



あたらしい 農業技術

No. 691

植物重量給液制御装置を用いた
高糖度・高機能性トマトの
栽培方法

令和5年度

要 旨

1 技術、情報の内容及び特徴

(1) 高糖度・高機能性トマトとは

果実の糖度を高めるためには、給液制限等により着果期以降は植物体が水分欠乏となる状態を維持しながら栽培する必要があります。果実に含まれる機能性成分の GABA は血圧を下げる効果やストレスの緩和効果があるとされ、消費者庁が進める機能性表示食品の事例も多く、付加価値の向上が期待されています。栽培過程を通じた水・塩ストレスは果実内容成分を増加させる効果があるため、糖度が高まる栽培条件は結果的に果実に含まれる GABA 濃度も上昇することになります。中玉トマト品種を用いて、これまでのトマトの高糖度に加えて高 GABA を両立することで、美味しく健康に良い新たなトマト商品が誕生しました。

(2) 養液栽培システム

高糖度・高機能性トマトの安定栽培には、①給液制限を行い、常に水分欠乏の状態にする一方、②過度な水分不足が生じる前に給液して過大な水分欠乏を緩和すること、が必要です。

①についてはポット式養液栽培方法により対応しました。この栽培方法では、少量の培地（ヤシガラ、600 ml）を不織布製ポット（直径 12 cm）に詰め、苗を 1 株ずつ定植し、各ポットにドリッパーをつけて培養液を点滴給液します。1 株当たりの培地の保水量が小さく給液後に短時間で培地の含水率が減少するため、確実かつ継続的な水分欠乏が生じます。

②については植物重量を計測して制御する植物重量給液制御装置を用いることにより対応しました。この装置は基準となるトマト株（1～数株）を吊り下げて植物重量（株＋培地）を連続測定し、蒸発散に伴う重量減少の程度に応じて全株の給液をコントロールします。給液のタイミングは、朝一番の給液直後の植物重量をその日の基準重量（最大植物重量 W_{max} ）とし、基準重量に対する現在の植物重量の相対割合（%）が設定した給液開始点（SP）を下回ると自動的に給液が始まります。また、給液量は基準重量と給液直前の植物重量から自動的に計算して給液を行います。

(3) 果実品質及び機能性成分

本栽培システムにより栽培を行うと、糖度及び GABA 濃度のコントロールが可能で、食味も優れたトマト生産が可能です。

2 技術、情報の適用効果

蒸発散に応じた無駄の少ない給液制御により、環境負荷低減や給液管理の省力化を図りながら高糖度・高機能性トマトの生産が可能です。

3 適用範囲

垂直誘引を行っているトマト生産者

4 普及上の留意点

本栽培方法は特許権を取得済みであり、静岡県内の民間事業者（山本電機㈱、牧之原市、<https://yamamoto-denki.jp/>）により購入・施工が可能です（商品名：うるおい力持ち）。

目 次

はじめに	1
1 高糖度・高機能性トマトとは	1
2 養液栽培システム	2
(1) ポット式養液栽培法	2
(2) 植物重量給液制御装置	2
3 果実の収量、品質及び機能性成分	5
(1) 植物重量給液制御装置を用いた高糖度・高機能性トマトとタイマー給液を用いた中玉 普通トマトとの比較	5
(2) 冬春栽培の概要	6
(3) 夏秋栽培の概要	8
(4) 収量、果実品質と機能性表示	9
おわりに	9
参考文献	10

はじめに

静岡県の特産品は、野菜類ではイチゴ、温室メロンに次ぐ3番目の産出額（令和3年）を誇り、その品質の高さは全国的に評価されています。中でも、‘桃太郎’等の大玉品種を給液制限しながら栽培する高糖度トマトは、今や静岡トマトの代名詞となっています。さらに、民間事業者を中心にミニトマトや中玉トマトでも高糖度化を目指した試みが少しずつ拡大しています。

このような背景から、おいしさの追求と機能性成分の向上の両立を目指して新たな商品である「高糖度・高機能性トマト」を安定生産できる栽培技術を開発しました。また、この商品を安定生産するために給液管理を自動化するため「植物重量給液制御装置」を用いました。この装置では、植物重量を計測することにより給液量と給液タイミングを自動決定して、水分ストレスを適切かつ自動的に付与することができるため、給液管理の省力化や給液ロスの減少による環境負荷低減が可能になります。

本稿では、民間企業の事業化を推進する静岡県のAOI（アグリ・オープン・イノベーション）プロジェクトで開発した美味しく健康に良い高糖度・高機能性中玉トマト栽培の概要を紹介します。

1 高糖度・高機能性トマトとは

トマト果実の糖度を高めるためには、給液制限等により植物体が水分欠乏となる状態を維持しながら栽培する必要があります。水分欠乏になると糖度が高まる理由は、①果実含水率の低下、②果実への糖蓄積の促進、が起こることによります。

トマト果実の機能性成分としては、リコピンやGABA（ γ -アミノ酪酸）が知られています。中でも、GABAは血圧を下げる効果やストレスの緩和効果があるとされ、消費者庁が進める機能性表示食品の事例も多く、既存商品の付加価値の向上が期待されています。

トマトの栽培過程を通じた水・塩ストレスは果実内容成分を増加させる効果があるため、糖度が高まる栽培条件は結果的に果実に含まれるGABA濃度も上昇することになります。中玉トマト品種を用いて、これまでのトマトの高糖度に加えて高GABAを両立することで、美味しく健康に良い新たなトマト商品が誕生しました（図1）。

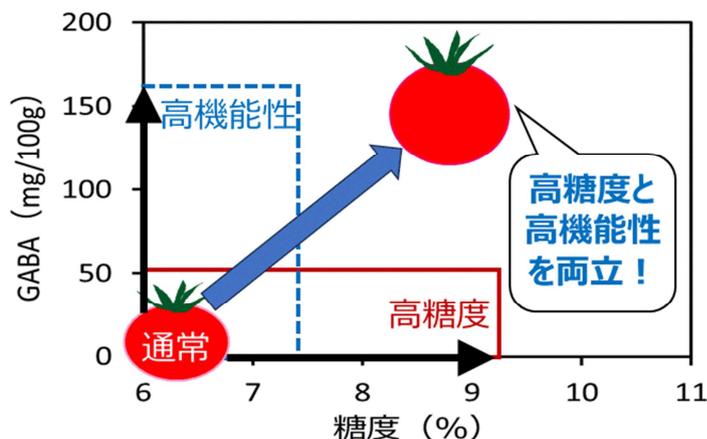


図1 高糖度・高機能性トマト

2 養液栽培システム

高糖度・高機能性トマトの安定栽培には、①給液制限を行い常に水分欠乏の状態にすること、②過度な水分不足が生じる前に給液して過大な水分欠乏を緩和すること、が必要です（図2）。①については静岡県内の大玉品種を用いた高糖度トマト栽培でも活用されているポット式養液栽培法により、②については植物重量を計測して制御する植物重量給液制御装置を用いることにより対応しました。以下にポット式養液栽培法と植物重量給液制御装置について説明します。

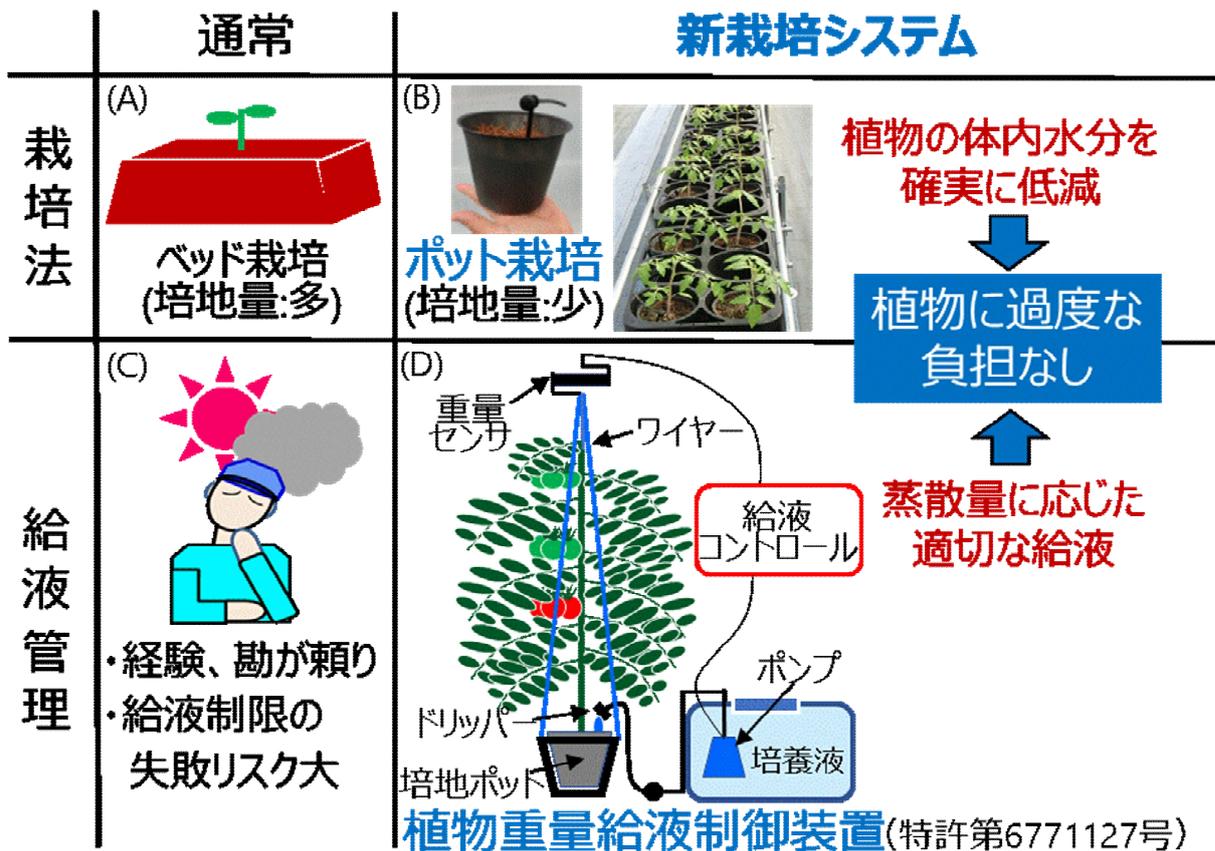


図2 新しい栽培システムの概要

(1) ポット式養液栽培法

少量の培地（ヤシガラ、600 ml）を不織布製ポット（直径 12 cm）に詰め、トマト苗を1株ずつ定植し、各ポットにドリッパーをつけて培養液を点滴給液します（図2B）。1株当たりの培地の保水量が小さく一般的な培地耕に比べて給液後に短時間で培地の含水率が減少するため、確実かつ継続的な水分欠乏が生じ、しかも給液制限に伴う生育のばらつきを防ぐことができます。なお、市販のロックウールキューブやヤシガラの育苗用少量成形培地を利用することでポットへの培地充填作業をなくすこともできます。

(2) 植物重量給液制御装置

植物重量給液制御装置（特許 6771127 号）による自動給液制御の過程、生産者が設定する必要がある設定条件及び植物重量給液制御の特徴について以下に説明します。

ア 装置の構成

装置は以下の3つの機能から構成されています(図2D)。

- ① 重量計測機能：基準となるトマト株(1株~数株)を頭上に設置した重量センサからステンレスワイヤー等で吊り下げて、トマトの植物重量(植物体+培地)を連続計測します。基準となるトマト株の計測は最大10aあたり1か所が望ましいです。また、成育が異なると給液制御も異なるため、定植日が異なる区画毎に1か所以上計測を行います。
- ② コントロール機能：毎日の給液管理において、蒸発散に伴う植物重量の減少程度に応じて給液量や給液タイミングを自動で決定します。
- ③ 培養液供給機能：コントロール部(②)の指示によりポンプを稼働して温室内の全株の培地に培養液を供給します。

イ 給液量と給液タイミングの決定方法

重量センサを用いた植物重量計測に基づき給液量と給液タイミングを自動的に決定するための給液制御方法を図3に示しました。

給液制御の手順は、①~⑥のとおりです。

- ① 重量センサを用いて基準となるトマト株の植物重量(W_x)を1分間隔で測定します。
- ② 給液制御を開始する前に、給液制御開始時刻、給液制御終了時刻、給液開始点(SP)、給液量を自動決定するパラメーターを使用者が設定する必要があります。
- ③ 以下に自動給液制御の手順を記述します。給液制御開始時刻にその日1回目の給液が自動的に行われ、給液終了後に培地とトマト株が水を十分に吸収して、植物重量は最大になります。これを最大植物重量(W_{max})と呼び、その日の給液の基準とします。給液量は前日の最大植物重量からの減少程度より自動的に決定されます(図3)。
- ④ 給液制御終了時刻まで植物重量(W_x)の最大植物重量(W_{max})に対する100分率で表す相対植物重量($R_w=W_x/W_{max} \times 100$)を常時自動計算します。2回目以降の給液タイミングは相対植物重量 R_w が給液開始点(SP)未満に低下した時に自動的に開始します(図3、給液開始点(SP)を95%に設定)。給液量は最大植物重量からの減少程度とパラメーターより自動的に決定されます。
- ⑤ ④を給液制御終了時刻まで繰り返します。
- ⑥ 翌日は③、④を繰り返します。

なお、給液制御の詳細は「うるおい®力持ち」(山本電機株)のマニュアルを参照してください。

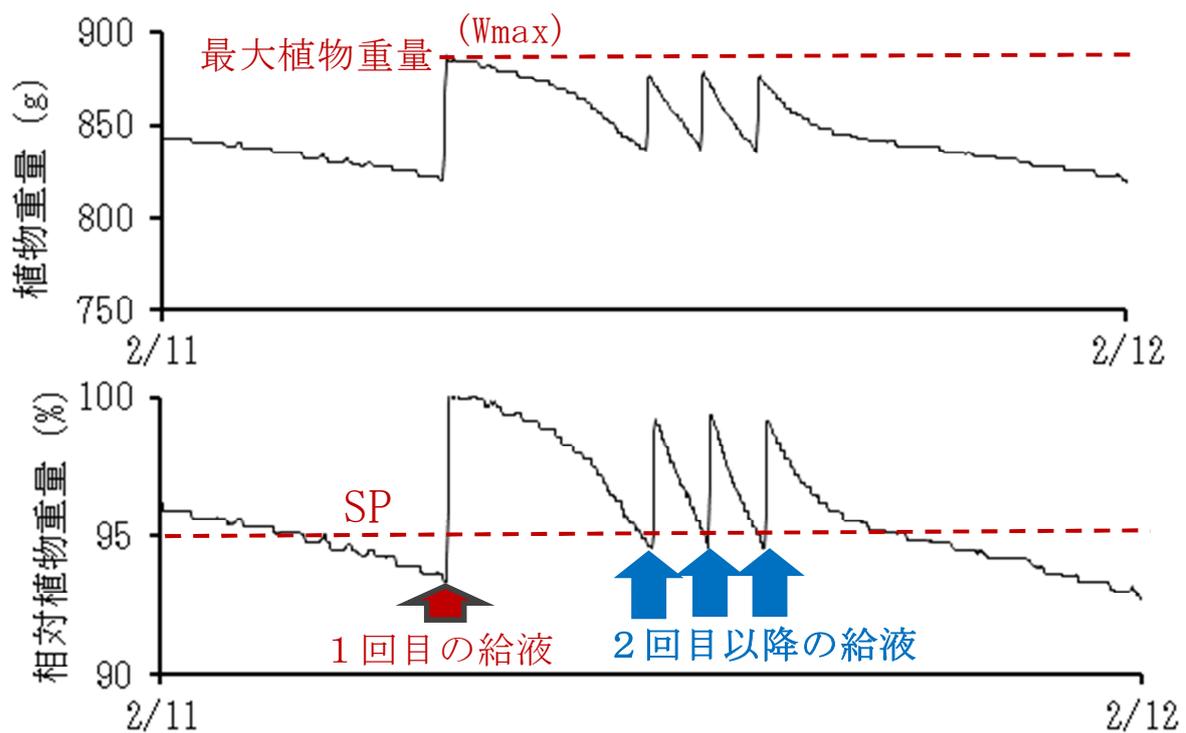


図3 給液開始時刻の給液量の決定方法
(給液開始点 (SP) を 95% に設定した場合)

ウ 植物重量給液制御の特徴

植物重量給液制御は蒸散量による植物重量の減少を測定し、そこから給液量と給液タイミングを自動的に決定しているため、天候の変化に対応して給液量を自動調整しています。晴点日だった2022年2月11日、12日の光合成光子速密度 (PPFD) は日中に大きく (図4上)、給液回数 (図4中央、矢印で給液) と給液量が多く (図4下)、曇天日だった2月10日、13日、14日の光合成光子速密度 (PPFD) は小さく (図4上)、給液回数 (図4中央、矢印で給液) と給液量 (図4下) を自動的に少なくすることが可能です (図4下)。

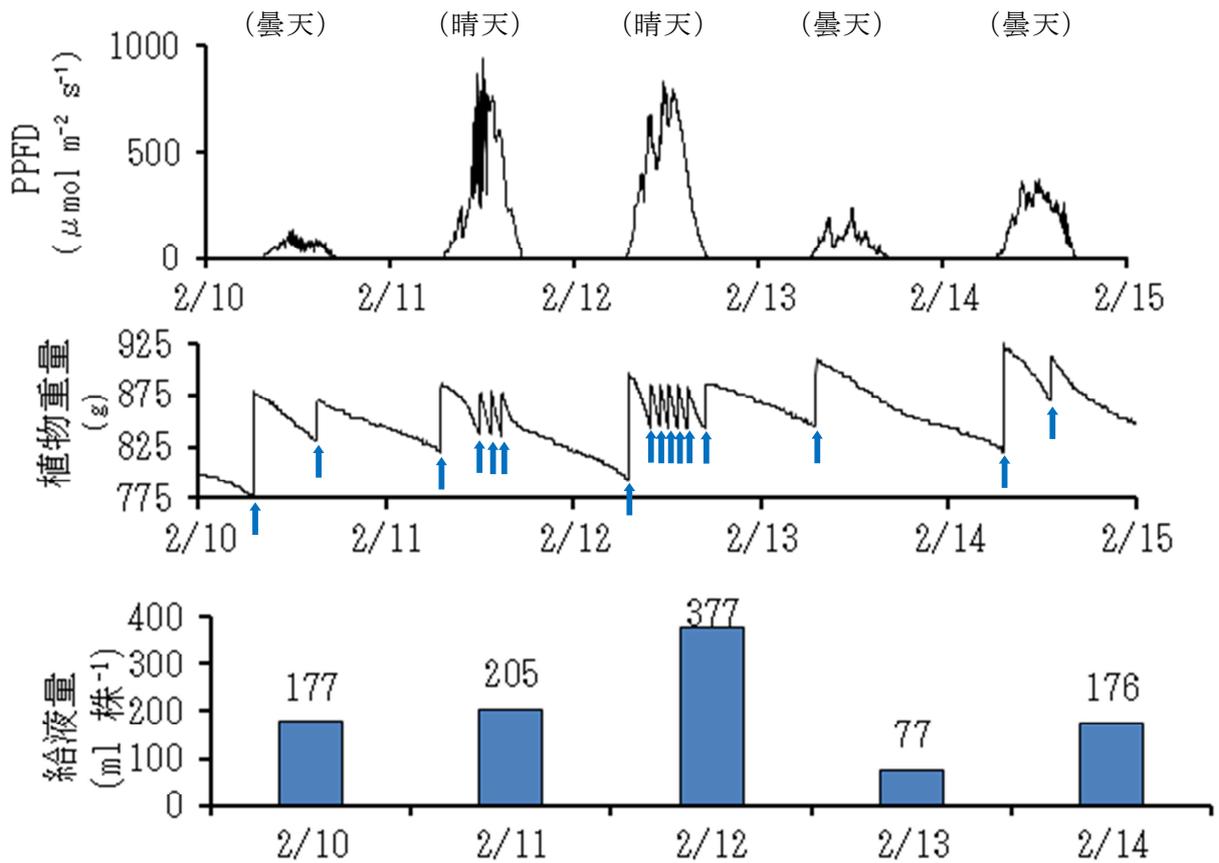


図4 晴天日と曇天日の植物重量、PPFD、給液量の推移

3 果実の収量、品質及び機能性成分

植物重量給液制御装置を用いた高糖度・高機能性トマトの栽培について、タイマー給液を用いて、通常の養液栽培の方式で管理した中玉普通トマトと比較した栽培及び冬春栽培と夏秋栽培の結果を紹介します。試験に用いた温室は高軒高フェンロー温室（軒高：3.0 m、面積：115 m²）、株間 37.6 cm、ベッド幅 170 cm、条間 17 cm（栽植密度は 3.1 株/m²）、培養液は EC4.0 dS m⁻¹、品種：中玉トマト‘シンディースイート’を用いました。

(1) 植物重量給液制御装置を用いた高糖度・高機能性トマトとタイマー給液を用いた中玉普通トマトとの比較

定植は 2022 年 12 月 27 日（3.5 葉期）に行い、9 段階摘心栽培を行いました。中玉普通トマトはタイマー給液で、株間 30cm×ベッド幅 135cm（栽植密度 2.5 株/m²）、ヤシガラのスラブ（ココバグ、トヨタネ）を培地に用い、スラブ 1 つあたり 3 株を定植し、培養液は EC1.4 dS m⁻¹ を用いました。なお、タイマー給液では給液量と給液回数は排液状況、天候及び生育状況を考慮して 1 週間に 1 回以上設定を変更しました。

その結果、9 段階全てを平均すると、トマトの平均一果重はタイマー給液が植物重量給液に比べて大きくなりました。一方、糖度及び GABA 濃度は植物重量給液がタイマー給液に比べて高くなりました（図 5）。また、タイマー給液は天候や植物の成育に応じて頻繁な設定変更が必要でしたが、植物重量給液では蒸散量に応じて自動的に給液が行われるため、ほとんど設定変更は必要

ありませんでした。

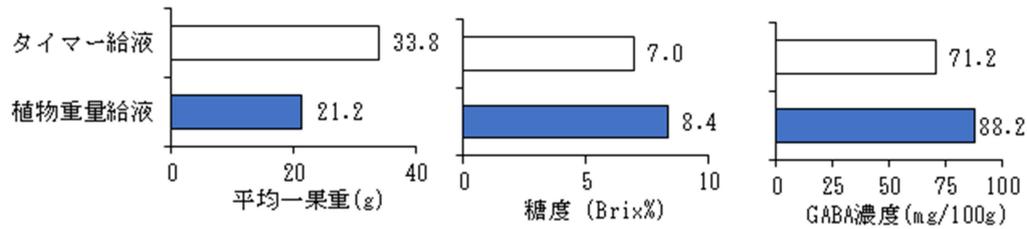


図5 植物重量給液制御とタイマー給液の比較

また、食味試験を行ったところ、総合評価及び甘みにおいて植物重量給液制御で栽培したトマトがタイマー給液に比べて優れていました。

(2) 冬春栽培の概要

定植は2022年12月27日(3.5葉期)、収穫期は2023年3月25日から5月28日、摘心は9段果房でした。定植から4日目まではタイマー給液で十分に給液を行い、定植から5日目以降に植物重量給液制御装置による制御を開始しました。植物重量給液制御装置については、給液時間帯が7:00~17:00、給液開始点は95%に設定しました。

トマト株の草丈は定植直後1月6日の27 cmから4月26日には255 cmまで順調に増加しました(図6)。葉枚数は定植直後1月6日の7枚から4月26日には33枚まで順調に増加しました(図7)。栽培の状況を図8、9に示します。

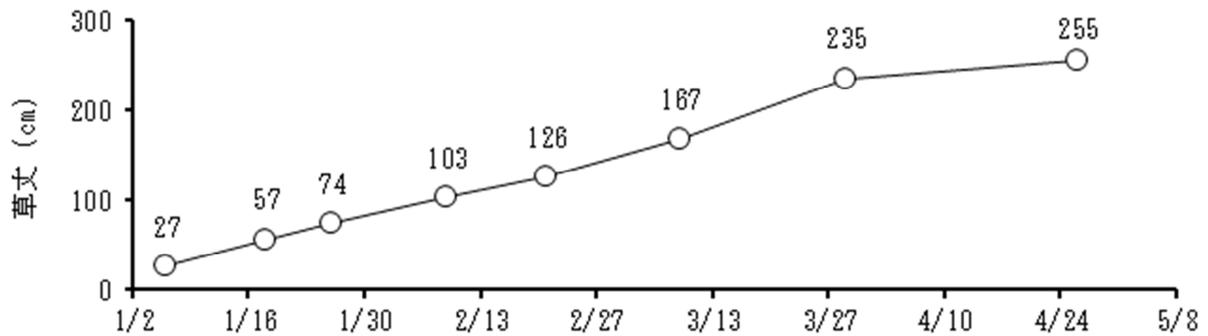


図6 草丈の推移

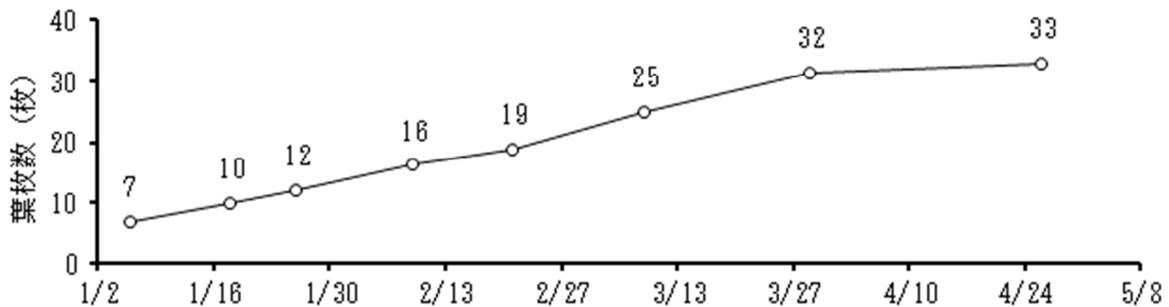


図7 1株あたりの葉枚数の推移



図8 トマトの栽培状況（4月27日）



図9 トマトの収穫直前の果房

給液量は成育に連動して定植直後から増加しました（図10上）。一方、排液率（＝排液量/給液量×100）は定植直後から減少し、2月13日に約25%まで低下しました（図10中央）。また、培地に残存している肥料濃度と密接な関係が見られる排液ECは定植直後から増加し、2月7日に約15 dS m⁻¹まで上昇しました（図10下）。そのため、2月13日以降に給液量を決定するパラメーターを変更して給液量を増やした結果、排液率は増加し、排液ECは5～10dS m⁻¹の範囲で推移しました。

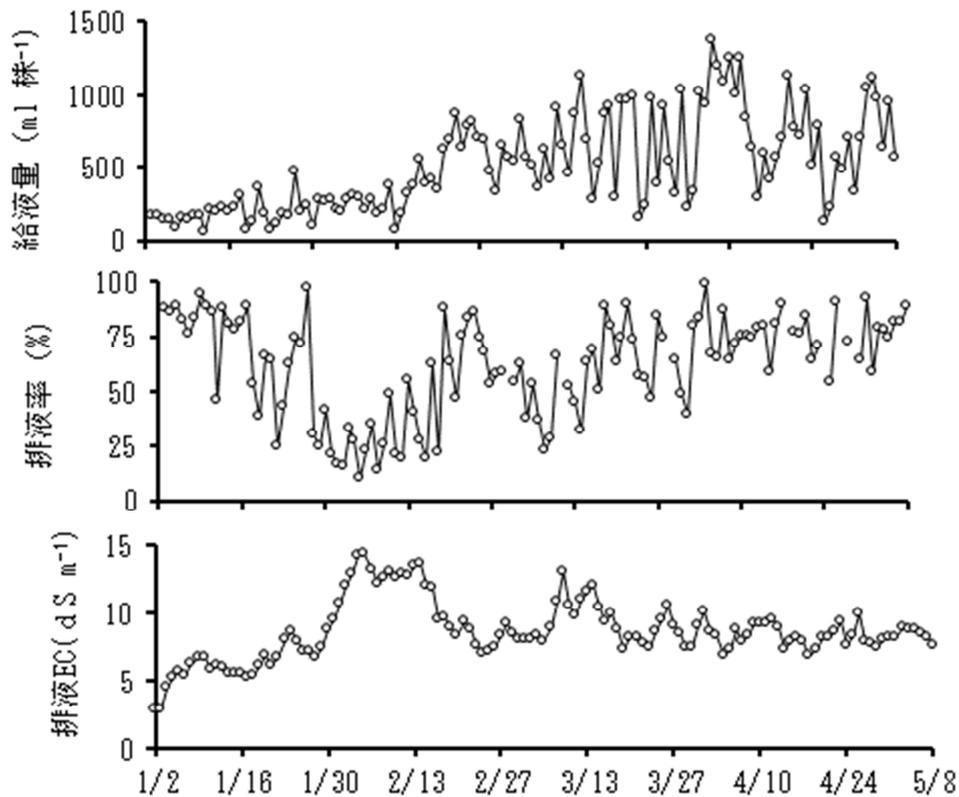


図10 給液量、排液率、排液ECの推移

パラメーターの設定変更により排液 EC を一定の範囲におさめた結果、トマトの平均一果重の果房段数による差はわずかであり、最小 16.3 g から最大 21.3g でした。糖度 (Brix %) も果房段数による差はわずかで、最小 8.7 度から最大 9.7 度でした。GABA 濃度は 3 段果房が 70.9 mg/100gFW でしたが、その他の果房は 80 から 100 mg/100gFW でした。また、可販果収量は 6.0 t/10a でした (図 11)。

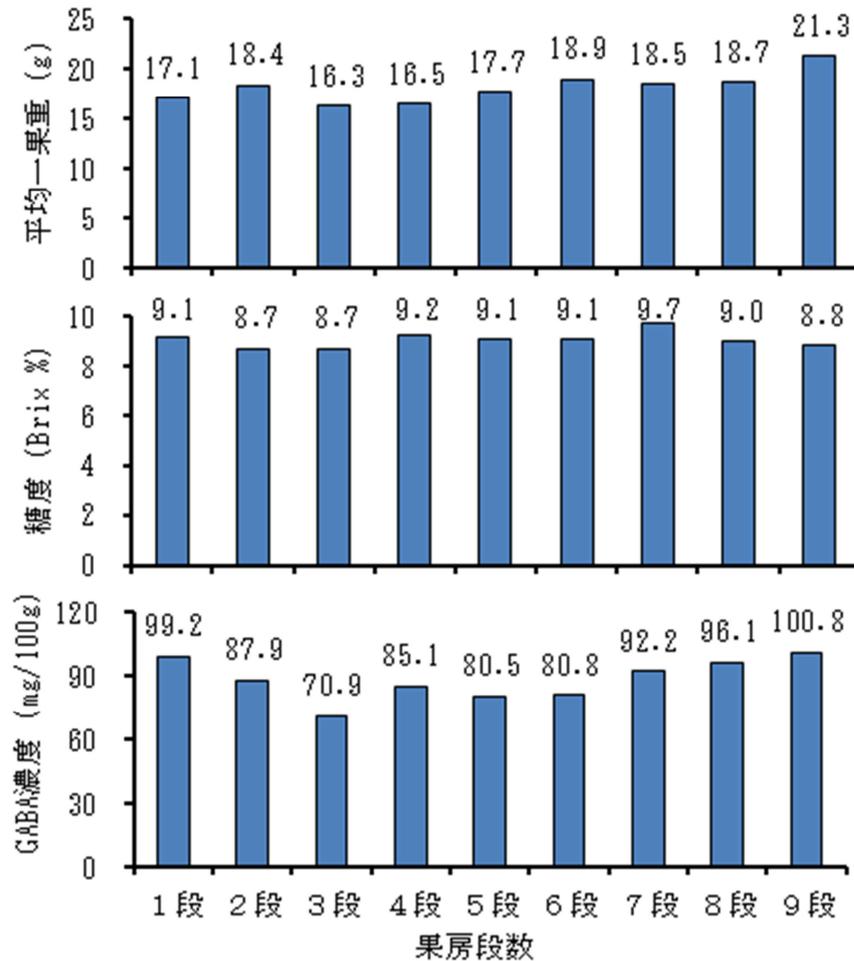


図 11 冬春栽培の収穫果房段数別平均一果重、糖度、GABA 濃度

(3) 夏秋栽培の概要

定植は 2022 年 8 月 8 日 (3.5 葉期)、収穫期は 2022 年 10 月 1 日から 2022 年 12 月 8 日、摘心は 9 段果房でした。植物重量給液制御装置については、給液時間帯が 6:00~18:00、給液開始点は 95% に設定しました。

その結果、トマトの平均一果重は、1 段果房が約 17 g で上段果房ほど減少する傾向が見られました。糖度 (Brix %) は 1 段果房が 7.0 度でしたが、収穫果房の上昇に伴って上昇し、9 段果房は 8.8 度に達しました。GABA 濃度は 1 段果房が 81.2 mg/100gFW で、一番低い 5 段果房は 51.5 mg/100gFW でした。また、可販果収量は 3.2t/10a でした (図 12)。

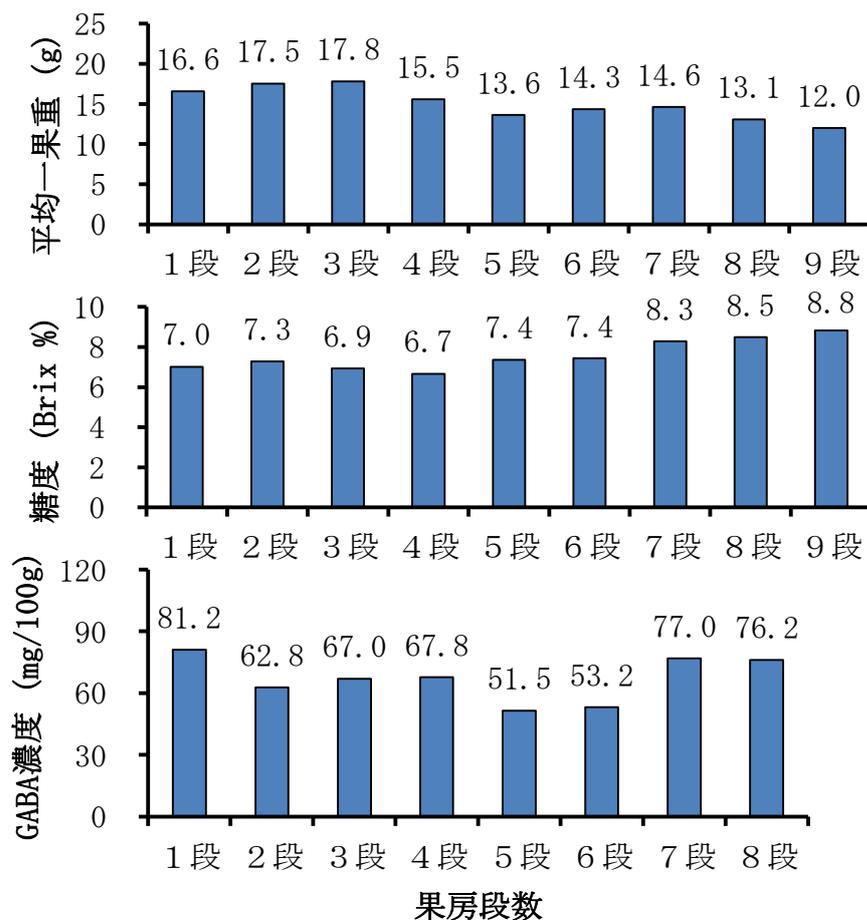


図 12 夏秋栽培の収穫果房段数別平均一果重、糖度、GABA 濃度

(4) 収量、果実品質と機能性表示

冬春栽培と夏秋栽培の結果から、中玉トマト‘シンディースイート’を用いた場合は年 2.5 回の作付けにより、10t/10a 以上の収量が見込まれます。

糖度については、夏秋栽培では一時的に 6, 7 度程度に下がりましたが、それ以外は 7.0 度から 9.7 度の範囲にありました。冬春栽培の糖度は安定して 8.0 度以上になりました。

GABA 濃度については、最低でも 50 mg/100 g FW 以上でした。GABA 濃度の機能性表示の目安は血圧改善が 12.3 mg/日、ストレス緩和が 28.0 mg/日、睡眠改善が 100.0 mg/日です。したがって、本栽培システムの冬春栽培、夏秋栽培のトマトは血圧改善やストレス緩和の基準値をクリアできるレベルであり、本システムにより高糖度・高 GABA トマト生産が可能であることが示されました。

おわりに

ポット栽培と植物重量給液制御装置を組み合わせることで、経験と勘に頼らず、かつ給液制限による失敗リスクを低減しながら、糖度と機能性成分の両立、もしくは販売ニーズに応じた品質コントロールの可能性が示されました。令和 5 年にはこの栽培方法を導入した生産者による機能性表示の届け出が消費者庁に受理され、新たな高付加価値商品が誕生しています。興味を持たれ

た方は当研究所へ御連絡ください。

参考文献

- 1) 大石直記, 今原淳吾, 可児裕規. 2018. 高糖度トマト養液栽培におけるロードセルを用いた植物重量計測に基づく給液制御システムの開発. 植物環境工学, 30: 94-102.
<https://doi.org/10.2525/shita.30.94>.
- 2) 大石直記, 高糖度・高機能性トマト栽培システムの開発と実用化, 2021. バイオテック東海, 86: 63-64.
- 3) 大石直記, 高糖度・高機能性トマト栽培システムの開発と実用化, 2021. ハイドロポニク, 35(1): 32-33.

農林技術研究所 次世代栽培システム科 上席研究員 二俣 翔
主任研究員 大石直記