3$ 以上の条件で細霧処理を行った。

ハウス環境は統合環境制御装置（スーパーミニ EX, 三基計装㈱）によって管理した。週 1 回の生育調査を行い、草勢の指標として生長点から 15cm 下の茎径（短径）10~12mm を適正範囲として用いて個別に環境設定を行った。2022 年 12 月 21 日から 2023 年 2 月末までは側窓を閉め切り、天窓だけで換気を行った。

環境条件の他、各区 3 a に 20 株（5 株、4 反復）の調査株を設けて、収量（収穫日、個数、重量）、品質（外観、Brix）、生育（葉数、草丈、葉面積、茎径、開花位置（生長点からの距離）、開花日）を調査した。

結 果

1 炭酸ガス日射比例施用効果の実証

(1) 温室内炭酸ガス濃度

日射比例区では 11 月から 4 月までは日射量に比例して炭酸ガス施用を行う設定としたが、月別の日中平均炭酸ガス濃度では、12 月と 1 月がゼロ濃度差区と同程度の濃度となった（表 1）。

日射比例区における日射比例条件時の温室内環境をまとめたものが表 2 である。12 月および 1 月は $0.5\text{kW}/\text{m}^2$ 以上となった時間が短かったため、ほぼ日射比例施用分の施用が行われず、日射の多い時間も外気並みの炭酸ガス濃度となった。その他の期間は 500ppm には達しないものの外気より高い 480ppm 以上となった。設定した 500ppm に達しなかったのは日射量の増加に伴い温室内温度が高まり換気が行われていることが多いためと考えられた。

(2) 炭酸ガス施用量

2022 年 11 月から 2023 年 4 月の日射比例区の炭酸ガス施用量の合計はゼロ濃度差区に比べ 161%であった。

2021 年度（以下、年度は定植年度を示す）の試験では、11 月から 4 月の日射比例区の炭酸ガス施用量はゼロ濃度差区に対して各月で 1.5 倍程度に

収まっていた。そこで、2022 年度は日射比例分の施用を行う期間を 11 月から 4 月としたが、2023 年 4 月の日射比例区ではゼロ濃度差区に対し 3 倍近い量が施用された（表 3）。2023 年 4 月は 2022 年 4 月に比べ 2 割程度日射量が多いのに対し、温室内の温度は同程度であったことから、日射比例区の 4 月の炭酸ガス施用量が大幅に増えたのは換気が増えたことが原因と考えられた。

12 月と 1 月は日射比例分の施用はほぼ行われなかったことが施用量からも明らかだった。

(3) 収穫物への影響

総収量、可販収量、果重は日射比例区でやや優れた。糖度には差がなかった。（表 4）

日射比例区の果房重量は第 4 果房（開花期：10 月 7 日、収穫開始：12 月 12 日）から第 16 果房（開花期：3 月 3 日、収穫開始：4 月 20 日）では概ねゼロ濃度差区より優れたが、第 10 果房（開花期：12 月 12 日、収穫開始：2 月 13 日）では差がなかった（図 3）。第 10 果房は開花 2 週間前頃から収穫開始 2 週間前までの時期が日射比例分の施用がなかった時期と重なったためにゼロ濃度差区と同程度の重量だったと考えられた。この期間の果房の開花間隔は 10 日から 14 日程度であり、日射比例分の増収効果は開花前後から肥大期の幅広い期間に得られると考えられた。

日射比例区の可販収量は 1 月から 3 月までゼロ濃度差区に比べて 26%多くなった（図 4）。この期間の日射比例区はゼロ濃度差区に比べ小果が少なく、空洞果の程度が軽く、秀品率が高い傾向であった（データ省略）。

(4) 収益性

今回試験に用いたのはボンベ式の液化炭酸ガスであるが、一般的には灯油燃焼方式の施用装置が使われている。そこでゼロ濃度差区に対し日射比例区で増加した炭酸ガスの施用量について、施用温度を 20°C と仮定した場合の比重である $0.546\text{ kg}/\text{m}^3$ で重量換算し（表 5）、灯油燃焼方式の場合も含めて収益性を試算した。

炭酸ガス施用装置は導入済みとし、日射比例施用によって増加した販売収入やコストを用いた結果、液化炭酸ガスのボンベ利用の場合で約 28 万円/10 a、灯油燃焼方式の場合で約 36 万円/10 a の収益増が見込まれた（表 6）。

考 察

10月から炭酸ガスのゼロ濃度差施用を行い、11月から4月までは日射量 $0.5\text{kw}/\text{m}^2$ 以上の条件で炭酸ガス濃度を500ppm程度に維持するよう施用する日射比例区では、10月以降の期間中ゼロ濃度差施用を行う場合より総収量および可販収量が増加し、収益が増えることが確認された。

果房単位で見ると、日射比例施用の増収効果は3月初めに開花した果房までであった。温度が段階的に上がるように換気設定を行い、飽差 $6\text{g}/\text{m}^3$ 以上の条件で細霧処理を行っていたが、3月は換気時に乾燥した外気が入り飽差が大きくなりやすかった。草勢がゼロ濃度差区より強く推移した日射比例区では4月上旬過ぎまでゼロ濃度差区に比べやや高めの温度管理を行っていたことから飽差もやや大きく、気孔開度が下がり炭酸ガスが取り込みにくかった可能性がある。

換気開始後の炭酸ガス施用については利用効率を測定することは難しいため、日射比例分としてゼロ濃度差施用より多く施用された炭酸ガスが植物体に全量利用されたと仮定して得られる収量と、実際の増収分について比較を行った(図5)。11月から3月までの施用で5割程度の利用効率と推定された。

当県は冬の日射量が多いことから施設園芸が盛んとなった地域であり、午前の早い時間に換気が始まる。日射量に応じて炭酸ガスの施用量を増やすという設定が可能な統合環境制御機器は限られるが、天気の良い日は換気後も500ppm程度の炭酸ガス施用に取り組むことで、収量の少ない時期の収量が上がり、雇用や販売の安定につながると考える。

生産現場での炭酸ガス施用は濃度管理ではなく量的管理(時間制御)で行われる場合も多いが、いずれの場合も定期的に校正を行った炭酸ガスセンサーを用いて、炭酸ガス濃度がどの程度上がっているかを確認しながら行うことが重要である。

灯油燃烧式炭酸ガス施用装置では、温室内の温度が高まりやすいため、厳寒期以外の施用は冷却装置のついた機種を用いる必要がある。いずれの場合も3月中旬以降は特に飽差に注意して環境管

理を行い、換気が増えてきたら徐々に炭酸ガス施用量を減らしてゼロ濃度差施用に近づけていくのが効率的な施用方法と考えられる。

川内ら：長期多段どりトマト栽培における炭酸ガスの日射比例施用効果



図1 実証ラボ

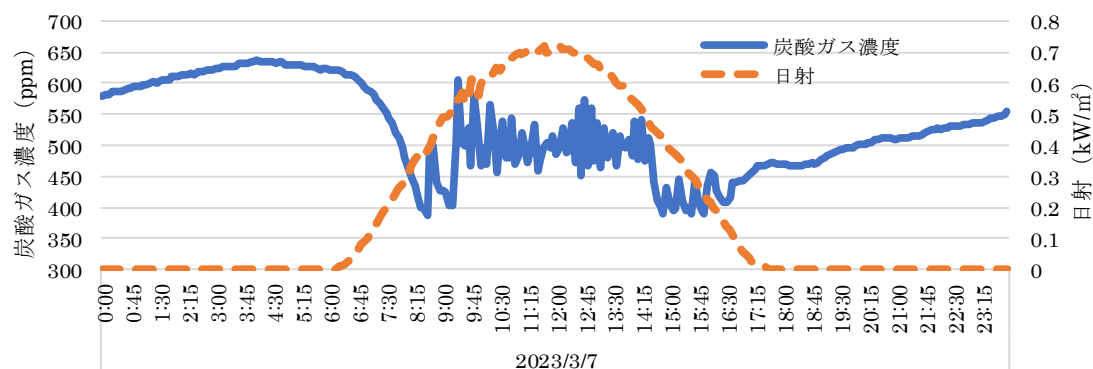


図2 日射比例区の施用例

(8:00～10:00 頃は急激な温度上昇による結露の防止、10:00～16:30 頃は昇温抑制のため短時間の換気を断続的に実施)

表1 温室内の日中平均炭酸ガス濃度の比較 (8～16 時の平均値)

単位：ppm

	8～10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5～7 月
ゼロ濃度差	420	431	421	424	421	410	408	409
日射比例	426	450	419	428	464	458	452	416
日射比例/ゼロ濃度差(%)	101	104	99	101	110	112	111	102

表2 日射比例施用時の温室内環境

日射比例施用条件時(日射 0.5kW/m ² 以上)							日射比例 施用実施 日数
時間		平均 日射	平均 CO2 濃度	平均 温度	平均 飽差		
単位	時間/月	kw/m ²	ppm	℃	g/m ³		日/月
年	月						
2022	11	44	0.54	488	26.2	6.9	21
2022	12	4	0.52	420	24.7	5.3	3
2023	1	30	0.53	422	26.5	7.4	0
2023	2	85	0.59	490	27.0	7.0	24
2023	3	100	0.66	496	24.6	6.6	26
2023	4	129	0.73	489	22.8	7.5	28

表3 炭酸ガス施用量の比較(11月～4月) 単位: m³/10a

	11月	12月	1月	2月	3月	4月	合計
ゼロ濃度差	99	89	126	144	142	111	711
日射比例	139	95	126	246	258	316	1,180
日射比例/ゼロ濃度差(%)	140	107	100	171	182	285	166

表4 収穫物の調査結果

	総収量 (t/10a換算)	可販収量 (t/10a換算)	可販 率 (%)	平均果重 (g/個)		個数 (×10 ⁴ 個/10a換算)		糖度 (Brix)
				全収穫果	可販果	全収穫果	可販果	
ゼロ濃度差	37.9	33.4	88	151	159	25.1	20.9	4.6
日射比例	39.1	35.6	91	160	171	24.5	20.8	4.6
日射比例/ゼロ濃度差 (%)	103	107		106	108	98	100	100

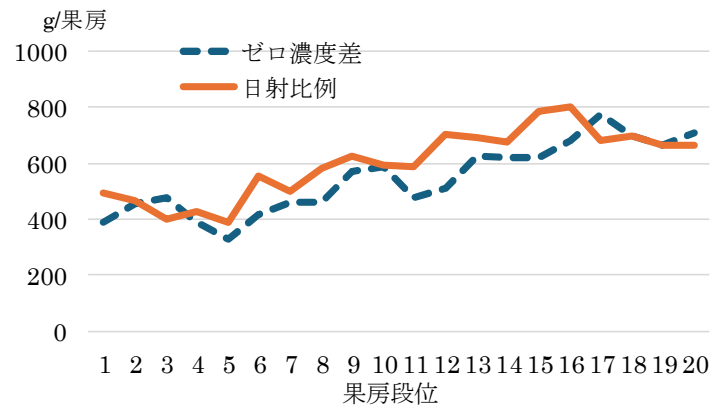


図3 段位別果房重量

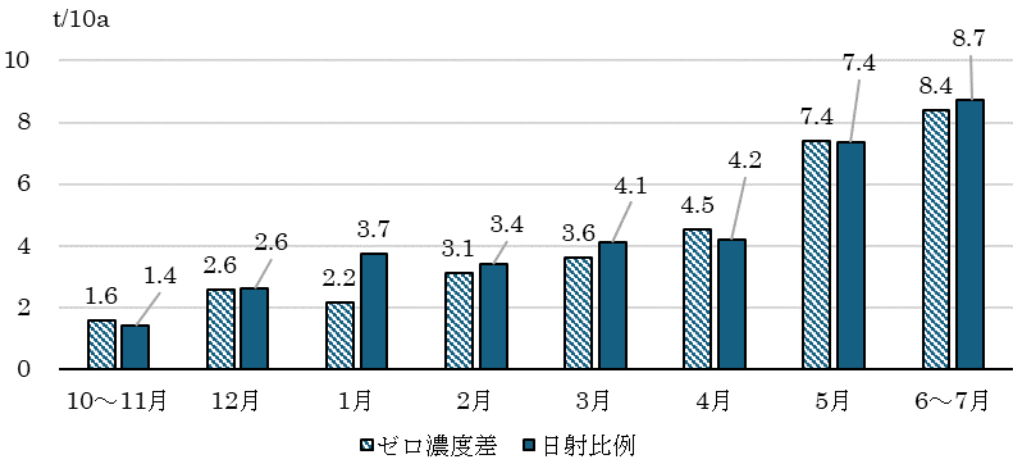


図4 月別可販収量の比較

川内ら：長期多段どりトマト栽培における炭酸ガスの日射比例施用効果

表 5 日射比例施用によって増加した炭酸ガス施用量 単位：kg/10 a

	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月
炭酸ガス日射比例分	73	11	0	187	212	375
(積算)	(73)	(84)	(84)	(271)	(483)	(858)

注) 20℃と仮定して換算：炭酸ガス 0.546 kg/m³

表 6 炭酸ガス日射比例の収益性試算（増加分のみで試算）

10 a 当たり

	増加収入		増加支出			差引 (収益)
	粗収入	販売費用	雇用労働費	肥料代	炭酸ガス施用費 858kg (表 5)	
灯油燃焼式 炭酸ガス施用装置	660,000 円 ・可販収量 増加分	198,000 円 ・選果場利用 ・粗収入の 3 割	22,000 円 ・収穫作業効率 60kg/時間 ・総収量増加分 1.2 t ・時給 1,100 円	26,700 円 ・窒素成分で 4.3 kg/10 a	47,362 円 ・炭酸ガス 2.5kg/灯油 1 ℓ ・灯油 138 円/ℓ	365,938 円
液化炭酸ガス (ボンベ) 利用 炭酸ガス施用装置	2.2t ・300 円/kg				132,132 円 ・液化炭酸ガス 154 円/kg	281,168 円

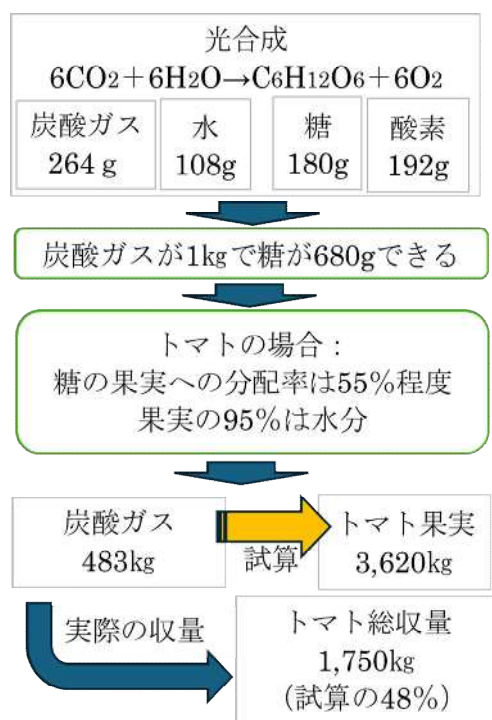


図 5 炭酸ガス日射比例分の利用効率イメージ

注) 炭酸ガスの量は 3 月までの積算値(表 5)

総収量 1,750 kg は 3 月までの増収分