

トマト・キュウリにおける 炭酸ガス施用の技術指導マニュアル

千葉県・千葉県農林水産技術会議

1 効率的な炭酸ガス施用方法－低濃度長時間施用

(1) 日中の温室内は炭酸ガスが不足している

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う能力を有している。この潜在能力を活用して、トマトやキュウリなどの施設野菜では、温室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、温室が密閉され、作物や土壌微生物の呼吸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、温室内の濃度は外気よりも低下する。

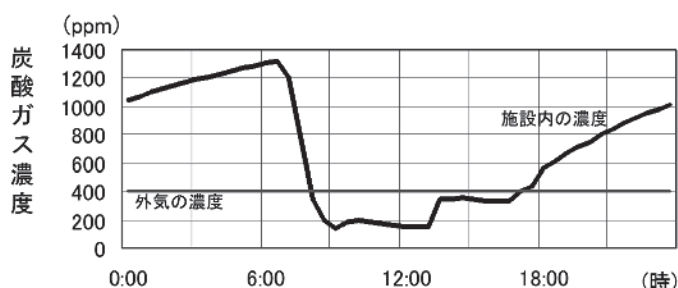


図1 冬季晴天日における温室内の炭酸ガス濃度の日変化

土壌に有機物が少ない圃場ほど、日中の温室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、特に増収が期待できるので、積極的に施用していただきたい。

(2) 炭酸ガス施用は低濃度長時間が優れる

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が、近年は0（ゼロ）濃度差施用や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。どちらの技術も早朝だけでなく、日中の長時間に渡って施用を行う技術である。

0濃度差施用は、元千葉大学の古在らが提唱する技術で、温室内の炭酸ガス濃度を外気と同じ400ppm、つまり内外の濃度差を0にして施用する技術である。作物の栽培温室は密閉されてい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[※]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、高濃度の施用では、作物に利用されるよりむしろ室外へ漏れ出す炭酸ガスが多く、施用効率が悪い。0濃度差施用の場合、理論上、施用した炭酸ガスの室外への漏れ出しがないので無駄がない。

一方、低濃度長時間施用は、千葉県の川城らが開発した技術であり、外気より少し高い400～500ppmを目標にするとところが0濃度差施用と異なる。冬季は外気温が低いため、必要な換気量が少なく天窓開度は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、外気よりやや高い濃度を目標に設定しても、実用的な施用効率に収まるとともに、収量も0濃度差施用より高くなることが期待できる（表1）。

※換気回数：1時間当たりの換気量を温室内容積で割った指数

表1 炭酸ガスの施用法が促成キュウリの収量に及ぼす影響

| 試験区 | 上物収量 (t/10a) | 総収量 (t/10a) | 炭酸ガス施用量 (kg/10a) |
|------------|-----------------|----------------|---------------------|
| 低濃度長時間区 | 10.0 | 11.3 | 1,700 |
| 慣行(早朝高濃度)区 | 9.0 | 10.1 | 1,870 |
| 無施用区 | 6.5 | 7.5 | 0 |

注) 平成15年11月20日定植、収穫期間は1月1日～3月10日。

(3) 効率的な施用法

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12～3月である。これ以外の季節は、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

トマトやキュウリ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。キュウリでは、幼果の生理落果を抑える効果も期待できるので、曇雨天でも施用する。曇雨天の施用量は晴天日の1/3程度にする。トマトではこのような着果促進効果はみられないが、曇雨天時に中止した方がコスト的に優れるという知見も見当たらないので、当面は施用を推奨する。

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、天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、天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、高濃度のまま天窓を開放すると、炭酸ガスが漏出するので、天窓が開く前に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、概ね日の出頃からとする。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機器が市販されている。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。0濃度差施用や低濃度施用では、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ものである。炭酸ガス源に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、この方法は不向きである。サブタイマーを併用して間欠的に施用できるかん水タイマーや専用機器を利用する。時間制御の場合も、温室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。ガス検知管や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する。作物にとって必要な炭酸ガスの量は光合成量に比例するため、濃度制御よりむしろ量のみの制御となる時間制御の方が合理的である。

2 炭酸ガス施用に必要な機器とその設置・メンテナンス

(1) 炭酸ガス源

1) 液化炭酸ガス

液化炭酸ガスは、燃焼式よりランニングコストが割高であるが、ボンベの架台やレギュレータ、電磁弁、穴あきチューブ(かん水チューブでも代用可)など安価な機器と資材で始めることができる。燃焼式と異なり施用時に熱が出ないこと、流量が自由に変更できることなどの利点もある。ボンベは夏季に直射日光にさらされると高温になり危険である。架台は必ず日陰などの冷涼な場所に設置する。専用の貯蔵タンクを用意すれば、タンクローリー配送により安価な炭酸ガスの購入が可能で30kg ボンベ配送より割安となるが、高圧タンクの設置が高額である上、3 t以上の貯蔵は高圧ガス保安法による県への届出が必要である。

2) 燃焼式発生器

灯油やプロパンガス、天然ガスなど炭化水素を燃焼させて炭酸ガスを発生させる。ハウス加温機やファンヒーターに似た構造で、送風ファンが組み込まれた機器が普及している。炭酸ガス1kgを発生させるのに必要な燃料の量は、0.33kg(灯油は約0.4L)である。

燃焼式のランニングコストは低いが、炭酸ガスの生成と同時に熱と水を発生することを理解する必要がある。炭酸ガスは一般的に空気より重い、燃焼式では高温気体として生成されるので室温の空気より軽い。天窗が開いている状態でそのまま発生させても直ちに揮散してしまうので、発生ガスを既設のハウス加温機に吸わせて、穴開きポリダクトで作物のすぐ近くに(可能なら株ごとに)放出するなど施用には工夫が必要である(写真1)。また、機器を連続稼働させると室温が上昇し、天窗の開度が大きくなり、結果として施用効率が低下する。燃焼ガスには使用した燃料と同重量の水分を含むので、密閉した室内で機器を稼働すると、その分過湿になる点も留意する。

機器は施設面積や施用量に見合った能力のものを選択する。能力が大きすぎると、頻繁にON-OFFが必要になり、機器の故障につながるとともに、ON直後にオーバーシュート(一時的に高濃度になること)するため、室外に漏れる炭酸ガスが多くなって、施用効率が低下する。また、不完全燃焼によって一酸化炭素が発生するので定期的な清掃とメンテナンスが必要である。煙突がなく、直接室内に排ガスを放出する仕組みであり、暖房機以上の気遣いがほしい。

(2) 炭酸ガス濃度測定器

炭酸ガスの濃度センサーとしては固体電解質方式と赤外線吸収方式の2種がある。一般的には、安価の割に



写真1 炭酸ガス発生器(左)の吹き出しをハウス加温機(右)の吸気口に向けて施用する



写真2 安価な炭酸ガス濃度測定器

精度がよい赤外線吸収方式が用いられているものが多い(写真2)。赤外線吸収方式の欠点としては、測定空気中の水分やほこり等の影響を受けやすいことがあげられる。そのため、湿度が高く清浄でない栽培温室内での寿命は1～数年程度と短い。設置の際には、センサー部分が濡れないように雨垂れ等を避けるとともに、薬剤散布時にはカバーで覆うなどして薬液の付着を防止する。

また、感度が徐々に落ちるので、時々校正用ガスや外気を用いた校正が必要である。外気で校正する場合は、機器が冷えた状態で高温多湿の温室内に持ち込むと機器内で結露が生じるので注意する。

3 草勢の調節と温湿度・肥培管理

炭酸ガス施用による1シーズン(12～3月)の増収はトマトで1～2 t/10 a、キュウリで4 t/10 a程度である。炭酸ガス施用において、うまく増収できない原因として、炭酸ガスの施用量がそもそも足りていない場合もあるが、光合成量の増加までは成功しても同化産物が葉に留まったままで(葉が厚く重くなっている)果実への転流が十分にされていない場合も多い。果実への転流を増加させるには、夕方～夜間の気温を高めることが効果的であり、併せて収量増に見合う量の追肥やかん水の追加が必要である。

また、厳寒期には、一時的な着果負担の増加から芯止まりや生育停滞、トマトでは収穫果実の小玉化などを引き起こすこともあるので、草勢の診断と適正な管理が必要である。トマト及びキュウリの草勢の強弱は、展開葉の大きさ(総量としては葉面積指数)、開花付近の茎の太さ、主枝や側枝の先端からの開花位置までの距離等で判断する。葉が小さく、茎が細く、主枝や側枝の先端から開花位置までの距離が短くなっている場合は、草勢が弱いと判断し、強める管理を行う。具体的には施肥やかん水量を増やす。



写真3 温室内環境モニタリング機器

このような精密な草勢調節を行うには、温湿度や炭酸ガス濃度といった温室内環境を常に把握しておくことが必要である。温湿度の測定には、センサー部分の日除けと適度な通風がないと正確さに欠ける*ので、市販の機器(写真3)を利用するのが便利である。

長期の草勢の維持には、台木の種類や空中湿度の適正化(日中の加湿と夜間の除湿、これによる病害防除)等も重要であるので、農林総合研究センターでは、更なる増収を目的に適正な栽培管理技術の確立試験を行っている。

*気温を日除けや通風なしで測定すると、条件によって5～10℃の誤差が生じる。

※私的利用のための複製や引用など著作権で認められた場合を除き、無断で複製、転用することはできません。

発行年月 平成31年3月
発行 千葉県・千葉県農林水産技術会議
執筆 千葉県農林総合研究センター 野菜研究室