

促成キュウリ栽培における環境制御



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、促成キュウリの長期栽培において高収益を得るには、炭酸ガス施用を単に行うだけでなく、適切な温湿度管理や草勢調節も合わせて必要である。本資料では、県内に多い10～30 a程度の低軒高施設を用いて10月頃に定植する促成キュウリのつる下ろし栽培を想定して、生産者や指導者向けの環境制御マニュアルとしてまとめた。

摘 要

炭酸ガス施用：11月～4月に3kg/10a/h施用

温度管理：日平均気温を晴天日20℃、曇雨天日16℃以上を目標に管理

暖房設定温度は10℃から徐々に上げ、厳寒期は15℃、3月以降は徐々に下げる

換気設定温度も同様に28℃→33℃→28℃ ただし、作業時は25℃に下げる

湿度管理：暖房機の稼働時間が少ない秋と春は夜間も除湿換気

増 枝：つる下ろし枝は4枝/m²程度で開始し、厳寒期に6枝/m²程度に増枝

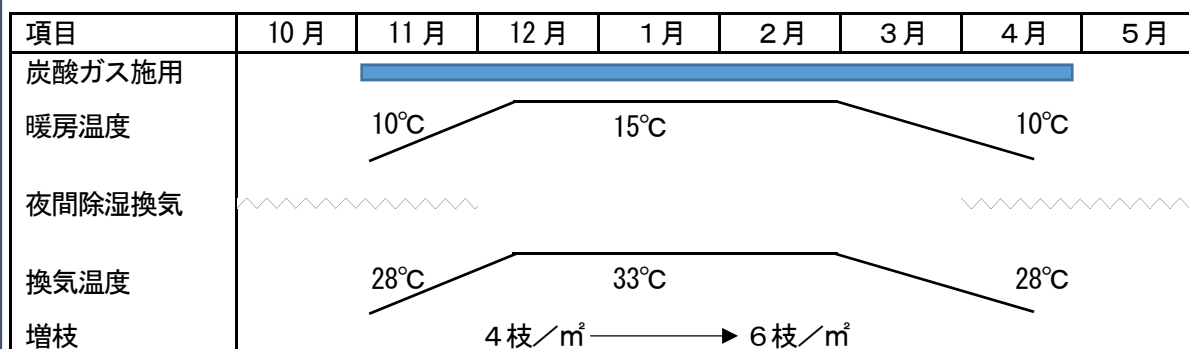


図1 低軒高施設を用いた促成キュウリのつる下ろし栽培の環境制御のポイント

1 炭酸ガス施用

(1) 炭酸ガス施用の考え方

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の方が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2は、冬季晴天日の温室内における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、この量よりも光合成によって作物に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推移している。

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。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値）は密閉状態であっても0.8～1.0回/h、同様に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。

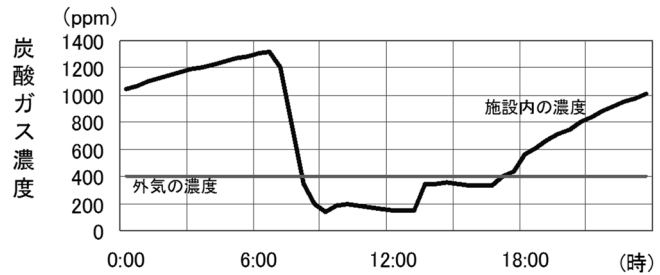


図2 促成キュウリ施設内における冬季晴天日の炭酸ガス濃度の日変化

(2) 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ため、施用費用を上回る効果を得るのは難しい。

2) 施用量

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3 kg/10 a / h程度である。曇雨天時の施用量は晴天時の1/3程度とする。

3) 炭酸ガス濃度

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めると、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

施用の開始時刻は原則として日出頃からとする。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、炭酸ガス濃度センサーを組み込んだ制御機が市販されている。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測定精度の高い機種を選ぶ。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(図3)。

6) 燃焼式発生器利用時の注意点

燃焼式発生器で発生させ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漏れ出してしまう。

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)。また、燃焼式発生器の場合、暖房中は発生器を稼働させても、炭酸ガスとともに発生した熱の分だけ暖房機の稼働を減らせるので、発生器の燃油コストは実質0円である。一酸化炭素が発生する危険が少ない濃度(3,000ppm程度)を上限として、施用開始時刻を早めてよい。

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。

2 温度管理

(1) 日平均気温を意識した温度管理

従来の温度管理は最高気温と最低気温を管理する温度管理であったが、近年は、最高最低より日平均を意識した管理が重要と考えられている。炭酸ガス施用を行っている施設では、日平均気温をやや高めめの20℃を目標にして管理する。目標気温は、理論的には光合成量が多い季節は高め、少ない

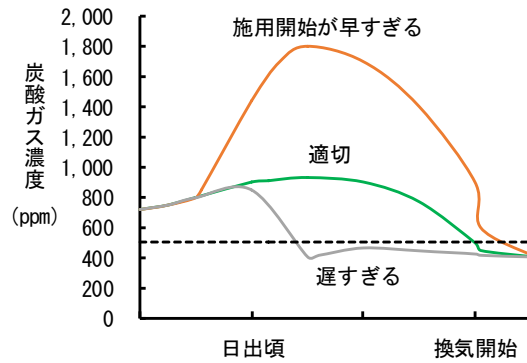


図3 時間制御による施用のイメージ

施用量が適正でも施用開始が早いと朝の濃度が高すぎる、遅いと低すぎてしまうので、濃度を測定して開始時刻を調整する。



写真1 炭酸ガス発生器(左)とダクトファン(右)

季節は低めにするのが適する。4月以降は日射量が増えるので、無理に日平均気温を下げる必要はないが、20～24℃を維持できるようにしたい。曇雨天日は光合成量が少ないので、この温度より低くてよいが、16℃以上となるように管理する。また、季節によって昼の時間が変化する。このため、換気や暖房設定温度を変えないで管理していても季節により日平均気温が少しずつ変わってくるので、換気などの設定温度はこまめに見直す必要がある。

なお、日平均気温を高くすると、果実への転流が増え果実肥大が早まり一時的に収量が増加する。逆に低く管理すると、一時的に収量が減る。これによって多少の出荷量の調整が可能である。ただし、長期的に適温より高い状態を続けると雌花率が下がり収量が低下する。

(2) 暖房

キュウリは気温が10℃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、地温も低下する。このような状況が長く続くと、同化産物の転流や根からの吸水に悪影響が生じて生育が遅れ、収量が低下する。暖房は最低気温が10℃を下回り始める11月上旬頃から暖房設定温度10℃として開始し、その後、徐々に設定温度を上げ、夜の時間が長い厳寒期には15℃を基本とする。外気温が高い前夜半をやや高温にし、後夜半をやや低温にする変温管理を行うと、燃油を節減できる。また、暖房中は、暖かい空気が施設の上方に溜まり、上下で温度差が生じやすい。このため、株元に近い位置にある果実は低温のため肥大が悪く、反対に枝の先端は高温のために伸びすぎてしまうことがある。これの解消のためには、循環扇や暖房機の送風機能を利用して、空気を攪拌して、上下の温度差を減らす。

(3) 換気

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、冬季に換気設定温度を高くすると、炭酸ガス濃度がより低下し、それに伴って収量も低下する。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。このため、効率よく光合成量を増加させることができる。

また、昼の時間が短い冬季は夜温をかなり高く設定しないと、日平均気温が目標に達しない。このため、通常は光合成の適温25～28℃を換気設定温度にするが、この時期のみは少し高い換気設定温度（最高33℃、これ以上にすると果色が悪くなる）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。ただし、高温にすると作業環境が悪化するので作業員のいない時間帯だけに止め、作業時には気温を25℃まで下げる。

高温にするあまり、施設を密閉した状態を長く続けると軟弱徒長したり、好湿性病害が多発したりする問題が生じるので、除湿のためのわずかな換気は必要である。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。室内気温が朝から30℃を越える4月以降は、従来通り側窓を開けるとと

もに保温カーテン等を遮光に利用して、気温の低下を図る。

(4) 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が、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2)。

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、風量を調整し、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、昼も循環扇等を利用する。



写真2 自作の強制通風筒

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1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。

表1 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

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

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

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)、写真3)シリーズのセンサー固有値で、0～999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。



写真3 「まもるんサリー」本体(左)、センサー(右)

(2) 加湿

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、垂れ下がることで受光量が減少する。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。キュウリの場合、摘心栽培では側枝の発生を促す蒸し込みが必要であったが、つる下ろし栽培であればそのような管理は必要なく、トマトと同程度の湿度管理でよいと思われる。



写真4 落下傘(カッピング)葉

2月以降になると、日射量が増加し、施設の開放時間が長くなり、空気が乾きやすくなる。晴天日の日中には飽差6 g/m³を目標に通路散水や細霧加湿を行って湿度を保つ。



写真5 褐斑病

(3) 除湿

植物体上に結露が生じるほどの高湿度は、石灰欠乏による落下傘葉(カッピング葉、写真4)の発生や灰色かび病や褐斑病(写真5)など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。厳寒期は暖房機の稼働時間が長いために自然に除湿できるが、稼働時間が短いその前後の季節はこのような除湿効果は期待できないので、積極的に夜間の除湿を図る必要がある。

具体的には、無暖房の季節には、終夜にわたり除湿のためにわずかに換気を行う。朝方のみ暖房している季節にはカーテンを開放したままにする。これにより暖房機の稼働がわずかに増えて、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。結露センサー付き複合環境制御装置を用いると、季節外れの天候時にも暖房機とカーテンの稼働を結露の状況で制御できるので、便利である。

曇雨天日は湿度が長時間にわたり高い状態となりやすいので、日中にも数回は換気窓がわずかに

開くよう換気設定温度を調整する。

4 かん水及び追肥

基本的な考え方は炭酸ガス無施用時と同様であり、収穫開始前にはつるボケを防いで成り癖をつけるために、かん水は控えめに管理する。収穫開始後は、炭酸ガス施用により月1t/10a程度増収するので、その分だけかん水や追肥も増やす必要がある。

5 増枝と摘葉

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4)。日射量が多い季節ほど、最適な栽植密度や葉面積指数(単位土地面積あたりに存在する葉面積の総和(m²/m²)、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えなくなってしまう。これを回避するには、日射量が増え始める1月~2月に主枝やつる下ろし枝から発生した脇芽を2枝/m²程度伸ばして増枝する。

逆に、栽培後半の時期に合わせた高めの栽植密度で栽培を開始すると、栽培前半は葉面積が多くなりすぎてしまうので、適宜摘葉を行って徒長を防ぐとともに、適正量に摘果する。

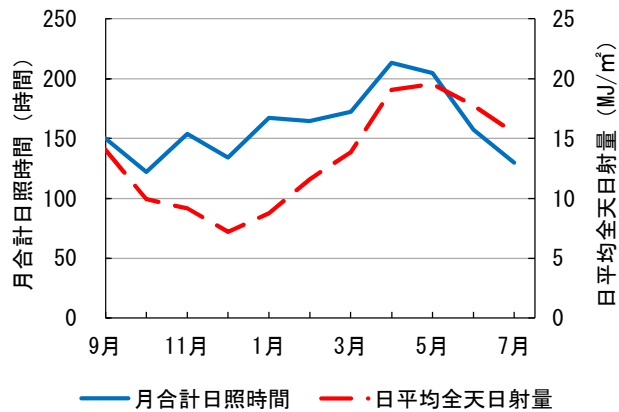


図4 月合計日照時間及び日平均全日照量

注) 観測地点は銚子地方気象台、平成30年9月~令和3年7月の3年平均

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)

執筆 千葉県農林総合研究センター 野菜研究室

環境制御マニュアル キュウリ編
促成キュウリ栽培における環境制御
令和5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。