

I 多収のための栽培管理（高軒高ロックウール(RW)栽培）

1 温度、培地温の制御

（1）高温期は、遮光カーテン、細霧発生装置により遮熱対策する

- トマトの生育適温（明期）は 20～25℃、最高限界気温は 35℃である。
- 換気窓の開度は全開、適温に近づく換気開始温度（例：22℃）に設定する。
- 遮光カーテンは、活着や生育状況を見ながら、気温や日射量で設定する（例：35℃、500～800W/m²）。ただし、過度の遮光は光合成量を減らしてしまうため、しおれ症状が見られなければ、控える。
- 細霧発生装置（ミスト）は、高湿度条件では冷却効果が得られないため、飽差 6～9 g/m³ 以上、相対湿度 70%RH 以下を目安に稼働する。なお、高湿度による病害の発生や養水分吸収低下を防ぐため、植物体が濡れないように噴霧時間と休止間隔を調整することが必要である。また、粒径 10 数 μm の超微粒子も濡れ防止に有効である。

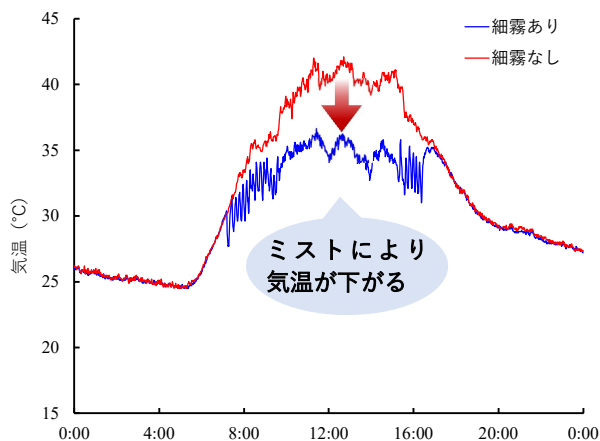


図 I-1-1 高温期における気温の推移
測定日：2017年8月25日

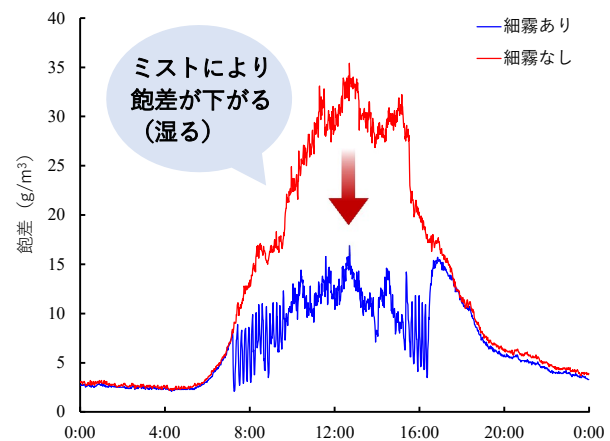


図 I-1-2 高温期における飽差の推移
測定日：2017年8月25日



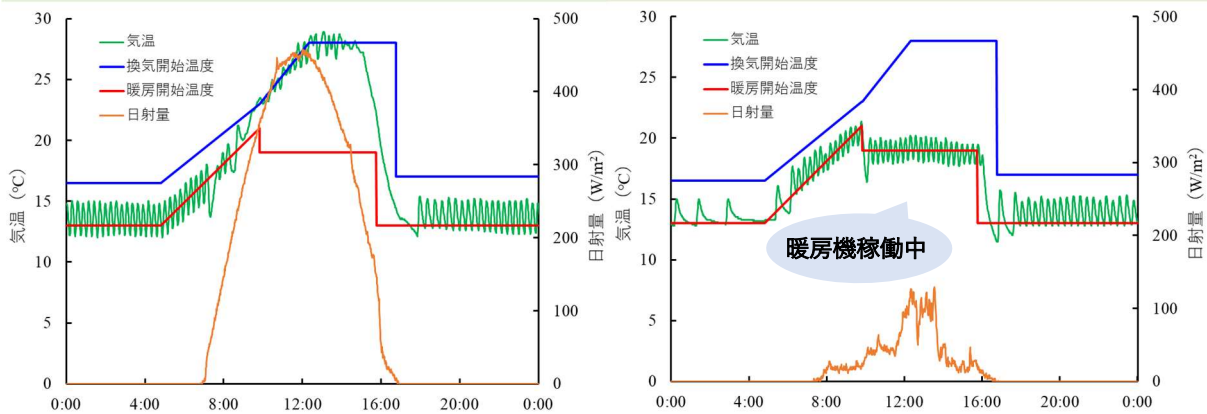
図 I-1-3 細霧発生装置による間欠噴霧
噴霧時間：20秒、休止時間：20秒



図 I-1-4 遮光カーテンを80%閉じた温室内
遮光・遮熱と採光性を兼ねた資材（LSスクリーン）を使用。

(2) 低温期は、平均気温を目安に換気及び暖房開始温度を設定する

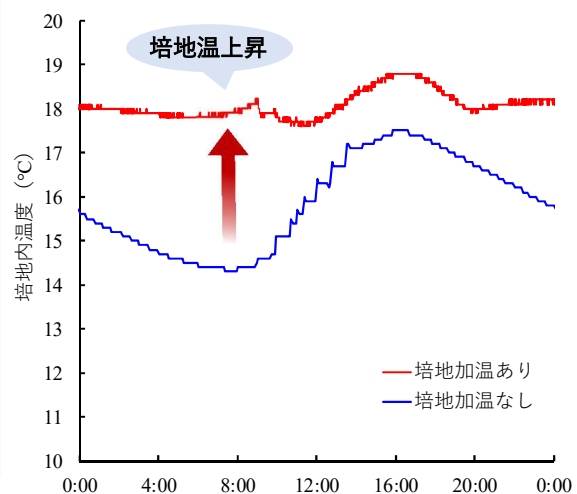
- トマトの生育速度は平均気温を目安にコントロールできる。
- 厳寒期の**早朝加温**は光合成促進に有効なので、日の出時刻に15~17°C程度にする。この時、急激な気温上昇は果実に**結露**を生じさせ、病害発生の原因となるため、**気温上昇は1時間に2°C以内とする**。
- 図I-1-5では、夜間の暖房開始温度を13°Cとし、日の出2時間前から1時間当たり2°C以内の気温上昇となるように段階的に温度設定を行い、日の出時の気温が16.5°Cとなっている。
- CO₂施用時は、換気によるCO₂の温室外への漏出を防ぐため、換気開始温度を高めを設定する(日本施設園芸協会2012)。図I-1-5は、28°C設定にしている。
- 曇雨天日で日射量が少なく(100W/m²程度)、明期の気温が上昇しない日は、トマトの生育適温20~25°Cに近づけるため暖房機を稼働させる(明期の暖房開始温度は19°C、図I-1-5の右)。



図I-1-5 低温期における設定及び温度推移
測定日：2021年1月10日(左)、1月23日(右)

(3) 低温期は、根圏温度が15~18°Cになるように制御する

- ロックウール栽培における培地温度は、土耕栽培と比べて周辺温度の影響が大きい。
- トマトに適した地温は15~18°C、**最低限界地温が13°C**とされており、この範囲から外れると根量が減少し、地上部の生育が抑制される。
- 培地下部に敷設した管に**温湯(30~40°C)**を循環させることで、培地内温度は終日18°C前後の適温を維持できる(図I-1-6)。



図I-1-6 低温期の根圏温度制御
測定日：2021年12月19日

(4) 暖候期以降、高温による草勢低下を防ぐため換気開始温度を下げる

- 3月以降、外気温や日射量上昇に伴い、温室内の最高気温が30℃以上になる日が増える。
- 高温による草勢低下、しおれを防ぐため、換気開始温度を20～23℃程度に下げる(図1-1-7)。

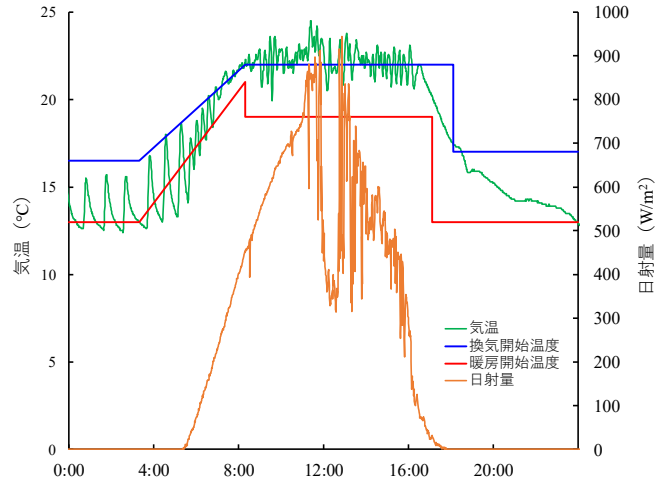


図1-1-7 暖候期における温度推移
測定日：2021年4月9日

2 時期別のCO₂濃度制御

(1) CO₂施用濃度は、外気濃度を下回らないように設定にする

- 大気中のCO₂濃度は約400ppmであるが、温室内ではトマトの光合成にCO₂が利用されて、300ppm未満に低下することがある(図1-2-2のB)。
- トマトの光合成量は、25℃であれば800~1000ppmまではCO₂濃度が高いほど光合成量が増え、200ppmでは大気中CO₂濃度に比べて半減する(吉田2014)。
- 800~1000ppmの施用ではCO₂のコストとロスが大きいため、400~600ppmが効率的である。CO₂施用は、日の出から日の入りまでの設定とする。
- 図1-2-2のAは、CO₂濃度が500ppmを下回るとCO₂施用を開始し、600ppmを上回ると停止する設定で制御した場合である。



図1-2-1 燃烧式CO₂発生機
1台で150坪まで使用可能。

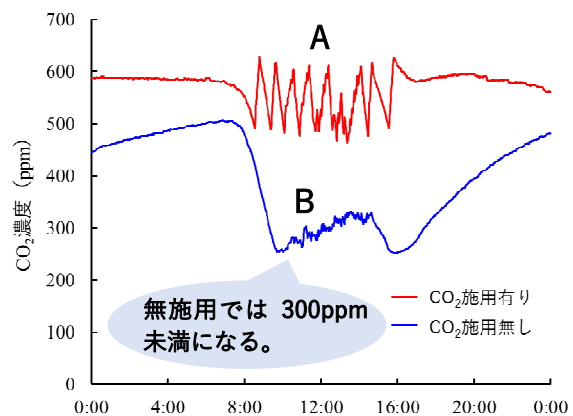


図1-2-2 CO₂施用時の温室内CO₂濃度
測定日：2018年1月20日

(2) 換気開度に応じて CO₂ 施用条件を調整する

- 換気中の CO₂ 漏出を防ぐため、換気開度 30%未満のときは CO₂ 濃度 500ppm 以下 (A)、換気開度 30%以上のときは CO₂ 濃度 400ppm 以下 (B) を CO₂ 施用開始条件にする (図 I-2-3)。換気中も CO₂ 濃度を温室外と同等の 400ppm にすれば漏出はない(齊藤 2014)。
- 換気中は外気が温室に入ってきて 400ppm を下回ることがあるため、CO₂ 施用の効果は期待できる (図 I-2-3 の B)。

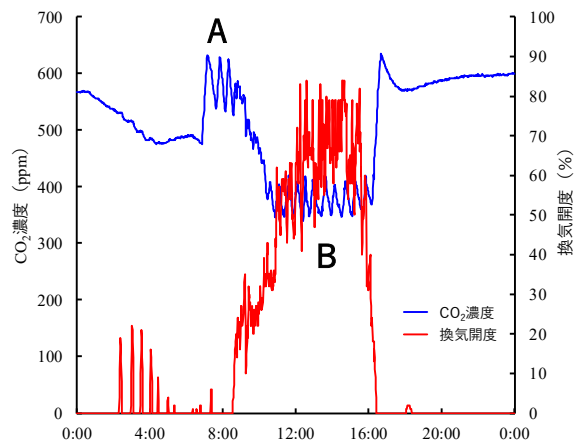


図 I-2-3 換気開度に応じた CO₂ 施用設定
測定日：2018 年 3 月 17 日

(3) 換気温度設定を高くして CO₂ の漏出を防ぐ

- 日中の換気開始温度を高く設定することで換気開度が低下し (窓が閉じている時間が長くなる)、CO₂ 濃度を高く維持することができる。
- 温度を高める時間帯は、転流促進の観点から、午後 (齊藤 2014) や 11 時~14 時 (吉田 2014) が適する。
- 温度は、発育速度や呼吸速度に関連し、草勢に影響を及ぼす。草勢が弱いときは、過度な高温管理にならないように注意する。

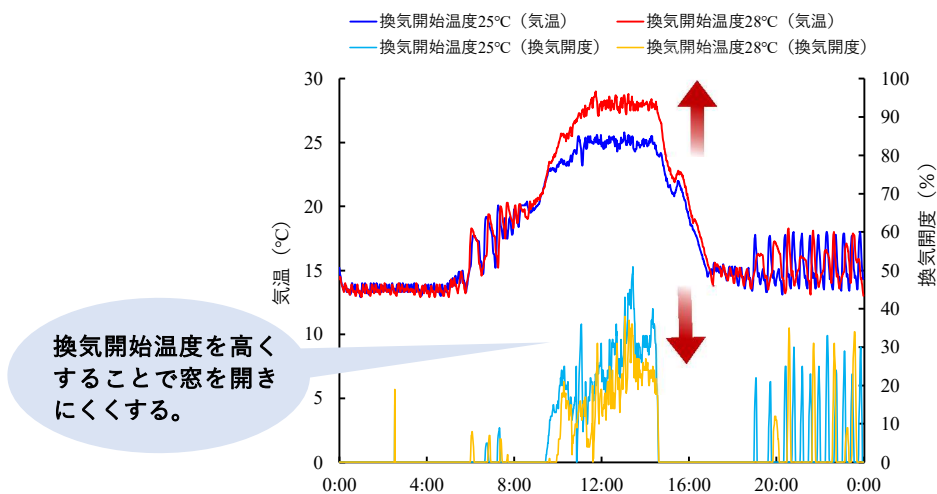


図 I-2-4 換気開始温度による換気開度の差異

3 時期別の湿度（飽差）制御

(1) 飽差制御により光合成速度を高める

- 光合成は、温度、CO₂濃度の影響が大きいですが、湿度の影響も無視できない。
- 低湿度条件下では、作物は水分損失を防ぐため気孔を閉鎖し、それによりCO₂吸収量が減少し、光合成速度が低下する（東出 2014）。
- 低湿度により花粉の活性も低下する（東出 2014）。そのため、加湿は収量向上に有効な手段となる。
- 湿度の指標には、**相対湿度や飽差**がある。飽差とは、空気中にとどれくらい水蒸気が入る余地があるかを示す指標で、蒸発散速度に直接的に影響することから、作物栽培の制御には**飽差を用いるのがよい**（エペラ 2020）。
- 飽差の適正範囲は、3～6 g/m³（齊藤 2014）、6～9 g/m³（吉田 2014）などの報告がある。高温（低飽差）条件では、**病害発生リスクの高まり、急激な乾燥時のしおれ、蒸散量低下に伴う養水分吸収量の低下**が懸念される。本研究では**明期の飽差が8g/m³を上回ったら細霧発生装置を稼働させ、5g/m³を下回ったら停止する設定とした**。
- 図1-3-2のAに示したように、細霧発生装置の稼働により飽差を大幅に低下させることができる。細霧発生装置の使用時の注意点として、病害予防の観点から葉が濡れないようにする必要がある。**超微粒子ミストの使用や換気、温室内が細霧により白くモヤがかからないように間欠噴霧を行う**。
- 細霧は加湿作用のみのため、過湿状態の対策はできない。**除湿は、暖房や換気、カーテンの開閉により行う**（齊藤 2014）。なお、CO₂発生機による燃焼ガスには、使用した同重量の水分を含むため、密閉環境では過湿にならないように考慮する。
- 細霧の利用により葉や花房の展開が遅くなる**ことがある。細霧の気化冷却作用により気温が下がり、葉の展開速度が低下するためと考えられる（東出 2014）。このように、一つの環境要因を制御することが複数の生体反応に影響することから、各環境要因と生体反応の関係性を注視していくことが大事である。



図1-3-1 細霧発生装置
粒径は10～30 μm。

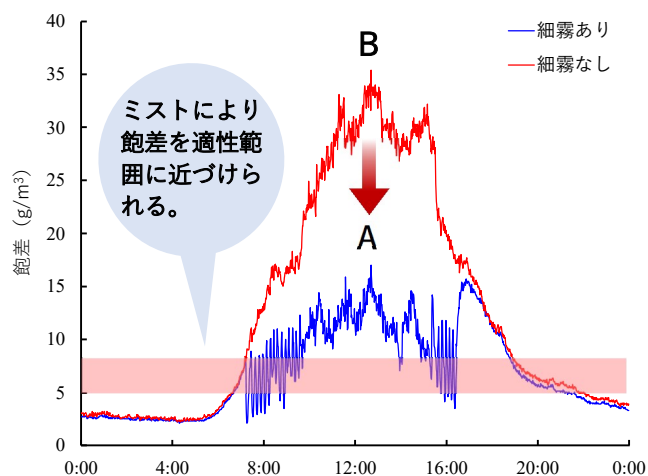


図1-3-2 細霧発生装置による飽差制御
(噴霧20秒、休止20秒の間欠噴霧)

4 培養液管理

(1) 排液率を基にした給液管理を行う

- 環境制御による収量の増加に伴い、養水分の吸収量も増加する（齊藤 2015）。培養液濃度を高めても増収しないため（図 I-4-1）、排液率 20~30%を目安に給液管理を行う。また、トマトの吸水量は日射量の影響を強く受けるため、給液量に過不足が生じないように日射量に応じて給液量を調整する（図 I-4-2）。
- 尻腐れ果の発生抑制には、アンモニア性窒素割合の少ない培養液処方がよい。本研究では OAT ハウス肥料の S A 処方を用いて実施した（表 I-4-1）。
- 過度の加湿は蒸散を抑制させ、吸水量を低下させるため、飽差が 3g/m³ 以下にならないように注意する。
- 水分センサにより培地内の水分状況を把握することが大事である。図 I-4-3 では、給液に伴う培地内水分率の上昇が確認できる。また、このデータでは、日の出時の培地内水分率が徐々に低下しているため、給液回数、給液時間の改善が必要である。

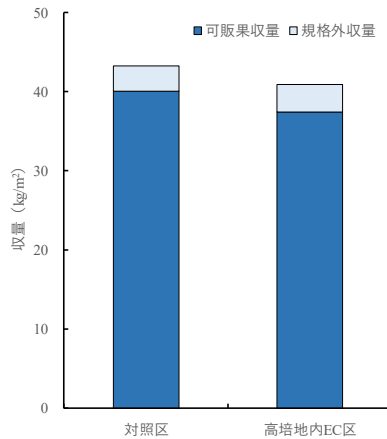


図 I-4-1 培地内濃度と収量の関係

表 I-4-1 培養液の処方別の成分組成^z

処方	標準培養液の成分組成 (ppm)		
	窒素全量	内アンモニア性窒素	硝酸性窒素
SA処方	247	8	239
A処方	260	23	233

z: OAT アグリオ株式会社ホームページから引用
<https://www.oat-agrio.co.jp/cgi/psearch/item/2013101716413104/oathouse.pdf>

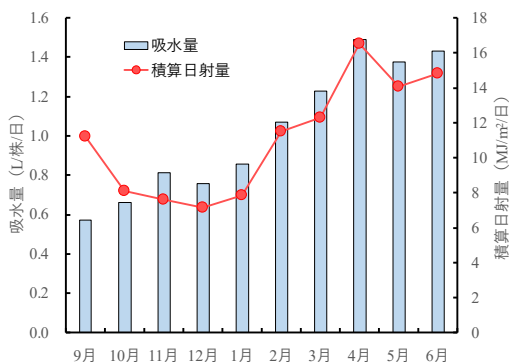


図 I-4-2 時期別の吸水量と積算日射量

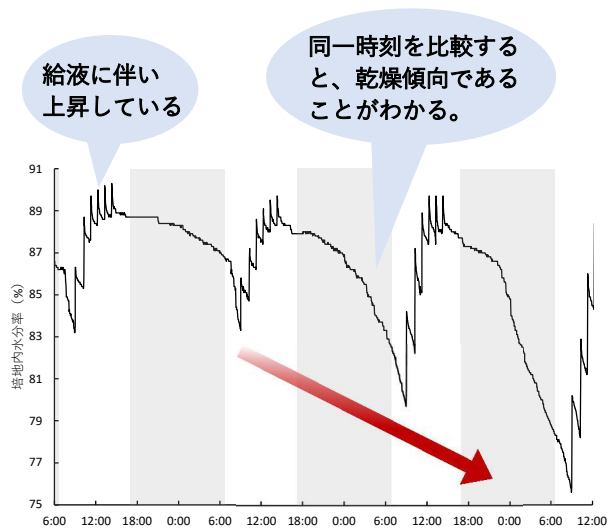


図 I-4-3 培地内水分率の推移^z

z: 2021年1月27日から31日までの測定値を示し、各日2.0、1.5、2.5分間の給液を9時00分から14時15分にかけて6回行った。図中の灰色の部分の日の入りから日の出までの暗期を示す。

5 多収のための生育バランス

(1) 栄養生長と生殖生長のバランスに基づいた栽培管理

- 図 I-5-1 の A に示したとおり、第 3 花房開花（9月中旬）までは、排液率を低くすることで草勢の抑制、栄養生長に偏らないように管理する。
- 12月中旬～2月中旬（図 I-5-1 の B）は、草勢がやや強く、栄養生長気味の生育バランスとなっている。改善例として、平均気温を上げて草勢を弱め、気温の日較差を大きくすることで生殖生長に寄せる（夜温を変えず、昼温のみ上げる。吉田 2016）。
- 2月中旬以降（図 I-5-1 の C）は、草勢がやや弱く、生殖生長気味の生育バランスとなっている。改善例として、平均気温を下げることで草勢を強め、気温の日較差を小さくすることで栄養生長に寄せる（夜温を変えず、昼温のみ下げる。吉田 2016）。
- 茎径は短径と長径方向で値が異なる。茎周囲長から算出した茎径は、短径より長径との相関が高い（本データの茎径は、茎周囲長を円周率で除して算出している）。
- 生長点から開花花房までの長さの測定は、開花花房内の開花数が多い場合ほど長くなるため、1 花開花時などのように開花数を揃えて測定・比較した方がよい。
- 特に制御後 3～4 日の生体反応（茎径、生長点から開花花房までの長さ）に着目する。

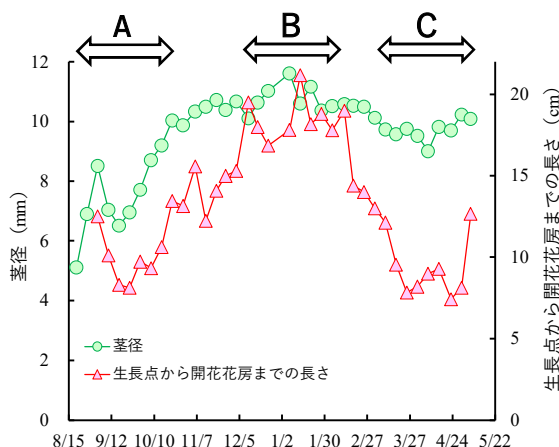


図 I-5-1 茎径、生長点から開花花房までの長さの推移
 茎径：生長点から 15cm 下の部位の茎径



図 I-5-2 生育調査の様子

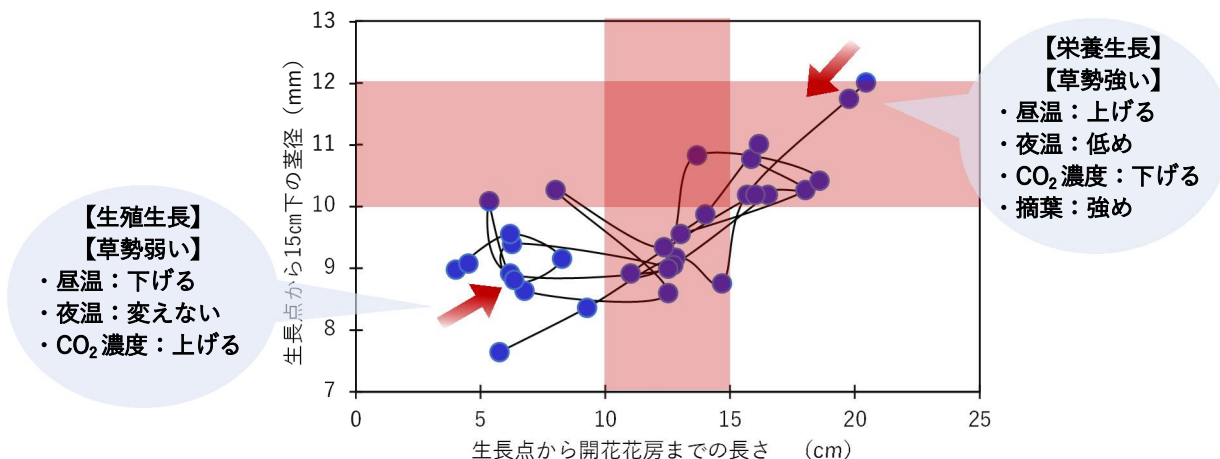


図 I-5-3 生育バランスシートに基づく管理

適性範囲：茎径 10～12mm、生長点から開花花房までの長さ 10～15cm（吉田 2016）。

6 温室内環境の分布（センサ設置位置）

(1) 環境要素の分布に応じてセンサの設置位置を決める

- リアルタイムのモニタリングデータに基づいて環境制御する上で、センサの設置位置が重要である。
- 日射計は、温室の骨材などの影響を受けないように、温室の棟などに設置する。
- 温度、湿度（飽差）、CO₂の各センサは、温室中央のトマト生長点付近に設置する。
- 温度は、温室中央に対して南側が高く、北側が低くなる傾向がある（図 I-6-1）。
- 相対湿度（細霧発生装置稼働時）は、噴霧中を除いて、生長点付近（高さ 290cm）に比べてトマト茎葉部（高さ 75~225cm）が高い傾向がある（図 I-6-2）。

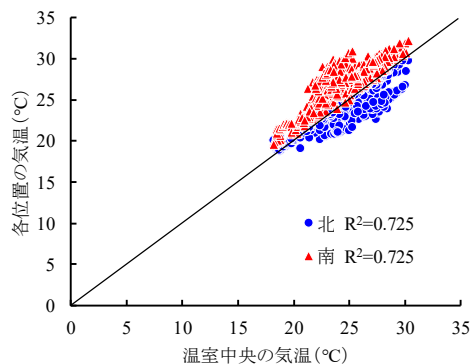


図 I-6-1 温室内南北における気温測定値

2017年2月15日9時00分~16時59分

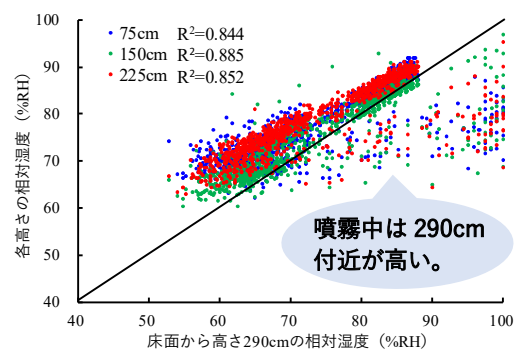


図 I-6-2 高さ別の相対湿度測定値

2018年5月22日（細霧発生装置稼働時）

(2) CO₂は拡散しやすい

- センサのある生長点付近と株元の CO₂ 濃度の差は小さい（図 I-6-3 の A）。
- CO₂ 発生装置の近く（北側）と遠い所（南側）では、最大 100ppm 程度の差があった（図 I-6-3 の B）。
- 濃度ムラが少なくなるように循環扇の活用や局所施用が有効である（河崎ら 2010）。

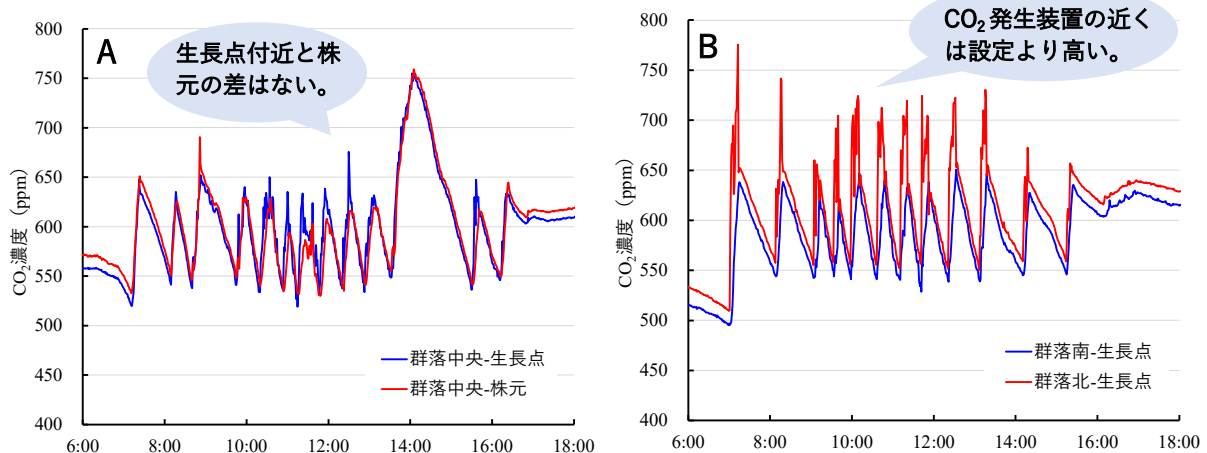


図 I-6-3 CO₂濃度分布

CO₂ 施用は、群落中央の生長点付近の濃度に基づいて制御した。

A：2019年2月27日に生長点は床面から280cm、株元は床面から60cmの高さで測定した。

B：2019年3月7日に床面から280cmの高さで測定した。

7 品種の選び方

(1) 収量性と品質の面から選定する

- 養液・長期多段栽培は、夏期の定植になるため、**トマト黄化葉巻病 (TYLCV) の耐病性品種**を選定する。ただし、耐病性品種は、発病はしなくても、感染して増殖源になることがあるので注意する。
- 多収性でA品率が高く（空洞果が少ない）、収穫期間を通じて糖度が安定している**‘TYみそら86’**（ヴィルモランみかど）が有望である（表I-7-1）。
- 草勢維持のため、**接ぎ木栽培が有効**である。台木は、収量重視であれば**‘TTM-079’**（タキイ種苗）、品質重視であれば**‘スパイク’**（愛三種苗）が有望である（図I-7-1、図I-7-2）。

表 I-7-1 各品種の収量特性 (2018)

品種 (穂木/台木)	総収量 (t/10a)	可販果収量		1果重 (g)	可販果率 (%)	A品率 (%)
		(個/株)	(kg/株)			
TYみそら86/スパイク	46.0	74.3	15.4	38.5	207	83.7
TYみそら86/TTM-079	52.8	75.8	16.8	42.0	222	79.6
桃太郎ホープ/TTM-079	49.0	82.5	17.0	42.5	206	86.7
麗妃/マグネット	43.5	74.4	13.6	34.0	183	78.2
鈴玉/マグネット	50.0	70.6	15.2	38.0	215	76.0

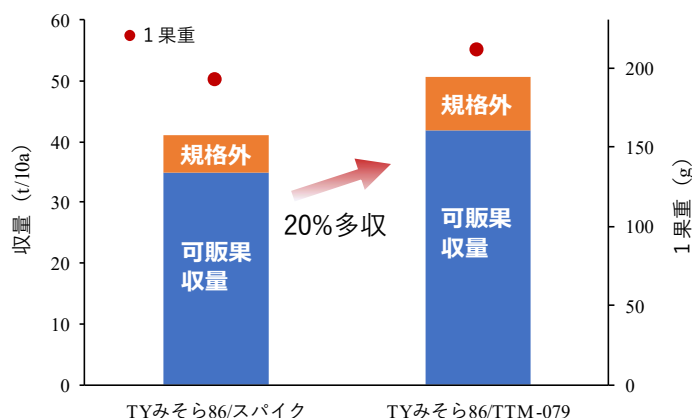


図 I-7-1 台木が収量、果重に及ぼす影響 (2019)

台木によって
糖度が高くなる。

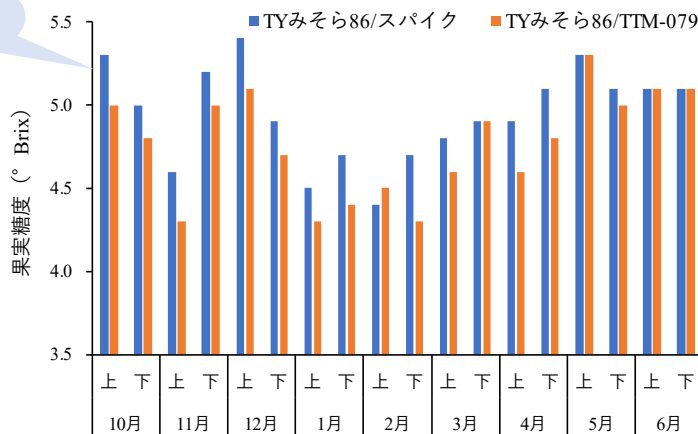


図 I-7-2 台木が果実糖度に及ぼす影響 (2019)