

促成トマトの養液栽培における 環境制御と強草勢台木の利用



千葉県

千葉県農林水産技術会議

はじめに

近年、トマトやキュウリなどの果菜類で炭酸ガス施用技術が改めて見直され、炭酸ガス発生器を導入する生産者も増加している。しかし、長期栽培において炭酸ガス施用効果を高め、高収益を得るには、単に炭酸ガスを施用するだけでなく、乾物生産や好湿性病害の発生を考慮した温湿度の適切な調節、強草勢台木を利用した長期に渡る草勢維持管理など、栽培全般について見直す必要がある。

本資料は、県単プロジェクト研究事業「施設トマト栽培における新しい炭酸ガス施用技術を核とした革新的増収及び安定生産技術の開発（平成 29～令和 2 年度）」における研究成果を基に、促成トマト栽培における環境制御と強草勢台木の利用技術について、県内に多い 10～30a 程度の低軒高施設を用いた養液栽培を想定して、生産者や指導者向けのマニュアルとしてまとめたものである。

摘 要

- 1 炭酸ガス施用 11月～4月の日出～日没1、2時間前の時間帯に500ppmを基本に3kg/10a/hを低濃度長時間施用する。燃焼式発生器を利用する場合は、子ダクト配管により各株に炭酸ガスを施用する。 p. 1－2
- 2 温度管理 換気設定温度は25℃、暖房設定気温は15℃を基本とする。ただし、炭酸ガス施用時は日平均気温18℃を目標とし、それより低い場合は、換気設定温度を最高30℃まで上昇させて調整する。 p. 3－6
- 3 湿度管理 日中の湿度を飽差6g/m³、相対湿度80%を目安に細霧加湿する。加湿する場合は、夜間の除湿も併せて行う。萎れが発生しにくい品種は費用対効果の面から加湿は不要である。 p. 6－9
- 4 強草勢台木の利用 種間雑種の強草勢台木を利用すると、栽培後半の草勢が衰えにくくなり増収する。冬季は草勢が強くなり過ぎるので、摘葉や肥培管理等で調整する。 p. 9－11
- 5 増枝と摘葉 栽培後半の増収のためには、1月頃に3割の株の側枝1本を伸ばして増枝する。LAI（葉面積指数）の適正值は2月頃までは3程度、それ以降は3～4である。LAIがこれより高いときは摘葉する。 p. 11－12

1 炭酸ガス施用

(1) 炭酸ガス施用の意義

現在の大気中の炭酸ガス濃度は400ppm程度であるが、植物はこれよりも高い炭酸ガス濃度でも効率よく光合成を行える。この能力を活用して、トマトやキュウリなどの施設野菜では、施設内の炭酸ガス濃度を高める技術として、「炭酸ガス施用」が行われてきた。

図1は、冬季晴天日のトマトガラス温室内の炭酸ガス濃度の推移を示したグラフである。夜間は、施設が密閉され、作物や土壌微生物の呼吸、暖房機の排気ガス等によって外気より濃度が高くなっている。これに対して、日中は換気によ

り炭酸ガスが外気から導入されるが、この量よりも作物の光合成によって吸収される量が上回るため、施設内の濃度は外気よりも低くなる。

土壌に有機物が少ない圃場ほど、日中の施設内の炭酸ガス濃度は低下しやすい。このため、堆肥等が用いられない養液栽培では効果が高い。

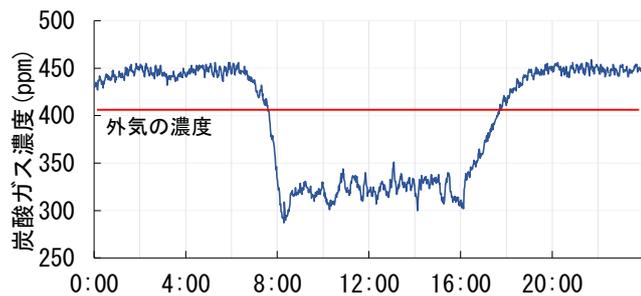


図1 促成トマトの養液栽培施設内における冬季晴天日(令和2年2月9日)の炭酸ガス濃度の日変化

(2) 低濃度長時間施用

従来の炭酸ガス施用は、施設の密閉されている早朝を中心に1,000ppm程度と比較的高い濃度を目標に行われてきた。しかし、近年は外気かそれより少し高い400~500ppmを目標に施用する低濃度長時間施用の方が効率的であることが明らかになっている。作物の栽培施設は密閉されているように見えても実際には隙間が多く、農ビカーテン1層を併設した密閉ガラス温室での換気回数(1時間当たりの換気量を施設内容積で割った指数)は0.8~1.0回/h、プラスチックハウスは0.5回/h程度の空気の交換がある。そのため、慣行の高濃度の施用では室外へ漏れ出す炭酸ガスが多く、施用効率が悪い。冬季は外気温が低いため、必要な換気量が少なく換気窓開度は0.2(全開時の20%)以内であることが多い。この程度の換気であれば、密閉の場合と換気回数の差は小さく、外気よりやや高い濃度であれば実用的な施用効率に収まり、収量も従来の高濃度施用より高くなることが期待できる。

(3) 具体的な施用方法

1) 施用時期

日中の炭酸ガスが不足しやすい時期は、外気温が低く、施設が密閉される時間が長い11月~4月である。側窓が開放され、天窓などが全開される5月以降は、施用を行わなくても、日中の炭酸ガス濃度が外気よりわずかに低い程度であり、施用しても炭酸ガス濃度が上がりにくい。収穫物の販売単価も安いいため、施用費用を上回る効果を得るのは難しい。

2) 施用量

トマトが十分に育った状態における、晴天日の施用量は3kg/10a/h程度である。曇雨天の施用

量は晴天日の1/3程度とする。

3) 施用濃度

500ppmを基本とするが、それに固執する必要はなく、換気窓の開度が大きいときは、設定濃度に達しなくても差し支えない。また、換気窓とカーテンがまだ開かない朝の時間帯は600～900ppmに設定してもよい。ただし、高濃度のまま換気が始まると、炭酸ガスが漏出するので、換気が始まる前に500ppmまで低下するよう施用するのが望ましい。

4) 施用時間帯

施用の開始時刻は日出頃からとする。夜間の炭酸ガス濃度が高いときは、開始時刻をこれよりも遅らせる。終了時刻は日没1～2時間前とする。

5) 制御方式

炭酸ガスの制御法には、濃度制御と時間（タイマー）制御があるが、どちらでも低濃度長時間施用は可能である。

濃度制御は、炭酸ガス濃度センサーを利用し、あらかじめ定めた濃度に制御する方法で、センサーを組み込んだ制御機が市販されている。炭酸ガス濃度センサーは、丁寧に校正しても50～100ppmの誤差があるものが多いので、低濃度施用の場合にはなるべく誤差の少ない機器を利用する。

時間制御は、以前から普及している手法であり、15分刻みで開始時刻と終了時刻を設定するプログラムタイマーを利用して行う方法である。燃焼式発生器を利用する場合は、機器のON-OFFのみで細かな施用量の調整ができないので、曇雨天時に施用量を減らすには、施用中に休止する時間を挟む必要がある。時間制御の場合も、施設内の炭酸ガス濃度を把握することが重要であるのは変わらない。数万円の簡易な炭酸ガス濃度計が市販されているので、これらを利用して、定期的に炭酸ガス濃度をチェックし、時刻等の設定を見直す。

6) 燃焼式発生器利用時の注意点

燃焼式発生器で作成した炭酸ガスは一般的に高温のため天窓などの換気窓が開いていると外部に逃げてしまう。効率的に施用するには、各株の近くに炭酸ガスを放出する必要がある。発生器の吹き出し口正面にダクトファンを設置して発生ガスをポリダクトで送り、各畝に配管した穴開き子ダクトを通して施用する（写真1）。

7) 施用に伴う燃料代

上記の条件で炭酸ガス施用を行うと年間約3.3t/10aの施用量となる。灯油燃焼式発生器であれば約1.3kLの灯油が必要であり、灯油価格88円/Lとして12万円の燃料代となる。

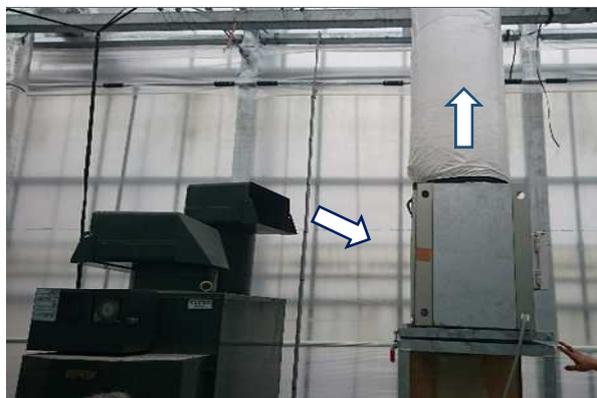


写真1 炭酸ガス発生器(左)とダクトファン(右)

2 温度管理

(1) 温度管理の基本

1) トマトの生育と温度

トマトの生育適温は13～25℃程度であり、なるべくこの範囲に収まるよう室温を調整し、冬季は日平均気温が18℃を下回らないことを目標に管理する。トマトは気温が5℃以上あれば寒さで枯れることはないが、低い暖房設定温度で管理すると日平均気温が適温よりかなり低くなり、培地温も低下する(表1)。このような状況が長く続くと、同化産物の転流や根から

表1 暖房設定温度の違いが夜間の気温と培地温に及ぼす影響

暖房設定	日平均 気温(℃)	夜間平均 気温(℃)	夜間培地 温度(℃)
9℃	13.2	10.9	12.1
12℃	14.8	13.7	13.0
15℃	16.8	14.7	14.5

注) 令和2年1月の平均値、夜間は17時15分～6時30分

の吸水に悪影響が生じて生育が遅れ、収量が低下する。また、トマトの光合成の適温は20～25℃であるが、冬季は昼の時間が短いため、高めの25℃で昼温管理しても夜温をかなり高くしないと、日平均気温が18℃を下回る。このため、冬季の昼は適温より高い温度(最高30℃)で管理した方が燃油の節約につながり経済的に有利である。このように、生産性を高めるためには、昼と夜の個別の管理温度を考えるだけでなく、日平均気温も意識して温度管理を行う必要がある。

なお、気温を高く管理するほど、色素成分であるリコペンの生成が促進され、果実の着色と成熟が早まり、一時的に収量は増加する。しかし、気温を高くしすぎると着果数の減少、裂果等による上物率の低下、糖度の低下等が生じるため、室内気温が30℃を越える時期は従来通り側窓を大きく広げるとともに遮光も併用して、気温を低く管理する。

2) 暖房

暖房設定温度は、従来、炭酸ガスの無施用施設では9℃程度、施用施設でも12℃程度であることが多かったが、厳寒期にこの設定温度で管理すると、日平均気温は18℃に達しないので、暖房設定温度は15℃を基本とする。

現状のトマトの栽培施設では熱出力7.5万kcal/10a程度の暖房機が設置され、概ね外気温+15～18℃の暖房能力であることが多い。そのため、外気温が0℃以下に冷え込む日には能力不足により実気温が設定温度の15℃を下回ってしまうことがある。この対策としては、設定温度を少し上げ、夕方の早い時間から加温を始めるとともに早朝の気温も高める、もしくは燃焼式炭酸ガス発生器を補助暖房として活用し、日平均気温の低下を防ぐ。これらの対策を行っても改善できない場合は、暖房機の交換や増設により10万kcal/10a程度の熱出力に上げる。

逆に、11月頃や4月頃の外気温が比較的高い夜は、暖房機を稼働する度に設定気温を大きく超えて施設内気温が一時的に上昇する(オーバーシュート)ことがある。この場合は、カーテンを開放し、換気窓を少し開けるなど除湿対策をした上、15℃よりやや低い設定温度で加温する。

3) 換気

基本的に天窗などの換気窓の設定温度は従来同様25℃でよいが、側窓が閉められている冬季のみは炭酸ガスの施用の有無で考え方が異なる。前述のとおり、炭酸ガスの無施用施設では、植物の光合成によって密閉時には施設内の炭酸ガス濃度が外気より大きく低下する。したがって、換気

設定温度を高くすると、炭酸ガス濃度がより低下するだけなので行ってはいけない。一方で、炭酸ガス施用施設では、換気窓の開度が小さくなり、施設外への炭酸ガスの流出が減って炭酸ガス濃度が上昇する（表2）。このため、効率よく光合成量を増加させることができる。前述のとおり冬季は昼温を高くした方が経営的に有利なこともあり、炭酸ガス施用時には30℃を上限として換気設定温度を上げた方がよい。

しかし、施設を密閉した状態が長く続くと軟弱徒長したり、好湿性病害が多発したりする問題が生じるので、除湿のための換気は必要である。除湿は気温が上がりにくい曇雨天日も必要であるので、1日に数回は換気窓がわずかに開くよう天気に応じて換気設定温度を調整する。また、外気温が低い季節には、換気窓の最大開度が大きいと、施設内気温が一時的に設定気温を大きく下回るアンダーシュートを起こしやすく、逆に外気温が高い季節には最大開度を大きくしないと換気不足に陥る。換気窓の最大開度は季節に合わせて調整する。

表2 換気設定温度の違いが日中の施設内環境に及ぼす影響

天窓設定	日中平均気温(℃)	炭酸ガス濃度(ppm)
25℃	19.8	438
30℃	23.8	537

注) 炭酸ガス施用は3kg/h/10a、気温、炭酸ガス濃度は令和2年1月の晴天日7時~16時30分の平均値

(2) 日平均気温18℃を目標とした温度管理の実証試験

令和元年度に農林総合研究センターの施設を用いて、炭酸ガス低濃度施用下において従来よりも高温とする管理による増収効果を確認する栽培試験を行った。表3のように、試験区は、換気と暖房の設定温度で低温区（炭酸ガス無施用施設における慣行温度管理）、夜間高温区（炭酸ガス施用施設における慣行温度管理）、高温区（日平均気温18℃を目標とした温度管理）の3種を設けた。側窓を閉め、加温が本格化する12月以降に日平均気温に差が生じ、低温区は13~14℃であったのに対し、夜間高温区は15℃前後、高温区は17~18℃と高くなった（図2）。日平均気温の最も高かった高温区では、生育が早く進んで最終的に低温区より収穫段数が3段多くなった（表4）。また、成熟日数が

表3 試験区の構成

試験区名	天窓設定温度	暖房設定温度
低温区	25℃	9℃
夜間高温区	25℃	12℃
高温区	30℃	15℃

注) 定植：令和元年8月28日、品種：「麗容」((株)サカタのタネ)、台木：「グリーンフォース」(タキイ種苗(株))、栽植密度：2,632株/10a、炭酸ガス施用：11月14日から3月24日の間、日出から日没2時間前まで3kg/h/10aで施用



図2 日平均気温の推移

注) 7日間移動平均

短くなったため、着果過多が緩和され規格外となる小果の発生が少なくなった(写真2)。このため、低温区に比べ総収量で約30%増収し、可販収量が30t/10a以上の多収となった。

この結果を基に、家族労力3名、栽培面積20aの前提条件で経営収支の試算を行った(表5)。日平均気温18℃を目標とした温度管理をすると光熱動力費や収穫のための雇用費、出荷経費が増加するが、これらの経費の増加を差し引いても、所得が増え、収益性を高めることができる。

表4 気温管理が収量に及ぼす影響

試験区	可販収量		規格外収量		総収量		可販果率(%)		可販1果重 (g)	収穫段数 (段)	総収量比 (%)
	(千個/10a)	(t/10a)	(千個/10a)	(t/10a)	(千個/10a)	(t/10a)	個数	重量			
低温区	139	19.1	120	9.6	259	28.7	53.6	66.5	138	23	100
夜間高温区	164	23.2	112	9.8	276	32.9	59.5	70.3	141	23	115
高温区	228	30.8	83	7.4	311	38.2	73.3	80.6	135	26	133

注) 収穫期間: 令和元年11月1日~2年7月31日、総収量比は低温区を100%とした相対値



低温区 夜間高温区 高温区

写真2 厳寒期の収穫物

注) 2月10~20日の15株分、上から正常果、空洞果、規格外

表5 栽培試験の結果に基づいた経営収支試算

試験区	可販収量 (t/10a)	粗収益 (a)	炭酸ガス施用、暖房及び収穫出荷に関する経費				差引 (a-b)	低温区との差	
			炭酸ガス 施用費	暖房燃料費	出荷経費	雇用費			計 (b)
低温区	19.1	6,036	193	373	1,840	437	2,843	3,193	-
夜間高温区	23.2	7,177	193	840	2,217	531	3,781	3,396	202
高温区	30.8	9,448	193	1,432	2,935	705	5,264	4,184	990

- 注1) 粗収益は月別可販収量と平成27年~令和元年の月別平均単価(政府統計 青果物卸売調査)から算出した
 2) 経費については、各試験区で共通となる種苗費、農業薬剤費、施設費等は除外した
 3) 炭酸ガス施用費は、施用器減価償却費72千円/10a/年(本体・ダクト等部品・施工費50万円、耐用年数7年)、修繕費を減価償却費の10%、灯油使用量1,296L/10a/年(実際の炭酸ガス施用量3,267kg/10a/年から換算)、灯油価格88円/L(資源エネルギー庁データ)から算出した
 4) 暖房燃料費は「温室暖房燃料消費試算ツール」(独)農業・食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所により、重油使用量を算出した。重油価格は平成27年~令和元年の農業物価統計調査の平均値79円/Lとした
 5) 出荷経費及び雇用費は「野菜経営収支試算表」(平成22年 千葉県、千葉県農林水産技術会議)に準じ、雇用労賃は時給1,000円として算出した

(3) より精密に温度管理をするためには

温度管理を行うには、気温の測定と記録が必要であるが、これらは施設内に設置された環境制御機器やデータロガーを用いて行う。温度センサーは施設中央の高さ1～1.5mに設置する。また、温度センサーは剥き出しのまま用いると、直射日光が当たって正確に測定できない。日除けを行っても、日除け自体が日射により暖まり熱が発生するので、この影響を取り除くにはファンによる通風も合わせて行う強制通風筒が必要である。市販の強制通風筒は比較的高価であるため、福岡らにより自作方法が紹介されている (<http://www.agrmet.jp/sk/2011/A-3.pdf>)。この方法によると、ホームセンター等で購入できる安価な建材等を用いて数時間で製作できる (写真3)。

また、施設内の気温は、暖房機や温風ダクトからの距離、施設の内側・外側といった場所によって違いが生じ、これにより冬季には生育にもムラが生じるのが普通である。生育が進む部分は高温であると判断して温風ダクトの口をしぼる、逆に生育が遅れる部分はダクトに穴を開けるなどの風量の調整し、温度ムラをなくす。さらに、光合成と蒸散を促進するには数10cm/秒の風が必要であるので、空気の流動を図る目的で、昼も暖房機の送風機能や循環扇を利用する。



写真3 自作強制通風筒

3 湿度管理

(1) 相対湿度、飽差、結露値とは

空気中の水蒸気は、気温によって含むことのできる最大量が決まっており、これをその気温における飽和水蒸気量と言う。相対湿度とは、飽和水蒸気量に対する実際の水蒸気量の比率を%で表したものであり (式1)、飽差とは、飽和水蒸気量から実際の水蒸気量を差し引いたものである (式2)。これらの関係は表6のとおりであり、気温が高いほど飽和水蒸気量は多くなる。また、同じ相対湿度であれば、気温が高いほど飽差は大きく、同じ飽差であれば気温が高いほど相対湿度が高くなる。

$$\text{相対湿度 (\%)} = \frac{\text{実際の水蒸気量}}{\text{飽和水蒸気量}} \times 100 \quad (\text{式1})$$

$$\text{飽差 (g/m}^3\text{)} = \text{飽和水蒸気量} - \text{実際の水蒸気量} \quad (\text{式2})$$

結露値とは、結露センサー付き複合環境制御装置「まもるん」(鈴木電子(株))のセンサー固有値で、0～1,000の値で示され、値が大きいほど結露しやすい状態であることを示す。トマトでは概ね結露値120で実際に葉に結露が生じる。一般的な湿度センサーは結露が生じると使用不可であり、相対湿度95%超の高湿度域での湿度制御に用いるのは不向きであるのに対し、結露センサーはそのような高湿度域でも安定的な測定が可能である。

(2) 湿度管理の基本的な考え方

植物は空気が乾燥していると、気孔を閉じて水分の喪失を防ごうとする。気孔は炭酸ガスの取入口でもあるため、日中の飽差はある程度小さく維持したほうが、気孔開度が大きくなって光合成にプラスに働く。また、強日射で乾燥しているときは、葉がしおれ、垂れ下がり丸まることで受光量が減る（写真4）。これらのことから、トマトでは日中の飽差は3～6 g/m³、相対湿度で言えば80%程度の管理が望ましいことが知られている。また、昼夜を問わず葉からの蒸散が多いと果実内への水分流入が抑制され小玉化してしまう。果実肥大の点からも、高湿度に管理することは望ましい。

しかし、植物体上に結露が生じるほどの高湿度は、裂果の増加や灰色かび病の好湿性病害の多発につながる。特に秋季から春季は夜間の外気温が低く、施設を密閉して高湿度となる時間が長くなるので注意を要する。対策としては、施設を密閉していてもカーテンを開け暖房機を稼働すれば、施設内外に気温差が生じ、外張りフィルム内側に結露が発生して、植物体に結露が発生しない程度には除湿することができる。降雨がないときはカーテンを開放し、天窗をわずかに開けることも除湿に有効である。灰色かび病の場合、連続結露時間を7時間以内に抑える（浦入ら、2017）管理を意識したい。

表6 気温と飽和水蒸気量の関係

気温 (°C)	飽和水蒸気量 (g/m ³)	相対湿度80%時の飽差 (g/m ³)	飽差6.0g/m ³ 時の相対湿度 (%)
10	9.4	1.9	36
15	12.8	2.6	53
20	17.2	3.4	65
25	23.0	4.6	74
30	30.3	6.1	80
35	39.6	7.9	85
40	51.1	10.2	88



写真4 主茎葉のしおれ

(3) 細霧加湿と結露値制御

上述のように、光合成促進と病害抑制との面で湿度管理は相反する。日中に加湿を行うと、空気中の水蒸気の絶対量が多くなり、夜間の相対湿度がより高くなるので、細霧加湿などを行う場合は、同時に夜間の除湿を図る必要がある。

細霧加湿装置を用いて噴霧量約0.8L/秒/10a、目標飽差6 g/m³で日中に加湿を行うと、無処理では月平均飽差が10 g/m³を超える4月以降の時期でも目標近くまで飽差を低下させることができる（表7）。このような管理をすると、細霧加湿中は通路や葉が湿るようになるが、結露センサー付き複合環境制御装置を用いて暖房機とカーテンの稼働を結露値80で制御し、夜間の除湿を行えば、結露値は無処理より低く維持することができ、好湿性病害の発生も抑えられる（表8）。

細霧加湿と結露値制御の併用により「桃太郎ネクスト」（タキイ種苗（株））では乾燥時の葉の萎れが軽減し、空洞果が減るとともに、2月以降の収量が大きく増加して、合計可収収量が28.3t/10aと無処理に比べ17.5%増加する。一方、「桃太郎ネクスト」と異なり萎れが発生しにくい「麗容」（（株）サカタのタネ）では、このような増収効果が認められない。湿度管理をすることで全ての品種が増収するのではなく、品種の特性などによって効果が大きく異なることは注意したい。

表7 トマト栽培ガラス温室における日中の飽差、夜間の湿度及び結露値（令和元年度）

試験区	日中(9~15時)平均飽差							夜間(21~3時)平均相対湿度						
	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月
細霧加湿+結露値制御	4.2	4.4	5.6	5.6	6.2	6.3	6.9	82	81	87	91	89	89	95
無処理	4.4	4.5	7.0	8.2	10.4	10.4	10.3	87	84	87	92	88	88	95

試験区	結露値 80 以上の時間(h/日)							
	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月
細霧加湿+結露値制御	8.8	2.7	1.0	3.6	4.6	4.9	7.1	10.0
無処理	11.5	6.9	2.5	5.7	7.6	5.2	7.2	10.4

注1) 細霧加湿装置（(株) いけうち製「セミドライフォグ®微霧冷房加湿システム CoolBIM®」及び(株) ニッポ一製「飽差+」）を使用し、噴霧量約0.8L/秒/10aで飽差が6g/m³を超えると噴霧30秒休止5秒の設定とした

2) 暖房機及びカーテンの結露値制御は鈴木電子（株）製結露センサー付き複合環境制御装置「まもるんサリー」を使用し、結露値80を超えると暖房15分送風10分、気温15℃以上でカーテン15cm開放の設定とした

表8 促成トマト養液栽培における細霧加湿及び結露値制御による収量、障害果及び好湿性病害の発生（令和元年度）

品種	試験区	総収量(可販) (t/10a)	空洞 果率(%)	尻腐果率(%)			灰色かび病 発病葉率(%)
				5月	6月	7月	
桃太郎ネクスト	細霧加湿+結露値制御	35.2(28.3)	10.2	0.4	4.9	5.5	0.19
	無処理	31.0(24.1)	22.3	2.9	6.5	6.9	0.75
麗容	細霧加湿+結露値制御	34.9(27.7)	20.5	0.7	2.5	3.3	0.08
	無処理	35.0(27.2)	15.7	2.3	4.4	3.8	0.19

注) 表1と同一温室。定植は令和元年8月29日、台木「TTM-079」(タキイ種苗(株))、収穫は令和元年11月5日~令和2年8月3日、灰色かび病は令和元年11月4日~2年5月18日の隔週15回調査の平均値

また、尻腐果は、日射が強くなる4月以降に多く見られるが、5月収穫果（被害時期は概ね4月）については細霧加湿と結露値制御の併用によって発生果率が大きく低下する（表8）。しかし、4月下旬に暖房機による加温を終了した後は結露値制御ができないため、発生果率が上昇し、無処理と差が小さくなる。

「桃太郎ネクスト」を用いて、細霧加湿及び結露値制御装置を導入する場合の経営収支の試算を行ったところ、所得は年間約39万円/10a増加し、投資利益率は19.4%となった（表9）。細霧加湿は、品種によっては効果が得られない、増収時期はもともと収量の多い春以降の時期である、高温期は加湿すると蒸し暑く作業環境が悪化するなど課題もあるので、導入の可否はそれぞれの経営の中で判断する。

灰色かび病の防除

長期どり栽培では、茎への灰色かび病の発生が栽培後半に多くなり問題となる。現地調査によれば、多発圃場は薬液量が少ない傾向がみられた。300L/10aの薬液を植物体に十分かかるように、予防剤を中心としたローテーション散布を行う。

また、秋季及び春季は、加温時間が短く湿度が上昇しやすい時期であるので、結露値制御などにより、湿度を下げる工夫も重要である。

表9 促成トマト栽培における細霧加湿及び結露値制御装置を導入する場合の経営試算（令和元年度）

	項目	金額（千円）
投資額	細霧冷房装置（軟水器含む）設置費用	1,800
	結露値制御装置（まもるんサリー）設置費用	180
粗収益（増加分）	Σ（月別可販収量増加分×月平均単価）	1,460
経費（増加分）	原価償却費（耐用年数7年、年率0.143）	283
	修繕費（原価償却費の20%）	57
	結露値制御により増加するA重油代（440L）	34
	収穫・出荷経費	701
	合計	1,075
所得（増加分）	（粗収益）－（経費）	385
投資利益率	（増加所得）／（投資額）×100	19.4%

注1）結露値制御により増加する重油使用量は、「温室暖房燃料消費試算ツール」（（独）農研機構野菜茶業研究所）により、結露値制御により日平均気温が上昇する11、4、5月のA重油使用量を算出した。また、A重油価格は、平成27年から令和元年までの農作物価統計調査の平均値から79円/Lとした

2）粗収益は、「桃太郎ネクスト」の飽差制御区で増加した月別可販収量に月別平均単価（東京中央卸売市場、千葉県実績）を乗じた（期間平均334円/kg）

3）収穫・出荷経費は野菜経営収支試算表（千葉県）の数値を農作物価統計により令和元年度値に換算して粗収益の48%とした

4 強草勢台木の利用

(1) トマト台木の種類

促成長期どり栽培では、8月の定植から翌年7月まで1年に渡る栽培となるため、栽培後半になると草勢が低下し、小玉果が多くなりやすい。養液栽培では根域が制限されているため、根詰まり等で根が老化しやすく特にその傾向が顕著となる。そのため、強草勢台木の中でも、草勢が特に強くなる種間雑種台木が利用されている。長期どり栽培でも土耕であれば、養液栽培ほど草勢が低下しにくいので、青枯病など土壌病害抵抗性が付与された栽培種台木の利用が向いている。

表10 トマトの台木の種類

	台木	特徴	主な品種
	従来台木	主に青枯病や根腐萎凋病など土壌病害に対する抵抗性をもつ。抑制栽培など比較的短い栽培期間の作型に向く。	Bバリア（タキイ）、アシスト（サカタ）
強草勢台木	栽培種（トマト種）	トマト種の台木。土壌病害抵抗性を持つとともに、栽培後半まで草勢が強く安定する。土耕の長期栽培向き。	グリーンフォース（タキイ）、キングバリア（タキイ）、バックアタック（サカタ）
	種間雑種	トマト近縁種との交雑種で、栽培種よりさらに草勢が強くなる。養液栽培に向く。	Maxifort（De Ruiter Seeds） TTM079（タキイ）、TTM150（タキイ）
	自根	接ぎ木をする必要がないため、育苗は簡単であるが、長期栽培での多収は難しい。	

注）「サカタ」は（株）サカタのタネ、「タキイ」はタキイ種苗（株）

(2) 強草勢台木の特徴

強草勢台木に接ぎ木して栽培すると、栄養生長が優先するようになる。そのため、果実の着色が遅く、収穫開始が遅れるものの、春以降の収量が顕著に増加し、最終的には多収になる。ロックウール栽培で行った試験では、栽培種「グリーンフォース」台は自根に比べ、可販収量が11%増加し、種間雑種「TTM079」台は29%増加した(図3)。

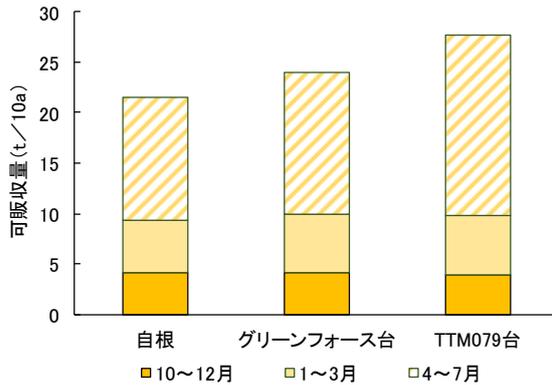


図3 異なる台木品種における可販収量

注) 品種:「麗容」、定植日:平成30年8月20日、ロックウール栽培

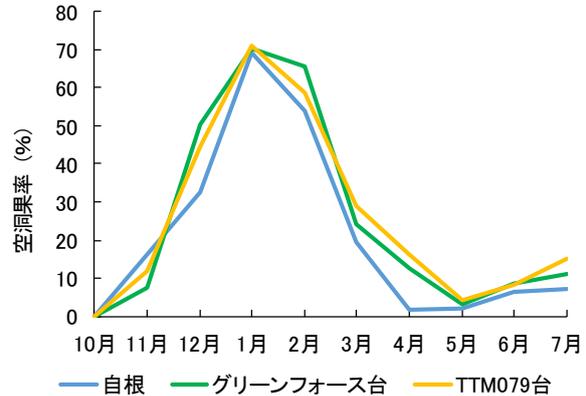


図4 異なる台木品種における空洞果率

注) 図3と同一栽培

一方、種間雑種の強草勢台木を利用することで、草勢が強くなりすぎ、空洞果の発生が多くなる、糖度が低下するなどといった欠点も生じる。空洞果は、冬季を中心に日射不足などにより十分な量の同化産物が得られないと、ゼリー部の発達が悪くなって発生する。図4は月別の空洞果の発生率を示しているが、日射が少ない1月をピークに空洞果が多くなるのはいずれの場合も変わらないが、自根より強草勢台で空洞果率が高まる傾向を示した。

また、この試験での栽培全期間の平均果実糖度(Brix)は、「グリーンフォース」台の値は自根と変わらない5.4°であったが、「TTM079」台では5.0°とやや低かった(図5)。

(3) 空洞果等の対策

種間雑種の強草勢台で生じる問題に対する対策としては、一般的な空洞果対策と同様であり、外張りフィルムの洗浄や汚れにくいフッ素系フィルムへの交換による光量の増加や炭酸ガス施用で同化産物を増やすとともに、光量の割に葉が多く、過繁茂となってしまう秋～冬に適度な摘葉により受光体勢を整えることが重要である

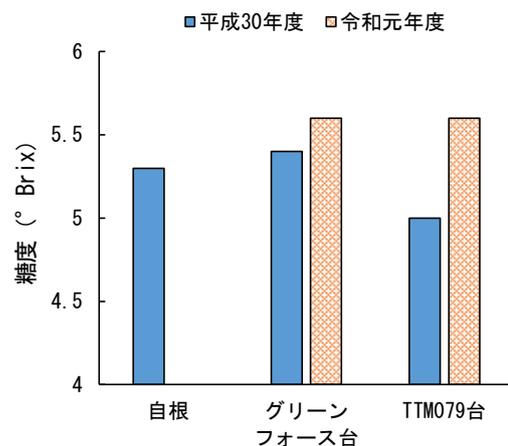


図5 異なる台木による平均果実糖度

注) 平成30年度は、図3と同一栽培で冬季にやや過繁茂であった管理、令和元年度は、早めの摘葉を行った管理、自根の栽培なし

(後述)。適度な摘葉により、糖度の改善も期待できる(図5)。さらに、培養液濃度の調整も空洞化対策として効果がある(図6)。この試験は図4の試験施設より明るい施設で行ったため、空洞果率が全体的に低くなっているが、培養液を一般的な濃度と比べるとやや低いEC0.8~1.4dS/mで管理することで、適度な草勢に調整され、これよりも低濃度や高濃度で管理した場合に比べ冬季の空洞果率をさらに低く抑えることができた。

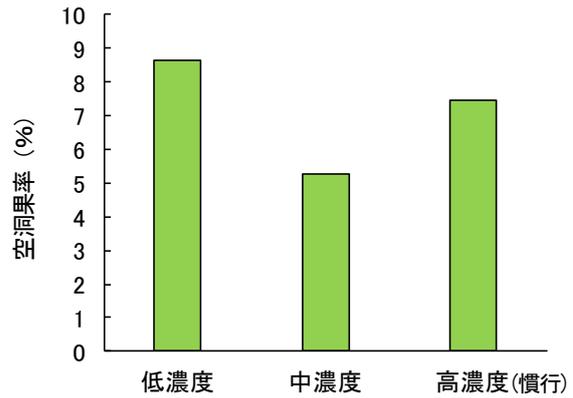


図6 異なる培養液濃度管理による冬季(第4~9果房)の空洞果率

注) 品種:「麗容」、台木:「TTM079」、定植日:令和元年8月29日、培養液はOAT-A処方を用い、定植から徐々に濃くし、低濃度:0.6→1.1、中濃度:0.8→1.4、高濃度:1.0→1.7dS/mとした

5 増枝と摘葉

(1) 冬季の増枝

日射量は季節によって異なり、1年の中で最少の12月と最多の5月とでは2倍以上の開きがある(図7)。日射量が多い季節ほど、最適な栽植密度や葉面積指数(単位土地面積当たり)に存在する葉面積の総和(m^2/m^2)、以降、LAI)は高くなるため、低日射量の時期に合わせた栽植密度で定植し栽培を開始すると、春以降は日射量の割に着果数が足りなくなり収量が増加しなくなってしまう。

これを回避するには、光が増え始める1月~2月に花房直下の脇芽を1枝伸ばして増枝を行うと良い。全ての株で増枝すると多すぎるので、栽植密度が2.5株/ m^2 程度であれば、3割程度の株で増枝し、3.3枝/ m^2 程度とする。

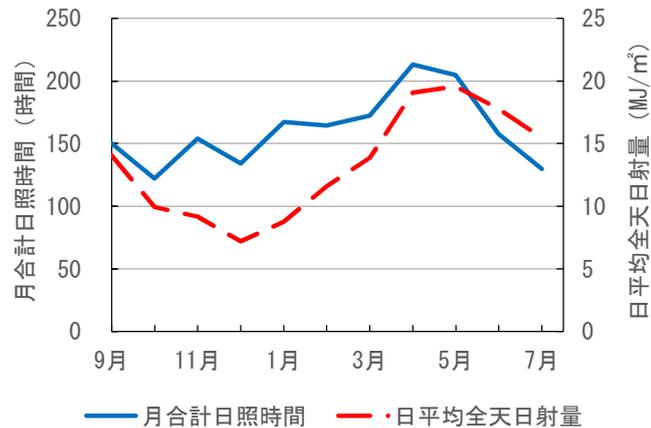


図7 月合計日照時間及び日平均全日照量

注) 観測地点は銚子地方気象台、平成30年~令和3年の3年平均

(2) LAIを基準とした摘葉と葉面積の簡易推定法

促成トマトのLAIの適正值は経験上2月頃までは3程度、それ以降は3~4であり、これよりLAIが高いと空洞果の発生が多くなる。下位節の黄化葉は不要であるので摘除してかまわないが、気温により果実の成熟日数が変わるため、収穫中の花房より上の葉枚数は、低温期には多く、高温期には少なくなるというように季節で変化する。また、肥培管理や温湿度管理により一枚の葉の大きさも変化する。そのため、収穫位置のみを基準にして一律に下位葉の摘除を続けるとLAIが変動してしまう。このため、摘葉作業はLAIを基準に残す葉枚数を決めて行う。

LAIは個葉の葉面積と栽植密度で計算できる(式3)ので、例えば栽植密度が2.5株/m²の場合、2月までは1株(1枝)の葉面積1.2m²が適値となる。上記の増枝を行えば、3月以降も1枝の葉面積の適値は概ね1.2m²となり、1枝の葉面積の適値は周年で変わらないということになる。さらに成葉の大きさを変化させずにうまく管理できれば、1枝に必要な葉枚数も常に同じになる。

$$\text{LAI} = 1 \text{ 株の個葉の葉面積の総和}(\text{m}^2) \times \text{栽植密度}(\text{株}/\text{m}^2) \quad (\text{式}3)$$

個葉の葉面積は葉長と葉幅から推定することが可能である(式4)。この式の係数は、品種によって葉の切れ込みの深さなどが異なると変わるので、それぞれの品種で決める必要がある。品種が同一であれば接ぎ木でも自根でも変わらない。「麗容」の場合、係数は0.26である。

$$\text{個葉の推定葉面積}(\text{m}^2) = \text{係数} \times \text{葉長}(\text{m}) \times \text{葉幅}(\text{m}) \quad (\text{式}4)$$

係数は、大きめの葉を10葉程度採取して、実際に葉長、葉幅及び葉面積を測定して、その合計から求める(式5、写真5)。

$$\text{係数} = \Sigma \text{個葉の葉面積} \div \Sigma (\text{葉長} \times \text{葉幅}) \quad (\text{式}5)$$

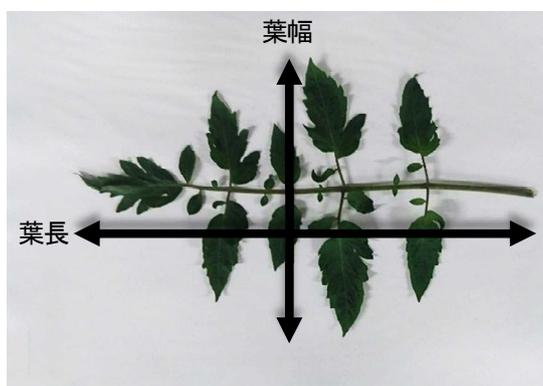


写真5 葉長及び葉幅の測定部位

引用文献

福岡ら、建築資材を活用した低コスト強制通風筒「NIAES-09」の製作法、生物と気象(*Clim. Bios.*) 11:A10-16 (2011)

浦入ら、太陽光利用型植物工場における温湿度がトマト灰色かび病の発生におよぼす影響、北日本病虫研報 68: 123-127 (2017)

執筆

千葉県農林総合研究センター 野菜研究室、病理昆虫研究室

環境制御マニュアルトマト編
促成トマト栽培の養液栽培における環境制御と強草勢台木の利用
令和4年3月
発行 千葉県・千葉県農林水産技術会議
事務局 千葉県農林水産部担い手支援課技術振興室
〒260-8667 千葉市中央区市場町1-1
TEL. 043-223-2907 FAX. 043-201-2615

「私的使用のための複製」や「引用」など著作権上認められた場合を除き、
本資料を無断で複写・転用することはできません。

