

トマト・メロン生産における 環境保全型養液土耕栽培システム



農業総合試験場

発刊に当たって

当場の試験研究成果は、愛知県農業総合試験場年報、同研究報告や研究短報などの印刷物のほか普及、行政機関等が作成する資料の中にもいろいろな形で掲載され、その利活用が進められています。

この「農業の新技术」は、当場で開発した試験研究の中から、特に、実用的な技術を取り上げ、体系的にわかりやすく解説した実践的な新技术の手引き書として発刊しているものであります。

本編では、産地から技術の確立とマニュアル化を強く望まれている養液土耕栽培技術について、トマト・メロン主体生産における環境保全型養液土耕栽培システムとその導入効果を中心に解説しました。この冊子が普及、行政、農業団体を始め農業経営士等生産者の方々にも広く利用され、ここに掲載した栽培技術が広く普及することを期待します。

2005年2月

愛知県農業総合試験場長

浅井 靖

目 次

はじめに	1	
トマト・メロンの養液土耕栽培		
1 施設栽培における養液土耕栽培の導入実態	2	
2 養液土耕栽培方式における窒素栄養生理の解析と日施用量調節技術	3	
3 養液土耕栽培方式における効率的土壌水分管理	9	
4 養液土耕栽培に適した培地管理技術と環境保全型新隔離方式の開発	12	
5 好適な受光体勢の維持による高生産性栽培管理技術	16	
6 トマト・メロン主体生産体系における高生産・環境保全型養液土耕栽培 システムの総合組立と環境負荷軽減及び経営評価	18	
養液土耕栽培方式による高生産・環境保全型栽培マニュアル		21
1 促成栽培トマト		
即時制御灌水システムを利用した促成トマト養液土耕栽培	22	
2 半促成栽培トマト		
即時制御灌水システムを利用した半促成トマト養液土耕栽培	24	
3 促成及び半促成栽培トマト		
流量制御点滴灌水施肥システムを利用した促成トマト栽培の施肥、灌水基準	26	
4 夏秋栽培トマト		
夏秋トマト長段栽培（15段）生育ステージ別の施肥・灌水施用技術	28	
5 夏作メロン		
即時制御灌水システムを利用した夏作メロンの養液土耕栽培	30	
6 圃試処方による培養液管理		
培養液組成管理と圧力変換器付きpFセンサを用いる灌水制御	32	
参考文献	33	
あとがき	35	
とりまとめ担当者	36	

はじめに

東海地域は本州中央部の太平洋岸に位置し、多様な野菜生産が発達し、冬春野菜を中心に一大供給基地となっている。なかでも温暖、多日照な気候資源を利用した施設野菜生産は日本の施設園芸をリードしてきた。しかしながら、近年、野菜栽培における硝酸性窒素を主とする施用肥料の系外への流出・排出等の環境負荷が増大傾向にあり、その低減化が社会的に緊急且つ重要な課題となっている。また、消費者からは農薬を始め、種々の化学物質、病原微生物から生産物を守り、安心して食べることができる安全な野菜の供給が強く求められている。

一方、多大な労力を要する施設野菜生産にあっては、農業従事者の高齢化と、他産業への就職機会が多い地域事情によって担い手不足が深刻化しており、高生産性の維持が可能な持続的生産技術の確立が強く求められている。

そこで、愛知県を主査県とし、神奈川県、三重県、静岡県が参画する研究体制で平成11年から15年まで以下の試験を実施した。

施設野菜の個体群栄養生理に基づいて愛知県、神奈川県はトマト、メロン、キュウリ生産における高生産・環境保全型養液土耕システムを確立する。三重県はトマトの養液栽培において新培地による環境負荷軽減型養液栽培システムを開発する。静岡県は野菜の土耕栽培において根圏微生物の活用による環境保全型施肥、土壌病害制御技術を開発する。そして各県が開発した個々の技術を総括し、施設野菜生産における高生産・環境保全型栽培システムのマニュアルを策定するものである。

本冊子は愛知県が分担した「トマト・メロン主体生産体系における高生産・環境保全型養液土耕栽培システムの確立」について取りまとめたものである。その内容は、産地から強く望まれている施肥量の節減と節水効果が期待でき、設備導入に要する初期投資が比較的少ない養液土耕栽培技術の確立と実用化に関するもので、現地における慣行施設栽培の施肥灌水管理及び養液土耕栽培の導入実態、 トマト・メロン主体生産体系における高生産・環境保全型養液土耕栽培システムの技術開発、 このシステムの総合組立と環境負荷軽減及び経営評価からなっている。ここで、開発されたそれぞれの技術が本県の施設野菜の高品質・安定生産と環境保全型農業の発展に役立つと期待している。

トマト・メロンの養液土耕栽培

1. 施設栽培における養液土耕栽培の導入実態

(1) 養液土耕栽培導入の背景

施設栽培では降水が遮断されるため、灌水時以外は水分の上昇移動の方が大きくなり、肥料成分の下方移動より表層への集積の方が大きくなることや栽培管理の集約化や作付け期間の長期化にともなって施肥量は露地畑に比べて多いことが特徴的である。当然、施設土壌ではカルシウム、マグネシウム、カリなどの塩基類や、作物吸収量が比較的少なく土壌中での移動が少ないリン酸が過剰に集積したり、肥料成分間のイオンバランスが悪くなりやすい環境におかれている。また、土壌pHの不適正化が原因で微量元素等の可給化に及ぼす悪影響が露地畑よりも大きく、生育障害をもたらす危険性が高い。そのため、施設土壌では養分欠乏が原因で欠乏症が出ることは極めてまれで、塩類濃度が高くて根からの養分吸収が出来ない場合や、他の養分とのアンバランスが原因で欠乏症がでることが多くなる。

近年、施設果菜類や花き栽培で注目されている養液土耕栽培は、土壌の本来持っている機能を最大限利用しながら、作物の生育に必要な養分と水を必要量だけ必要な時間に与えるもので、施設土壌が最も陥りやすい塩類集積を回避できるため、土壌に付加の少ない栽培法といえる。

(2) 慣行施設栽培の施肥・灌水管理及び養液土耕栽培の導入実態

愛知県のトマト・メロン慣行栽培における、先進的農業者並びに既に養液土耕栽培方式を取り入れている農家の施肥管理及び灌水管理の実態を調査し、生産技術上の問題点や技術の普及定着条件を明らかにするため現地での実態調査を行った。

1) 促成トマト栽培の灌水実態については、地床栽培では冬季12月から2月にかけて2週間に1回程度しか灌水が行われておらず、地下水位の高い地域での養液土耕栽培導入は難しいと考えられた。一方、隔離床栽培では1株当たり寡日照期間は50ml、3月以降では800~1000mlの灌水が毎日行われていた。養液土耕栽培農家では、ほ場によって施肥量、灌水量に差があり、作付け前の土壌条件の影響が大きいと考えられた。調査事例では、灌水や施肥は生産者の経験に基づいた草姿に近づけるように生産者自身が調節していた(表1)。

表1 トマト栽培における養液土耕作栽培の導入事例

導入農家	品 種	定植	収穫期間	栽植密度	経営面積	養液土耕 導入	窒素施用量	かん水量
				株/10a	a	a	g/株	L/株
A農家	スーパーファースト	10月22日	2月24日~ 5月上旬	2,760	43	6.3	2.7	41.7
B農家	ファーストブルー	10月20日	2月8日~ 5月上旬	2,670	26	26	11.2	82.1

2) 夏秋トマト産地の連作ハウスでは土壌の塩基、リン酸等養分富化が顕著であったが、比較的新しいハウスでは概ね適正であった。加里についてはハウスにより過剰集積、不足ほ場が混在した。また、灌水に要する時間が多いため、灌水作業の省力化が強く求められていた。山間地帯では水田立地のハウスが多いため、排水が不良で暗渠の施工が必要なほ場が多く認められた。

3) 尾張地域のメロン慣行栽培農家における灌水管理について調査したところ、1日1株当たり約1.2Lの灌水が行われ、天候による調整がこまめに行われていた。

4) 渥美地域の有機物が施用してあるほ場における春から夏に向かう作型のメロン栽培では、

地力窒素からの窒素の供給が期待でき、前作（トマト）の窒素残存量も多いことから、施肥量は少量であった（表2）。

ほ場	窒素供給源				計	作物体 吸収量	収穫果重 g/個
	作付け前	肥料	残存量+ 発現量	灌水			
Nほ場	3.6	1.4	7.4	0.4	12.8	8.4	1,783
Sほ場	6.0	3.8	6.7	0.1	16.6	9.9	1,668

2. 養液土耕栽培方式における窒素栄養生理の解析と日施用量調節技術

(1) 窒素等の生育ステージ別吸収特性の解明と窒素日施用量調節方式による栄養管理技術の確立

養液土耕は作物が必要とする量の液肥と水を作物が必要とする時に点滴チューブを使って供給する栽培法である。本試験では作物に対する適正な窒素の日施用量を決定するのに、栄養診断の指標となる葉柄中の硝酸イオン濃度、葉色、生育、収量、品質面などから総合的に検討した。

(メロン)

1) メロンの窒素施用量は5.5g/株程度が適切で、この値は窒素吸収量とも一致した。窒素吸収量は果実肥大期に非常に大きく、受粉30日後を過ぎるとわずかであった。果実肥大期に十分な窒素施用を行っていれば受粉から30~40日後に窒素施用をうち切っても品質は変わらず、作付け終了後の窒素残存を減らした栽培が可能となった(図1)。

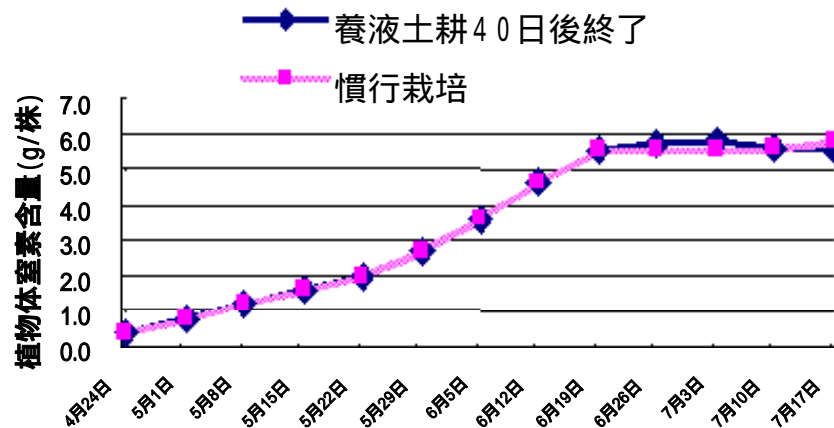


図1 7月収穫メロンの植物体窒素含量

2) 7月下旬収穫メロン栽培において日窒素施用量40mg(初期)、80~100mg(果実肥大期~)、50mg(2次肥大期~ネット形成)で、灌水方法は当场で開発した圧力変換器付pFセンサーと制御器を用いた点滴灌水法(即時制御灌水法)で行った。設定pF値は定植から14日間1.6、受粉期まで2.0、果実肥大期2.4、収穫前2週間を2.6とし、灌水時間帯を8~16時、灌水時間を1回2~4分(株当たり200ml)、休止時間を30分とした。慣行の約70%の施肥量で慣行と同等の果実が得られた。また、日灌水量は当日の気象条件に対応した変動を示し、総灌水量はタイマー制御灌水に比較して節水できた(図2)。

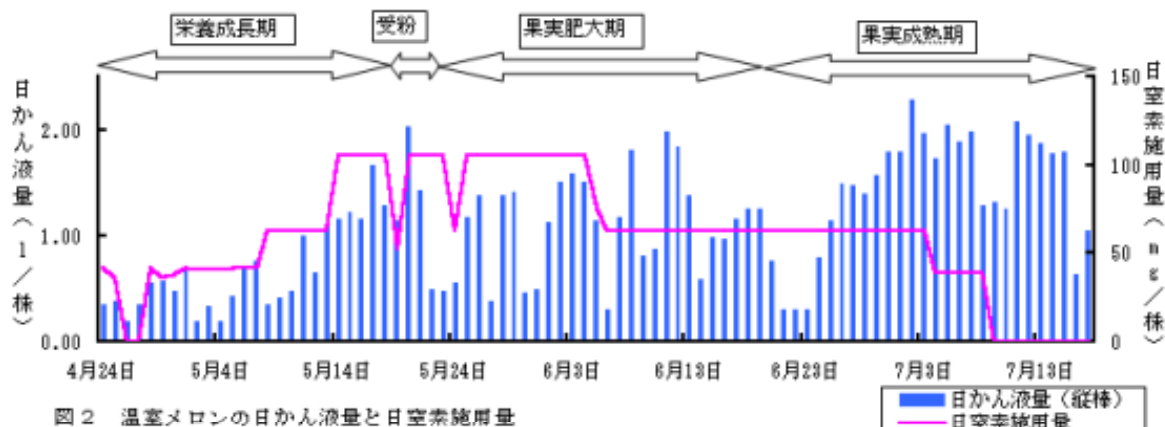


図2 温室メロンの日かん液量と日窒素施用量

3) 従来の有機肥料を用いる施肥法及び養液土耕栽培で堆肥施用の有無のメロンの収量、品質に及ぼす影響は、果実重は堆肥連用土壌での養液土耕栽培が最も重く、外観は有機肥料栽培が優れる傾向であった。また、糖度や、アスコルビン酸含量に大きな差は認められなかった(表3)。

表3 施肥窒素の種類及び施用方式の違いがメロン品質に及ぼす影響

試験区	施肥量 (窒素) g/株	果重 kg	同比	ネ ッ ト *1			糖度 (brix)		アスコル ビン酸 mg/L
				太さ	密度	盛り上り	頂部	基部	
有機肥料	5+4	1.48	(100)	3.6	3.8	4.0	15.7	11.7	236
養液土耕 *2	5.6	1.40	(95)	3.1	3.4	3.1	16.3	11.1	259
養液土耕 *3	5.6	1.58	(107)	3.4	3.8	3.3	15.7	12.3	260

注:*1秀(5)~不良(1) *2堆肥無施用 *3堆肥連用土壌

4) メロンについては結果枝近傍の葉の葉柄中硝酸イオン濃度を指標とする診断基準(平成11成果情報参照)を明らかにしたが、生育が非常に早いために実際の対応が難しい。そこで、窒素吸収量を参考にして果実肥大期までに充分量の施肥を行い、肥大が終了する受粉40日後には窒素施用を終了させた。この方法で充分な収穫物を得るとともに、施肥量の3割削減と作付け後の窒素残存量を減少をさせることができた。

(促成栽培トマト)

1) 新規隔離床における促成トマトは、窒素施用量を慣行の70%を目途に1株当たりの窒素日施用量を初期50mg、中期以降80mgで実施したところ、慣行区に比べて収量、品質とも同等かそれ以上になった。リアルタイム診断の結果から、初期窒素はさらに減少できる可能性が示された。一方、連続栽培ほ場の地床の促成トマトでは、1株当たりの日窒素施用量は初期10mg、中期以降は50mgが良いことが示された。

2) 栄養診断の指標となる葉柄の硝酸イオン濃度は、養液土耕栽培では生育初期から低濃度で推移する傾向があり、3段花房開花期から着果期にかけて養分供給量を多くする必要性が示唆された。

3) ファースト型品種及び完熟系品種の促成トマト栽培に、葉柄の硝酸イオン濃度を指標とした診断基準に沿って栽培した場合、双方ともに窒素施用量が7g/株程度の時に収量と糖度の評価が高かった。

4) 葉柄の硝酸イオン濃度が収穫中期まで約3000ppmで維持された場合、最上段果房の肥大がほぼ止まる定植150日頃に窒素施用を終了し、収穫終了(180日頃)までは灌水のみで栽培したと

ころ品質・収量に影響はなく、165日まで窒素施用を続けた場合よりも5%程度の施用量削減ができた。

(半促成栽培トマト)

1) 地床の半促成トマトの好適窒素日施用量は第3果房開花から第6果房開花まで最大150~200mg/株、総窒素施用量は7.0g/株程度と判定された。

(夏秋栽培トマト)

1) 夏秋トマト長段栽培では、窒素日施用量は180~220mg/株が好適と判断され、慣行と比べの70%のN施用量でも収量は同等以上となった。しかし、糖度等の品質は低下する傾向が認められた。

2) 着果負担の大きい3~5果房着果期の日窒素施用量は株当たり180~200mgが必要で、それ以降150mgの窒素施用が適切であった(図4、表4)。

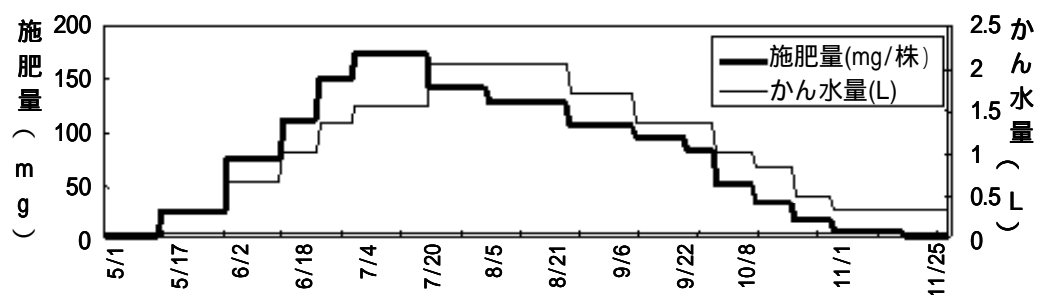


図4 モデル区における1日当たりの施肥・かん水量(株)

表4 施肥・かん水管理と収量及び品質

	総収量(kg/株)				良品収量(kg/株)			
	果数	重量(前期 中期 後期)			果数	重量(前期 中期 後期)		
モデル	46.3	9.31 (3.46 2.61 3.24)			41.9	8.59 (3.10 2.32 3.17)		
削減	43.5	8.61 (3.09 2.91 3.33)			38.3	7.75 (2.67 1.91 3.16)		
慣行	42.5	8.26 (3.50 1.91 2.85)			36.8	7.22 (3.02 1.66 2.53)		

前期：1~5段果房、中期：6~10段果房、後期：11~15段果房

3) 夏秋栽培では生育が早く、栄養生長と生殖生長が同時に進行する期間が長いため、葉柄の硝酸イオン濃度は4000~5000ppmに保つ方が良い(図5)。

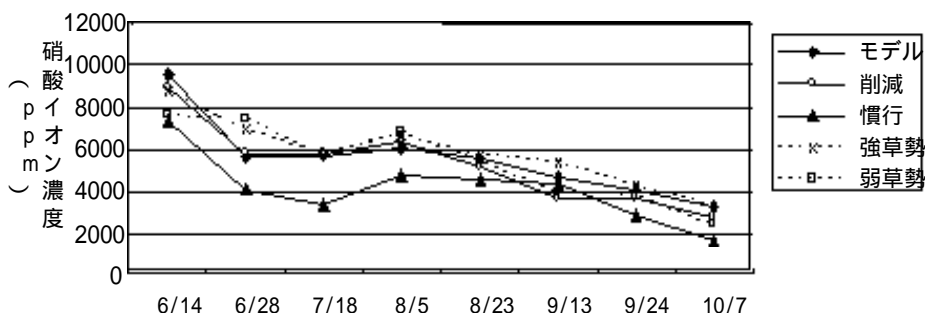


図5 葉柄搾汁液の硝酸イオン濃度の時期別変化

強草勢、弱草勢：同一施設内で栽培中の500株中、最も草勢の強い(or弱い)10株について濃度を測定

(2) リアルタイム栄養診断による体内窒素・カリ濃度基準の策定

窒素栄養診断基準

養液土耕栽培では、1日に与える窒素量が少なく、土壤中の硝酸イオン濃度が低く推移するため、土壌溶液や生土容積抽出法による土壌診断からの窒素日施用量を決めることは難しい。そこで反射式光度計（RQフレックス）を用いた葉柄汁の硝酸イオン濃度を指標とする診断指標を策定した。

栄養診断に適した部位については、図6に示すように根に近いほど葉柄汁液中の硝酸イオン濃度は高く、上位は低濃度になっている。しかし、着果部を見ると、肥大期果実の直下葉（の部位）の葉柄汁液の硝酸イオン濃度は低い。この部位は硝酸イオンの吸収量も多いが、同化産物の合成（果実肥大）に利用される量も多いと考えられる。したがって、この部位の硝酸イオン濃度を適正に維持することが重要と判断できる。また、一枚の複葉についても先端と基部では硝酸イオン濃度は大きな開きがある。そこで、診断部位を決定しておかないと、データの比較ができないので、肥大期果実（ピンポン玉）の直下葉の中位にある小葉の葉柄を診断部位に決定し、測定時刻は晴天日の昼前後とした。

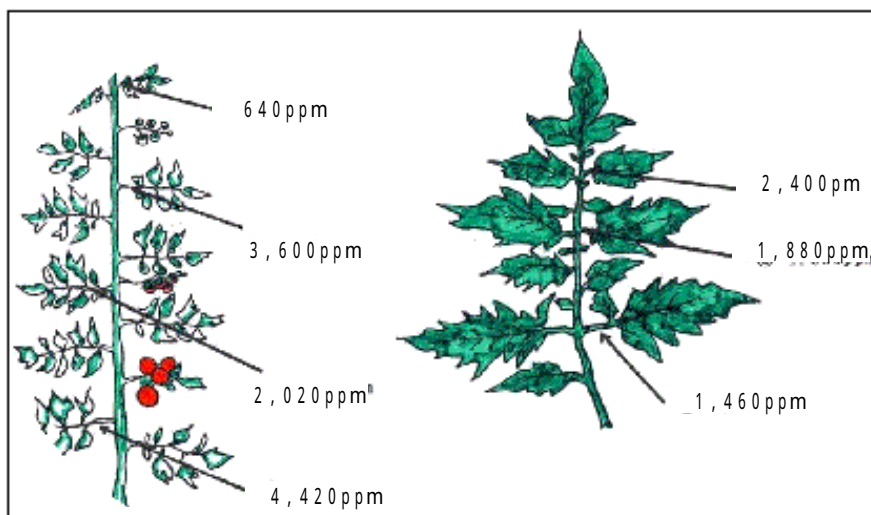


図6 葉柄の採取部位と汁液中の硝酸イオン濃度関係

(メロン)

1) メロンのリアルタイム栄養診断では、葉柄汁液の硝酸イオン濃度の基準として開花期では2,000~3,000ppm、果実肥大期は4,000~5,000ppm、ネット形成期から成熟期は2,000~3,000ppm、収穫期は1,000ppmの目安ができた。

2) メロンの葉柄汁液のサンプリング方法を検討したところ、時刻や天候（日射量）で大きく値が変化することが明確になった。採取時刻や診断部位について一定の取り決めをする必要があると考えられた。

(トマト)

1) トマトでは、葉柄汁液中の硝酸イオン濃度は初期に5,000~6,000ppmを維持していても、第3花房開花期に1,000ppmには低下した。また、別の試験では第3花房開花まで7,000~8,000ppmとやや過剰であったが、第3花房果実がピンポン玉の大きさになった時点では2,500~3,000ppm程にまで低下した。汁液の硝酸イオン濃度が急激に低下すると、回復させるのにはかなりの高濃

度の培養液が必要となるため、この時期に硝酸イオン濃度を下げないようにする施肥が重要になる(図7)。

2) 養液土耕栽培時のトマトに適切に肥料を施用するためには、リアルタイム施肥診断法として、生育期間を5期に区分し、期別ごとに栄養診断を行い、その結果に応じて窒素施用量を調節できるように、促成栽培、半促成栽培についての葉柄汁液の硝酸イオン濃度の基準表(表5)を作成した。ただし、第3花房開花期頃から急激に硝酸イオン濃度が低下するため、予め施用窒素量を多くする等の留意点が明らかとなった。

3) 診断指標は完熟系「ハウス桃太郎」で作成したが、ファースト型にも適応できる。

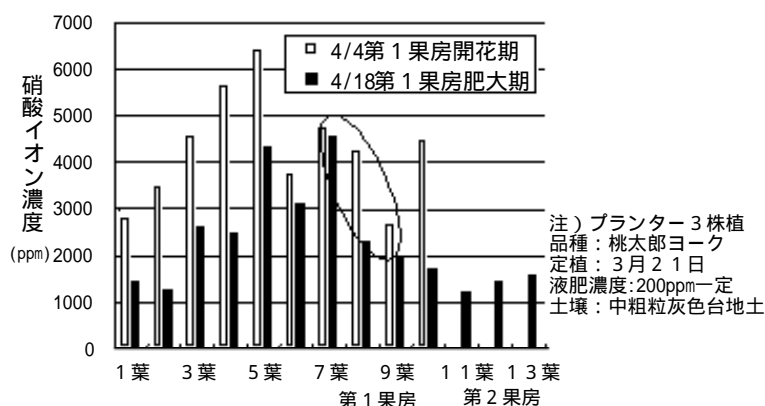


図7 葉位別葉柄汁液中硝酸イオン濃度

表5 葉柄汁液中硝酸イオン濃度の診断指標

生育ステージ	葉柄汁液中硝酸イオン濃度	診断部位	液肥濃度(参考)
半促成トマト(6段摘心・3月中旬定植)			
定植～第1果房開花期	3000～4000ppm	第1果房直下葉の小葉柄	0～100ppm
第1～第3果房開花期	2000～3000ppm	第1果房直下葉の小葉柄	200～400ppm
第3果房開花期～摘心期	2000～3000ppm	ピンボン玉大の果房直下葉の小葉柄	200～400ppm
摘心期以降	1000～2000ppm	ピンボン玉大の果房直下葉の小葉柄	100～200ppm
第6果房収穫期	1000ppm以下	第6果房直下葉の小葉柄	100ppm以下
促成トマト(6段摘心・9月下旬定植)			
定植～第1果房開花期	3000～4000ppm	第1果房直下葉の小葉柄	0～300ppm
第1～第3果房開花期	2000～3000ppm	第1果房直下葉の小葉柄	300～400ppm
第3果房開花期～摘心期	3000～4000ppm	ピンボン玉大の果房直下葉の小葉柄	400～600ppm
摘心期以降	2000～3000ppm	ピンボン玉大の果房直下葉の小葉柄	100～300ppm
第6果房収穫期	1000ppm以下	第6果房直下葉の小葉柄	100ppm以下

注) サンプルングは晴れの日の午後1時から2時の間に行う。
葉柄と蒸留水を乳鉢に入れ摩砕して得られた葉柄汁液を反射式光度計にて測定
液肥濃度は高濃度区の一事例、所定の濃度の液肥を200ml/日・株当たり施用

カリ栄養診断基準

果菜類では、カリウムが窒素と同様に多く吸収される。そこで、窒素の栄養診断時にコンパクトイオンメーターを用いて葉柄汁液中のカリウムイオン濃度を測定し、生育、収量、品質との関連からカリウムイオンの最適体内濃度を求め、栄養診断指標としての実用性を検討した。

1) 促成トマトでは、カリウム施用量を標準施肥区の半量に減らして栽培すると、第2花房果実肥大期から葉柄のカリウムイオン濃度に差が現れ(図8)、第3花房果実肥大期から葉にカリウム欠乏症状が発生し、第2花房より上位の収穫果実にもカリウム欠乏症と見られる着色不良果が発生した(表6)。葉柄中カリウムイオン濃度は、第3花房果実肥大期まで5,000ppm以上、そ

れ以降4,000ppm以上必要であると考えられた。

2)メロンでは、カリウム施用量を標準施肥区の半量に減らして栽培すると、定植3週間後から葉柄中カリウムイオン濃度に差が現れた(図9)。半量施肥区は葉の大きさや結果枝の長さが標準施肥区より劣ったが、収量、品質は標準施肥区とほとんど差がなく、診断指標は作成できなかった(表7)。

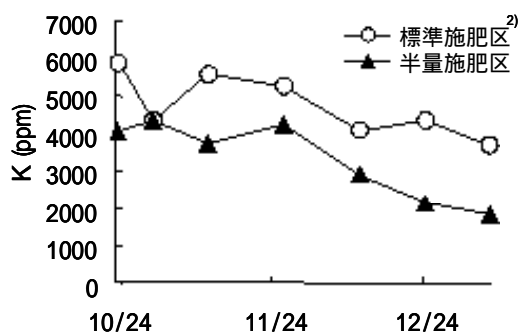


図8 促成トマトの葉柄中カリウムイオン濃度の推移

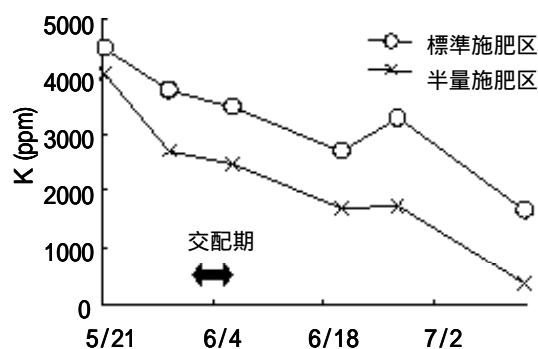


図9 メロンの葉柄中カリウムイオン濃度の推移

注1)品種:桃太郎ヨーク、定植:9月24日、6段階摘心栽培
 2)標準施肥区の株当たり 日カリウム施用量は10/5 ~ 10/23:32mg,10/24~12/6:94mg,12/7~12/16:47mg, 12/17~1/2:32mg,1/3~1/9:16mg,株当たり合計施用量は6.3g、半量施肥区の株当たり合計カリウム施用量は2.8g

注1)品種:アールスメロン2号、定植:5月7日、収穫:7月28~30日
 2)標準施肥区の株当たり 日カリウム施用量は5/11~5/28:62mg,5/29~6/25:125mg,6/2~:0mg,株当たり合計施用量は5.0g、半量施肥区は同2.5g

表6 トマトの収量・品質調査結果

	良果収量 ¹⁾ 着色不良果 収量 ^{1,2)}	果実糖度			
		第1花房	第3花房	第5花房	
	kg	kg	Brix %	Brix %	Brix %
標準施肥区	24.7	0.0	5.7	5.1	6.9
半量施肥区	26.4	3.2	5.4	4.9	6.0

注1) 収量は10株の合計値

2) 成熟期にへたの周囲が未成熟の果実を着色不良果とした。

表7 メロンの生育・収量調査結果

	天葉		果重	果径		結果枝長	ネット		糖度
	長さ	幅		縦	横		密度 ¹⁾	盛り ¹⁾	
	mm	mm	g	mm	mm	mm			Brix %
標準施肥区	307	295	1665	150	144	179	3.8	4.4	15.1
半量施肥区	283	287	1616	149	142	156	3.8	4.1	14.4

注1) 5(秀)~1(劣)の5段階評価とした。

(3) 地力窒素発現量の簡易評価法

適正な窒素施用量を判断するためには、あらかじめ地力窒素発現量を予測する必要がある。培養法による地力窒素発現予測には時間を要するため、簡易な評価法を検討した。その結果、細粒黄色土、灰色低地土、及び砂壤土の0.5N硫酸抽出液中の窒素量と培養法による地力窒素発現量との間に相関が見られた(回帰式 $y=1.21x+1.76$, x:培養法による地力窒素発現量, y:0.5N硫酸抽出液中窒素量、 $R^2=0.8855$)(図10)。

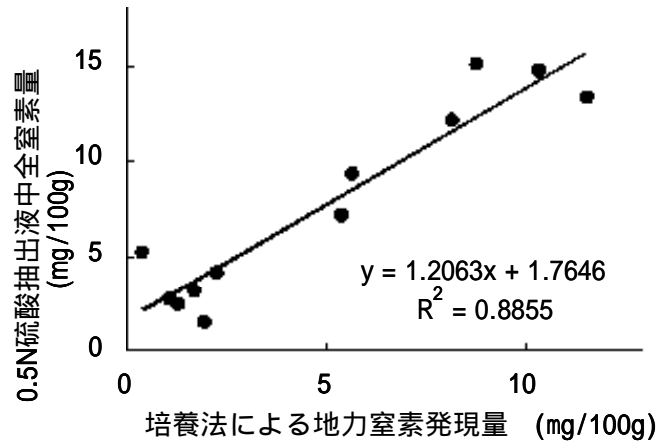


図10 地力窒素発現量の簡易評価法と培養法との比較

3. 養液土耕栽培方式における効率的な土壌水分管理

養液土耕での省力的で効率的な水分管理を行うために、溶脱空気の発生量が少なく精度の良いテンシオメータを開発し、電圧制御の灌水制御装置と組み合わせて即時制御灌水（少量多頻度灌水）装置を開発した。少量灌水による均一生産のためには灌水の均一性が不可欠であることから、点滴チューブからの吐出量について調査するとともに、本装置を利用してトマト、メロン栽培の省力化と高品質多収量を目指す試験を実施した。

(1) 点滴かん水方式における効率的なかん水管理技術

1) 数種類の灌水チューブについて吐出特性を調査した結果、硬質タイプで調整機能付き点滴チューブは、一定圧力下では20cm程度の高低差があってもほぼ均一に吐出でき、圧を下げた直後に吐出が止まることが確認できた。

2) 点滴灌水方式において1.7~1.8kgのメロン果実を収穫するのに必要な果実肥大期の土壌水分は、地表から20cmの深さにおいて、35~40%程度の範囲以内に維持する必要があった。

また、栽培方式の違いでは、養液土耕区の方が慣行区より外観評価が優れ、糖度については即時制御灌水法で、少量の水を多頻度に灌水した方が高くなった。

3) 促成トマト栽培で、粗孔隙が大きく浸透係数の大きな砂壤土（SL）のほ場では1回の灌水量を株当たり100mlとして1日に4~6回の設定で灌水を行ったところ、水の横浸潤域が非常に狭く、根域も狭いため草勢を保つことは難しく、さらに少量多頻度灌水の必要があった。収量（可販果収量）は5段階摘心で1株当たり3.2kgであったが、裂果や裂皮も多かった。

4) 埴壤土（CL）でのほ場では6段階摘心で、1株当たりの可販果収量は慣行では3.8kg（秀品2.9kg）、養液土耕で毎朝1回灌水区では3.7kg（秀品3.2kg）であった。養液土耕で同量の灌水量を朝2回、午後1回に分けて灌水した区は、1日の土壌水分率の値の変化が小さく、可販果収量は4.3kg（秀品3.7kg）と最も高かった。収穫後の調査では水が良く横に広がっており、根群もほぼベット全体に広がっていた。

5) 灌水方法の違いが土壌水分に及ぼす影響を調査した結果、同じ灌水量でも点滴灌水チューブの方が慣行のポリチューブによる灌水より土壌水分率が高くなった。慣行のポリチューブから少量多数回灌水の可能な点滴チューブに代えることにより約25%の節水が可能と考えられた。

(2) 水分センサー利用による節水型土壌水分制御技術

1) 溶脱空気の発生量が少なく精度の良いテンシオメータを開発した。pF 2.95まで±2%以

下の誤差で測定でき、溶脱空気の発生量は従来の1/100となった。また、TDR土壌水計、圧力センサー付き土壌水分張力計、電圧制御の灌水制御装置を開発した。

2) 灌水開始に2系統24時間タイマーを用い、灌水終了を流量制御により試作した点滴灌水施肥装置は、安価で操作が簡便で灌水及び施肥の精度が高く、コンパクトであることから普及性が高いと思われた。

3) 上記のテンシオメータと専用水分制御器を利用してメロン栽培で自動灌水を行った。初期pF1.6、生育期2.0、果実肥大期以降2.4、収穫期は2.6で管理した。タイマー灌水では6月中に22回の灌水回数変更を行ったが、自動灌水法では変更回数0回で、果実重1.8~1.9kg、糖度15度の果実が収穫できた。

4) 8月収穫メロン栽培において、灌水制御法を検討した。圧力変換器付きpF計と制御器使用、電気接点付きpF計とタイマー使用、タイマーのみ使用の3つの方法について比較したところ、圧力変換器付きpF計を使った区では曇雨天での灌水の調節が自動的にでき、最も玉伸びがよく、糖度が15.5度であった(表8, 9, 10, 図11, 12, 13, 14)。

表8 即時制御の設定方法と試験区

即時制御の設定	8~16時の間にセンサのpF値が以下の値を超えた時に灌水し、灌水後は30分の休止時間をおいた後再びセンシングを開始する。
即時制御pF値	定植~14日pF1.6、14~35日pF2.0、35~72日pF2.4、72~収穫日pF2.6
即時制御100ml区	上記の設定で1回1株当たり100mlの灌水
即時制御200ml区	上記の設定で1回1株当たり200mlの灌水
タイマ灌水区	1回1株当たり400mlの灌水を1~4回タイマで設定し天候で回数調節
慣行栽培区	朝1株当たり500ml~2000mlの灌水を天候に合わせて量を調節

表9 栽培期間中の総灌水量

即時制御100ml区	株当たり68L
即時制御200ml区	株当たり68L
タイマ灌水区	株当たり68L
慣行栽培区	株当たり79L

表10 収穫したメロン果実の評価

試験区	重さg	縦径/横径	ネット密度	ネット盛り	果形	糖度(Brix)
即時制御100ml区	1,496	1.1	4.1	4.5	4.5	14.9
即時制御200ml区	1,504	1.1	4.4	4.3	4.5	14.3
タイマ灌水区	1,561	1.0	4.6	4.3	4.7	14.2
慣行栽培区	1,539	1.1	3.5	4.0	3.8	14.1

ネット評価、果形評価は1(悪)~5(優)の5段階評価の平均

5) pFセンサーは表層下10~15cmに埋設し、埋設地点は灌水後の土壌水分を感知しやすい点滴チューブの近傍とする。センサーの出力値はV(ボルト)で表示されるので、pF-V換算表から指定のpF値を設定して灌水を行うことができる。1回の灌水量は100~200ml/株になるように灌水時間を設定し、灌水後30分は休止時間とする。灌水開始時間は養液施用後の朝8時、終了は午後2~3時までが適当である。必要灌水量は作物吸水量と蒸発散量の和であるので、土中に埋設したpFセンサーと灌水制御器が土壌水分を常時モニタリングし、土壌水分(pF値)が設定値

以上になった時、即時に灌水される。このため余分な水はかからず、品質の向上と、節水栽培が可能になる（表11）。

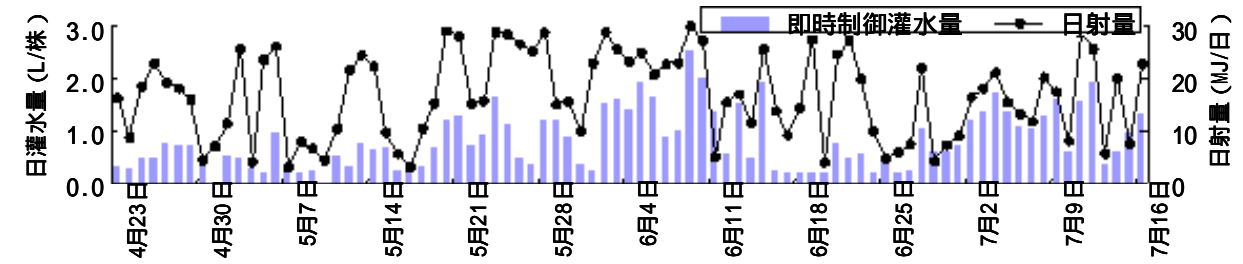


図11 日射量と即時制御灌水(1回 100ml / 株)の実態

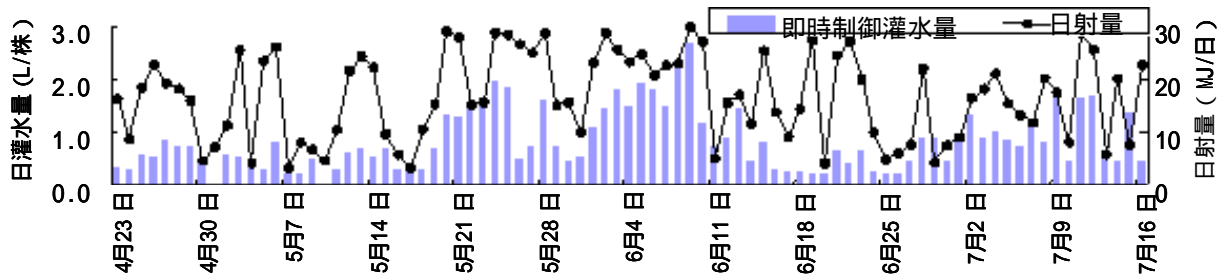


図12 日射量と即時制御灌水(1回 200ml / 株)の実態

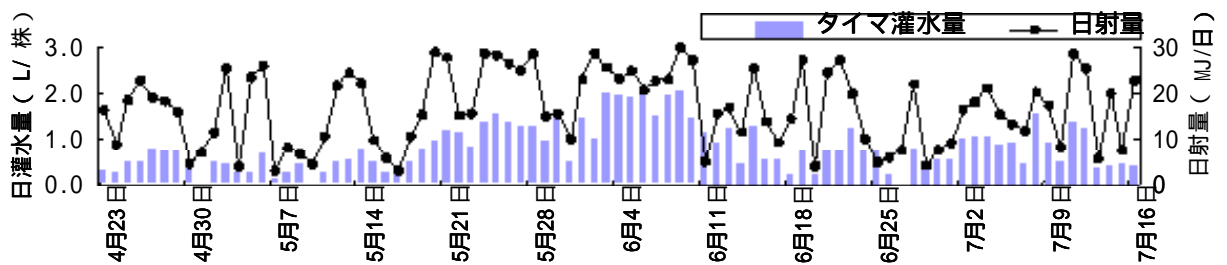


図13 日射量とタイマー灌水の実態

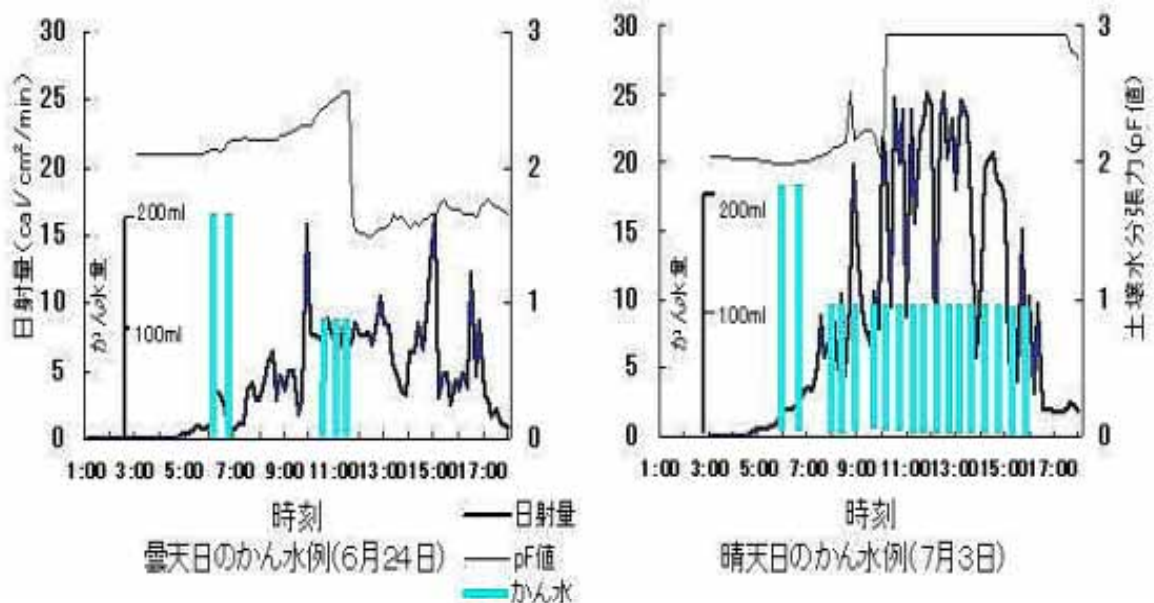


図14 1日の天候と即時制御灌水(株当たり100、200ml)



圧力変換器付きテンションメータの設置



かん水制御装置

表11 栽培期間中の総かん水量

即時制御 200 m l かん水区	97 L
即時制御 100 m l かん水区	94 L
慣行栽培区	146 L

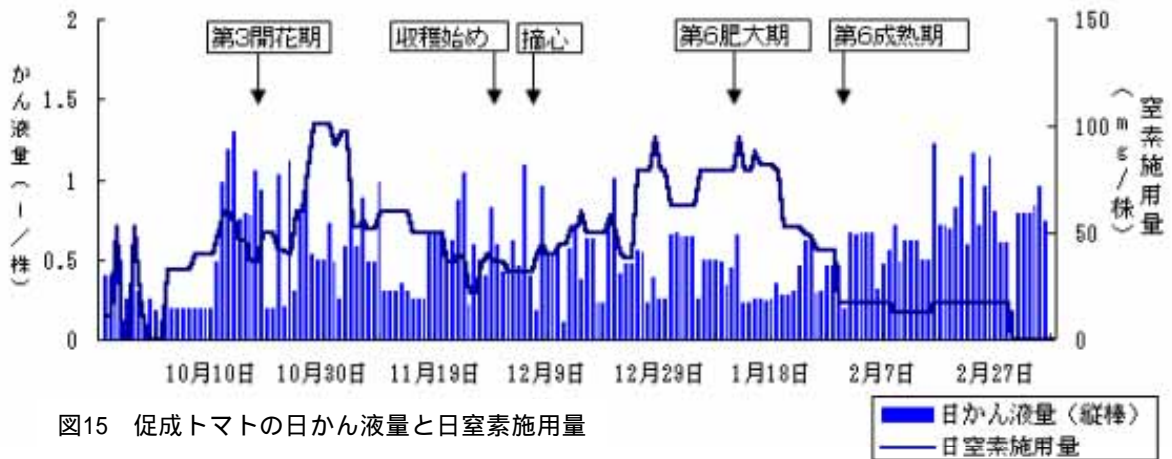


図15 促成トマトの日かん液量と日窒素施用量

(即時制御100m l かん水区)

6) 促成トマト栽培では定植活着後pF2.0~2.2で管理したところ、天候の変化に合った省力的な灌水が実施でき(図15)、10株当たり収量が隔離床で42kg、地床で50kgを越え、糖度は収穫初めから5.7以上を保った。

7) 夏秋トマト栽培における灌水では電気接点付きpF計とタイマーを使用したキャンセル方式制御により、初期はpF2.2~2.3、中期は2.0、収穫後期は2.1~2.3の設定値が適していた。

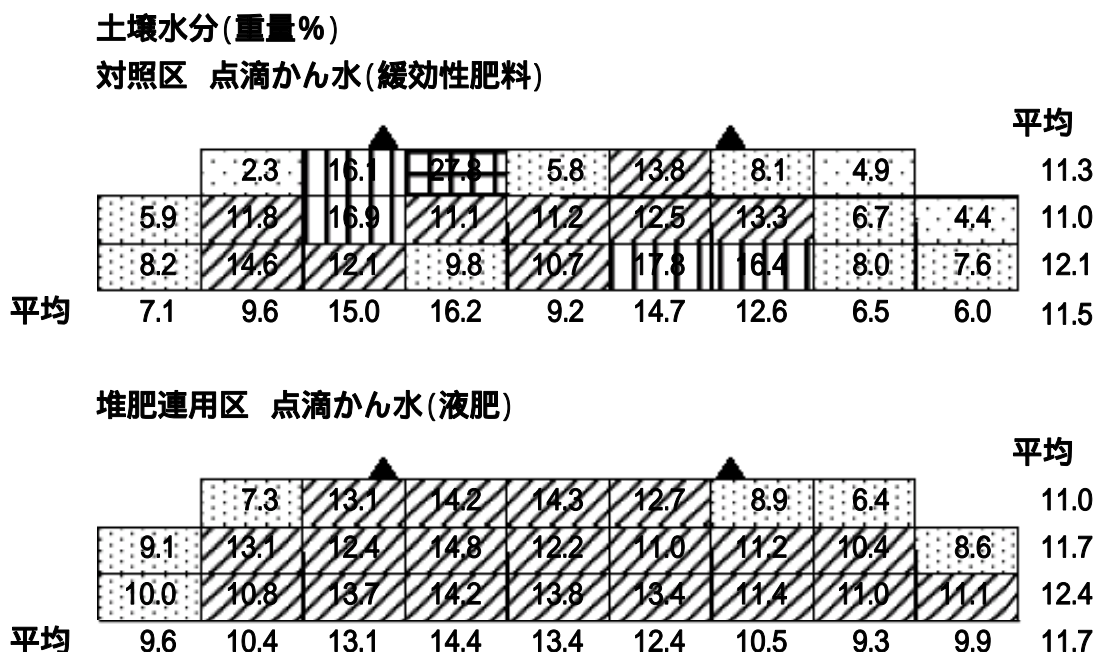
4. 養液土耕栽培に適した培地管理技術と環境保全型新隔離方式の開発

(1) 培地条件の解明と土壌改良技術

養液土耕栽培に適した培地条件の解明と土質・地力に応じた土壌改良技術を検討した。

1) 土壌の種類により点滴灌水での水の湿潤域が異なった。土壌改良材としてパーライトを施用する場合、施用量や土壌の種類によって湿潤域が変化する点に留意することが必要であった。

2) 堆肥を施用することにより、養液土耕栽培での湿潤域は広がり、ECのバラツキも小さくなった。点滴灌水のように限られた部分への灌水ではできる限り湿潤域が広がるようにして、根域が拡大するようにする必要があると判断された(図16、表12)。



注) プロットの横幅9cm、深さ5cmの間隔で調査

図16 堆肥施用と畝内の水分分布

表12 土壤物理性

試験区	固相	液相	気相	仮比重
	%	%	%	
ピートモス連用区	41.2	15.9	42.9	1.03
無施用区	48.2	14.9	36.9	1.22

3) ピートモスの連用ほ場での養液土耕栽培では、トマト、メロンともに生育や収量が向上した。また、気相率や保水性が高くなり水の横浸透が広がった。

4) 夏秋トマトにおいて、省力化をねらった不耕起栽培は、3年連続で行っても収量・品質の低下は起こらず、省力技術として利用できる。

(2) 少量培地隔離方式における好適培地と長期利用技術の開発

少量培地隔離方式(幅60cm、深さ40cmのドレインベット栽培)で、培地の長期利用を行った場合、土壤伝染性病害による連作障害の発生が懸念される。トマト・メロン生産体系において、愛知県のトマト主要土壤病害である青枯病と根腐萎凋病に対して、環境保全型農業の観点から化学農薬利用以外の防除法を検討し、生物的防除法及び耕種の防除法を試みた。

1) 当県で開発したトマト根腐萎凋病菌拮抗微生物を、(株)ポッカコーポレーションとの共同研究によってコーヒー粕堆肥で資材化した。本資材をほ場に施用することによりトマト根腐萎凋病が抑制され、対照区に比べ収量が増加した。

2) ススキ堆肥連用トマトほ場では土壤病害はほとんど発生しないが、有機物を施用していな

い隣接ほ場では青枯病等土壌病害が発生していた。また、ススキ堆肥連用土壌と化学肥料及び各種有機質堆肥連用土壌でのトマト栽培と比較したところ、ススキ堆肥連用土壌は青枯病の発病を顕著に抑制したため、本土壌がトマト青枯病抑止型土壌であることが示された。

3) メロン-トマト連作のトマトに代わりに、隔年でレタス、セルリー、グロリオーサをそれぞれ加えた輪作体系を導入した。土壌中の *Fusarium oxysporum* を経時的に計数したところ、メロン-トマト連作区が常に最も高い菌密度であった(図17)。各区土壌から分離した *Fusarium oxysporum* について供試し生物検定を行い、メロン-トマト連作区 65%、レタス区 20%、セルリー区 15%、グロリオーサ区 20%がトマト根腐萎凋病菌(*F. o. f-sp radicles-lycopersici*)であると同定した。以上のことから、メロン-トマト連作に他の作目を導入することにより、土壌中のトマト根腐萎凋病菌の密度を減少させられることが示唆された。

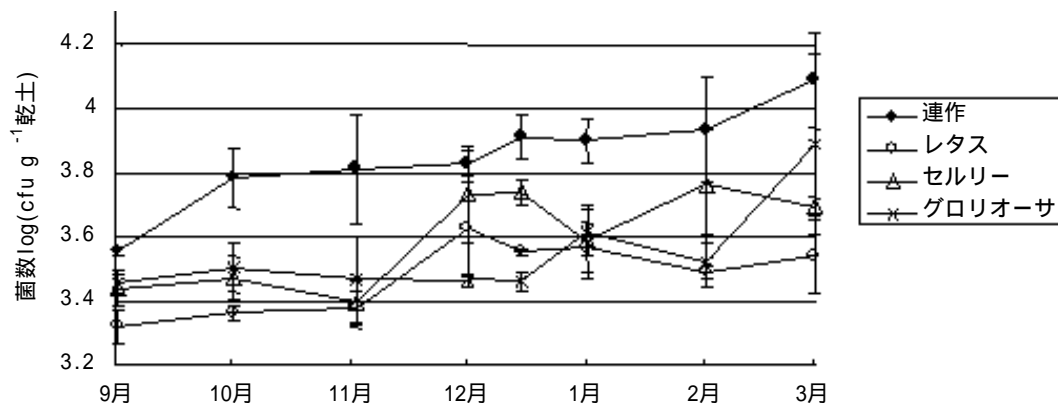


図17 メロン-トマト連作における代替作物の導入と土壌中の *Fusarium oxysporum* の生育密度の動向

(3) 少量隔離床栽培における土壌消毒法

少量培地隔離方式による栽培は、地床栽培より減肥と節水が可能な環境保全型栽培方式として注目されている。しかし、長期安定生産のためには、培地の消毒が必要とされるが、夏期の消毒は、大きな負担となる。そこで、環境に優しく、生産者に負担の少ない省力的な高温期の消毒法について検討した。

1) メロン作後の少量隔離床の栽培に対する簡易な消毒方法について検討したところ、バスアミドを用いる方法が最も適していた。バスアミドは表面散布した後遮光幕で被覆し、灌水する方法により、培地温が低く保たれガスが深く拡散し効果が確実であった。

2) 培地温度は、バスアミド+透明マルチ区が最も高く、最高培地温33.9、平均培地温28.2、次いで無処理区の最高培地温32.4、平均培地温26.2、バスアミド+遮光区の最高培地温26.8、平均培地温25.1であった(図18)。

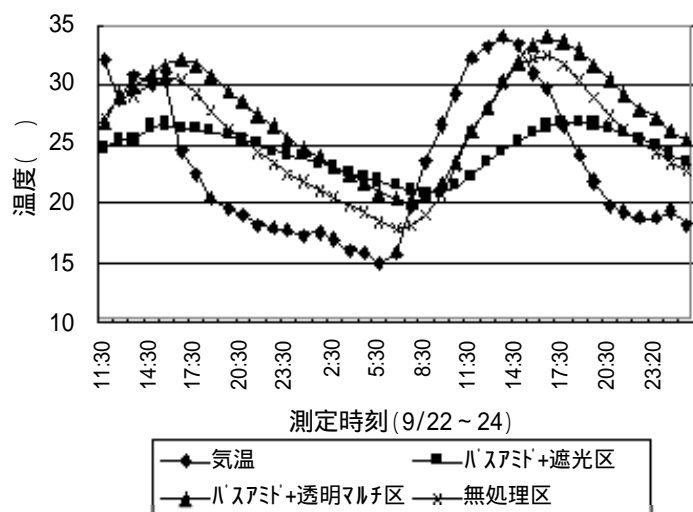


図18 薬剤処理時の気温と培地温

このことから、少量隔離培地においては、バスアミド微粒剤の表面散布処理後に遮光被覆し灌水する方法が、安全かつ簡易に培地の消毒を行う方法として有効であると思われた。

(4) 少量隔離床栽培における長期利用のための好適培地の検討

少量培地隔離方式による栽培は、地床栽培より減肥と節水が可能な環境保全型栽培方式として注目されている。しかし、長期安定生産のためには、連作可能な培地が必要となる。そこで、培地の種類及び連用がトマトの生育収量に及ぼす影響について検討した。

1) 東三河地域の畑土壌として広く分布する赤黄色土壌は粘質で緻密なため固相率が高く、腐植含量も少ない特徴を有する。そこで、パーライト、パーライト・ピートモス混合資材を施用すると、作土の気相率が増加して、浸潤性、透水性のような、物理性が改良されるので、無施用に比べて促成栽培トマトは収量が増加した。また、パーライト・ピートモスの混合培地及び土壌・パークの混合培地とも連用による収量低下はみられなかった(表13)。

2) 収量は有機培土2作目が優れていたが、連用による差が大きくなることから、少量隔離培地では連用による生育収量の差が生じ難い混合培土が適していると思われた。

また、有機培土2作目では、1作目で残存した肥料成分が次作で利用されたため、生育収量が勝ったものと思われた(表13)。

表13 果実収量と外観品質

試験区	収量/株		平均 果重 g	良果		不良果率			
	個数	重量		果重	率	小果 ¹⁾	空洞	尻腐	奇形
	個	kg		g	%	%	%	%	%
混合培土1作目	17.3	3.05	176	184	80.4	0.8	13.3	5.5	0.0
混合培土2作目	16.0	3.04	190	196	92.6	0.4	7.0	0.0	0.0
有機培土1作目	17.0	2.94	173	177	96.2	1.2	2.6	0.0	0.0
有機培土2作目	18.3	3.69	201	194	82.5	0.0	13.3	2.4	1.8

注) 1)小果は、80g未満の正常果

混合培土(土とパークの混合培土 商品名トップソイル)の1作目、2作目
有機培土(ピートモス:パーライト=6:4)の1作目、2作目

(5) 夏秋トマトの長段栽培における草勢管理

夏秋トマトの長段栽培では、盛夏期以降の草勢低下が著しく、茎の細い葉の小さい草姿となる。そこで、養液土耕システムによる効率的栄養管理技術を基幹技術とし、側枝葉を利用した葉面積管理及び摘果処理が盛夏期以降の草勢及び時期別の収量・品質に及ぼす効果について検討した。

1) 側枝を2枚残して他は摘心することで、盛夏期以降の葉面積の急激な減少は大幅に緩和できることがわかった。また、側枝の利用期間は6~12段果房までが好ましいものと思われた(表14)。

表14 葉面積管理と収量・品質

側枝利用 枚数	総収量(kg/株)					良品収量(kg/株)				
	果数	重量	(前期)	中期	後期)	果数	重量	(前期)	中期	後期)
2葉	42.4	8.72	(2.90	2.40	3.41)	37.1	7.78	(2.56	1.95	3.27)
1葉	43.9	8.49	(3.01	2.06	3.42)	38.6	7.66	(2.56	1.81	3.29)
対照	45.3	8.70	(2.95	2.23	3.52)	39.3	7.75	(2.54	1.84	3.37)

前期:1~5段果房、中期:6~10段果房、後期:11~15段果房

2) 草勢低下が著しい8月中旬から9月期では収量も少なくなる。草勢の維持と安定出荷には摘果処理が有効で、果房段位別の着果数は、1～5段果房で3～4果、6～12段果房で2～3果、13～15段果房で4果程度が適切と判断された。また、生育中期以降の葉面積の急激な減少を側枝葉(2葉で摘心)を利用することにより生産安定を図ることができた(表15)。

表15 着果処理と収量・品質

着果数	総収量 (kg/株)				良品収量		良品の階級別割合 (%)				
	果数	重量 (前期 中期 後期)			果数	重量	3L	2L	L	M	S
2+	33.6	7.92 (2.95 2.29 2.69)			31.5	7.52	38	41	18	3	
2 3	42.4	8.87 (2.90 2.54 3.42)			40.3	8.49	20	39	32	9	
3果	44.6	9.39 (3.31 2.68 3.40)			39.9	8.54	25	34	30	10	1
4果	46.3	9.31 (3.46 2.61 3.24)			41.9	8.59	19	36	33	12	1

注：2+ は2果を基準に前期、後期で草勢が強い時期に3果とする。

2 3は前期2果から後期3果とする。4果は4果以下に制限。

前期：1～5段果房、中期：6～10段果房、後期：11～15段果房

3L：250g以上、2L：200g以上、L：160g以上、M：130g以上、S：110g以上

5. 好適な受光体勢の維持による高生産性栽培管理技術

(1) 養液土耕栽培方式におけるメロンの生育特性と好適な受光体勢診断技術を確立するためメロンの葉面積の調査を行った。葉面積を簡単に計測するため、葉身長、葉幅の関係について解析し、葉面積の近似値を算出する式($y = 0.7433x + 35.05$ 、 $y =$ 葉面積、 $x =$ 葉幅(w) × 葉身長(l))が得られた(図19, 20, 21)。

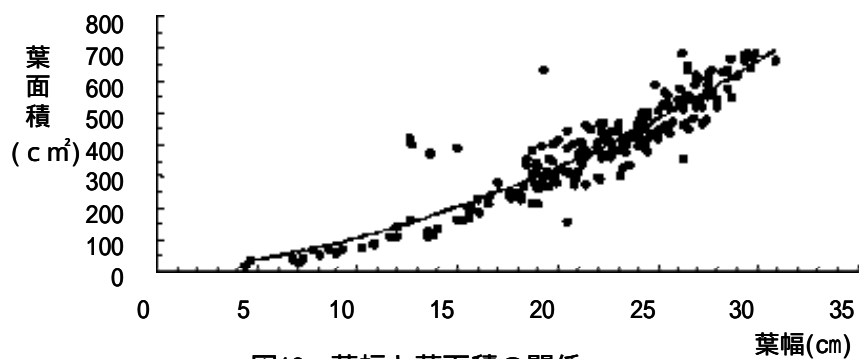


図19 葉幅と葉面積の関係

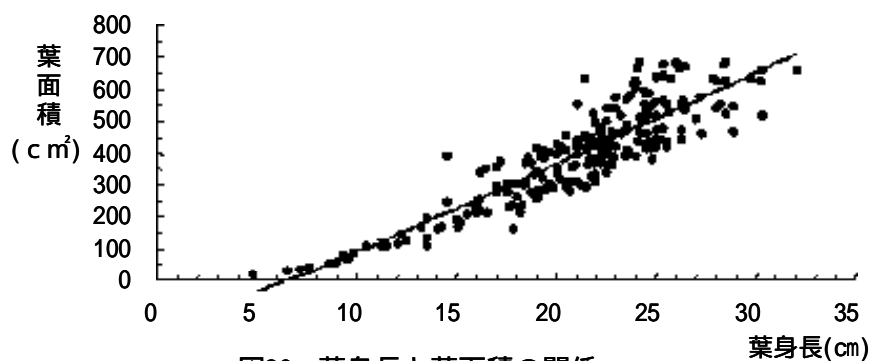


図20 葉身長と葉面積の関係

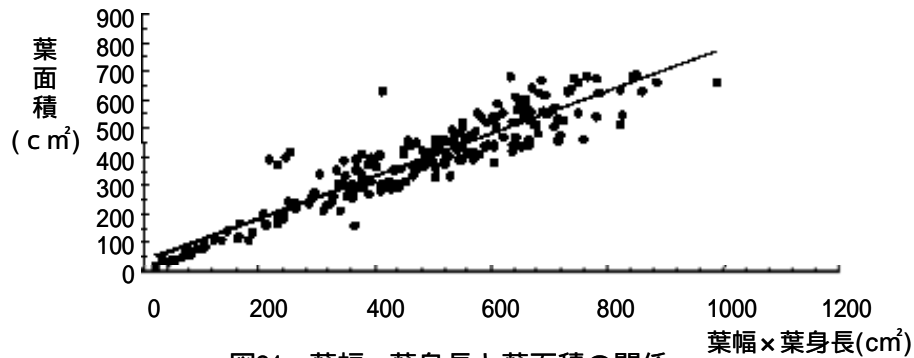


図21 葉幅×葉身長と葉面積の関係

(2) メロン栽培においては受粉期の葉の開張幅が広い株の収量が高かった。受粉期までの草勢が、その後の生育に強く影響を与えたため初期の管理が重要であると考えられた。

(3) メロンでは着果節位より上部である14節以上の葉面積が果実重と正の高い相関があり、受粉後の草勢を強く保つことが玉の肥大に影響した。初期生育を旺盛にするとともに、横から見た草姿がHの形になるように栽培することが目標となり、株張り幅が40cm、葉身長が25cmを超えたときに最も果実重が重く、株張り幅37cm、葉身長22cm程度の時2L果実が得られた。

(4) 促成トマトの養液土耕栽培の場合は、生育ステージが進んでも旺盛な生育を維持でき、特に、上位の茎径や葉長、葉幅が慣行の土耕栽培より大きかった。1株当たりの総葉面積は養液土耕区で $10.5 \times 10^3 \text{cm}^2$ (葉面積指数は2.5)、基肥点滴土耕区は $10.8 \times 10^3 \text{cm}^2$ (葉面積指数は2.6)であるのに対し、慣行区では $6.9 \times 10^3 \text{cm}^2$ (葉面積指数は1.7)小さかった(表16)。

表16 葉幅、葉身長と葉面積の関係

	回帰式	決定係数 R^2	相関係数
葉幅と葉面積	$y = 0.5652x^2 + 5.0751x - 2.161$	0.831	0.911572*
葉身長と葉面積	$y = 0.0504x^2 + 26.19x - 179.41$	0.8063	0.89796*
葉幅×葉身長と葉面積	$y = 0.7433x + 35.047$	0.8544	0.924347*

* 1%有意

(5) トマト栽培においては、既存の資料から最適葉面積指数が示されており、これを満たすには、促成の6段階摘心栽培では初期から葉面積を大きくすることが必要であった。しかし、葉面積の測定は作業時間がかかるため簡易に計測できる茎径を指標とした。茎径が11~12mmの時と比較して、後半まで12~13mmを保つ適度に太い時に高収量であった。

(6) 根から吸収された硝酸イオンを、主に葉で還元する硝酸及び亜硝酸還元酵素活性と、硝酸イオン濃度との関係を検討した。硝酸還元酵素は作物体を遮光すると活性が抑えられて、同化されない硝酸イオンが葉柄中に蓄積するが、光条件下では、果実肥大が旺盛な部位での活性が高まり同化がスムーズに進行するものと考えられた。また、亜硝酸還元酵素についても硝酸還元酵素活性の高い部位での活性が高かった。しかし、暗条件下では葉の採取部位による明確な差は認められなかった(表17)。このことから、トマトのように長段栽培するものでは草勢管理としての受光体勢の重要性が示唆された。

表17 トマト葉の硝酸還元酵素及び亜硝酸還元酵素活性と硝酸イオン濃度

照 度	採取部位 葉 身	NaR (NADH) 活性	NiR (NADH) 活性	NO ₃ 濃度
		(硝酸還元酵素)	(亜硝酸還元酵素)	(硝酸イオン濃度)
		μ M/mini/g	μ M/mini/g	ppm
明	着 果	23.3	642.0	2,170
	肥大果	110.2	442.1	1,810
	収穫果	41.1	198.4	3,570
暗 遮光(50%)	着 果	47.2	530.3	2,930
	肥大果	49.5	349.6	3,060
	収穫果	48.3	317.3	2,570

6. トマト・メロン主体生産体系における高生産・高品質・環境保全型養液土耕栽培システムの総合組立と環境負荷軽減及び経営評価

技術開発試験ならびに現地支援研究で開発・確立された環境保全型養液土耕栽培システムを核としたトマト・メロン専作経営モデルを策定し、経営試算に基づく経営評価を実施し、システムの普及定着条件を解明するために、愛知農総試で技術開発したpF水分センサを用いた即時制御点滴灌水システムをメロン栽培農家で実証試験を行い、経営試算に基づく新技術導入の経営評価を行なった。

(1) 毎日の灌水量の推移をバルブ散水を開始した6月1日から収穫まで65日間調査したところ、慣行区（経営主が判断した灌水量）と制御区（pF水分センサーにより自動灌水した量）との相関関係はかなり高かった（図22）。

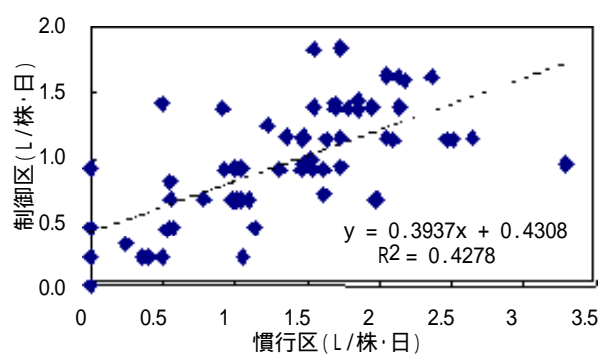


図22 経営主が判断した灌水量（慣行区）と制御区の日々の灌水量との関係

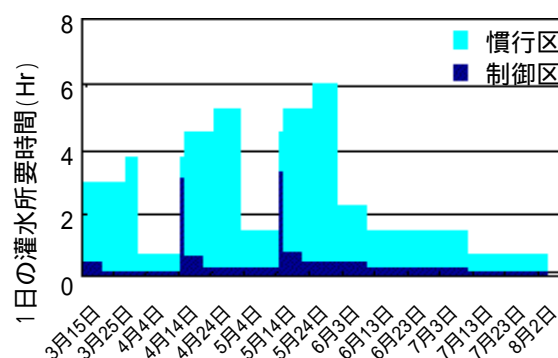


図23 メロン3作型68aを栽培した場合の毎日の灌水時間の試算結果

(2) 慣行区（経営主が行なう灌水作業時間）と制御区（制御器確認等の灌水管理時間）について、両区の日当たり灌水労働時間を試算した。その結果、慣行区では6月上旬に6時間もの灌水作業が必要であったが、制御区ではほとんど1時間以内であり、灌水作業は大幅に省力された（図23）。同様にメロン3作型68aを経営した場合の労働時間について、10a当たり換算の灌水時間は慣行区で延べ55時間、制御区で延べ11時間であり、44時間（経営全体の8%）が省力できた（表18）。

表18 メロン3作型68a経営から10a当たり換算した場合の労働時間(時間/10a)

月	2	3	4	5	6	7	8	9	
6月収穫作型		—	—————→						
7月収穫作型			—	—————→					
8月収穫作型				—	—————→				
作業名									合計
育苗	4	8	10	4					26
床土作り	7	10	4						21
耕起・整地		2	2	2					6
定植準備		5	5	5					15
基肥		3	7	3					13
定植(播種)	2	7							9
慣行区灌水	1	9	14	18	8	5			55
栽培管理	12	37	40	100	61	25	2		277
防除	1	1	5		5	1			18
収穫・調整					15	5	15		35
後片づけ						15	15	15	45
包装・出荷					9	9	9		27
合計	27	82	87	137	98	60	41	15	547
うち雇用時間	10	20	40	60	50	30	25	15	250
試算した									
制御区灌水時間	1	2	3	2	2	1			11
節減時間	0	7	11	16	6	4			44

注：ガラス温室で6月収穫と8月収穫を24a、7月収穫を18a、小計66a(9棟)と育苗2a、合計68aを経営した場合の農業労働時間。：播種、：定植、：収穫。

表19 即時制御点滴灌水システムの導入経費と導入効果の試算

導 入 費	導 入 効 果
電磁弁/セット×1棟 = 260,000円	慣行区灌水量17,146L/a、制御区12,932L/a
点滴チューブ+配管 24,000円/a × 8a = 192,000円	灌水量の節減4,214L × 8a = 33.712L
初期費用合計 452,000円	灌水作業の節減 4.4時間/a × 8a = 35.2時間
減価償却/年 64,560円	労賃1,907円/時間 × 35.2時間 = 67,126円

注 8月収穫メロンの温室8a(1棟)に導入した場合の試算、導入費は定価ベース。p Fセンサー5万円(耐用年数3年)と制御器10万円(同6年)。灌水チューブ(同5年)は圧力補正及び水垂れ防止機能付きタイプを1ベットに2本設置。労賃は平成13年愛知県農畜産物生産統計の労賃単価。

(3) 即時制御灌水システムを8aのガラス温室に導入した場合の初期費用(農家が施工)は452千円で、減価償却費は65千円であった。節水効果は33キロリットル、灌水作業の労賃単価を1,907円とすると灌水作業時間の節減効果は67千円であった。導入農家は井戸水を使用しており、水単価や水利費が安いので節水による経営費削減効果は低いが、経営主自身の労賃を勘案すると導入費用より導入効果の方が高かった(表19)。

表20 導入後の水使用量及び肥料量の節減効果

農家	水使用量 の節減	肥料量	
		窒素量 の節減	金額換算 の節減
A	67%	50%	70%
B	42	同	
C	30	同	
D	35		70
E	減		80
F	50		
G	80		50
H	20	同	
I	30	20	70
平均	52		

注：導入前に対する導入後の使用量。
同：変わらない

(4) 養液土耕システム導入農家(9戸、冬春トマト-夏穫りメロン)全てで、従来の灌水量の2~7割減少し、平均48%節水できた。施肥量についてはほぼ同じが3戸、他は5~8割減少した(表20)。

(5) 収量・品質についてはトマトでは収量は変わらないが品質は向上し、メロンでは収量増とともに品質向上と揃いが良くなるなど養液土耕栽培に対する導入農家による総合的評価は高かった(表21)。

表21 導入後の農作業の省力・軽労化、灌水及び肥料量の節減効果及びトマト・メロンの収量・品質の向上効果等との関係(回答数)

灌水作業			追肥作業			水使用量			肥料量		
楽	同	忙	楽	同	忙	減	同	増	減	同	増
9	0	0	9	0	0	9	0	0	6	3	0
トマト収量			トマト品質			メロン収量			メロン品質		
向上	同	低下	向上	同	低下	向上	同	低下	向上	同	低下
2	7	0	6	3	0	5	3	0	7	1	0

注：調査農家9戸の内1戸はトマト作のみ。農作業において、楽：楽になった、同：変わらない、忙：忙しくなった。収量及び品質において、同：変わらない。

(6) 現地(豊橋市)の促成栽培トマトに生育ステージ別窒素日施用量モデルを導入したところ、3段果房開花期以降、葉柄中の硝酸イオン濃度は5,000ppm以上を維持でき、十分な草勢を維持できた。また、山間(津具村)で生育ステージ別の施肥・灌水指標の改善モデルを実証したところ転作田の生産安定に必要な改善点が明らかになり、農家の評価は高く面積拡大の意向が示された。また、産地全体で養液土耕栽培システムの導入に対する機運が高まってきた。

(7) 既にシステムを導入しているトマト・メロン農家に対して、導入動機や導入成果について調査を行った結果では、収量や品質の向上効果に加えて省力・軽労化効果が非常に高いことが明らかになり、養液土耕栽培に対する導入農家の総合的評価は高かった。

養液土耕栽培方式による高生産・環境保全型栽培マニュアル

1 促成栽培トマト

即時制御灌水システムを利用した促成トマト養液土耕栽培

2 半促成栽培トマト

即時制御灌水システムを利用した半促成トマト養液土耕栽培

3 促成及び及び半促成性栽培トマト

流量制御点滴灌水施肥システムを利用したトマト栽培の施肥、灌水基準

4 夏秋栽培トマト

夏秋トマト長段栽培(15段)生育ステージ別の施肥・灌水施用技術

5 夏作メロン

即時制御灌水システムを利用した夏作メロンの養液土耕栽培

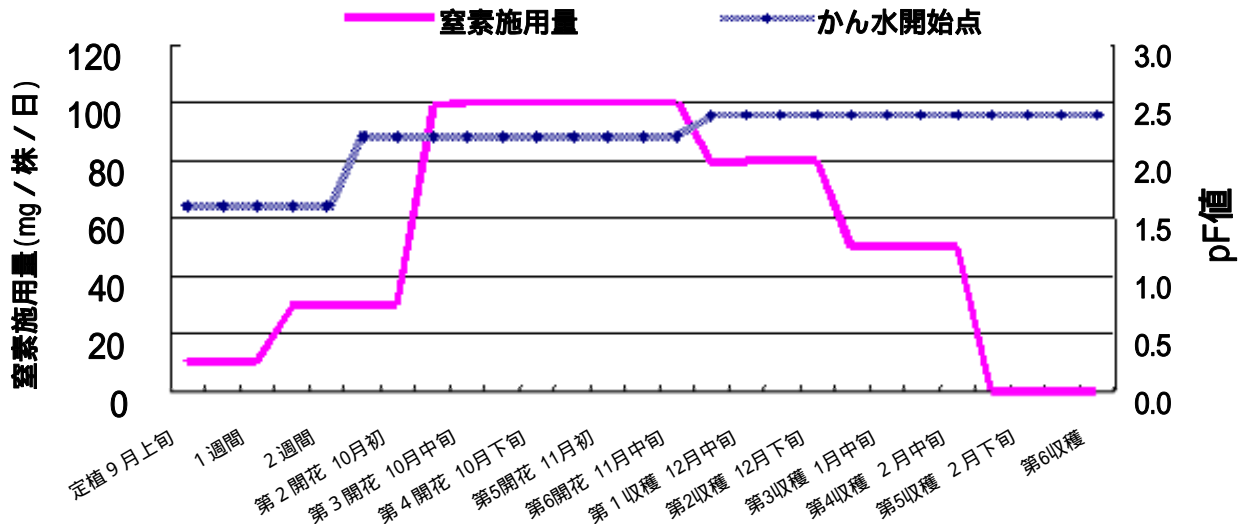
6 圃試処方による培養液管理

培養液組成管理と圧力変換器付きpFセンサを用いる灌水制御

1 促成トマト栽培（6段摘心）

即時制御灌水システムを利用した促成トマトの養液土耕栽培

生育ステージ別の窒素施用量（mg/株/日）及び灌水開始時点



促成トマトの窒素施用量及び灌水制御

日窒素施用量の目安

定植 1 2 3 4 5 6

窒素日施用量(mg/株/日)

0 ~ 25 → 30 → 50 → 100 → 100 → 80 → 50 → 0 →

~ は開花花房段位

総施用量 7g/株

~ は果実肥大期の果房が着いている段位

(1.7kg/a)

1~6は収穫の果房が着いている段位

(留意事項)

窒素施用量

肥料は毎日1回、朝7~8時に所定濃度の液肥200ml/株を施用する。

第3花房~第4花房開花時(第1~2果房が肥大期に入る)に体内硝酸イオン濃度が急激に低下するため、その時期に100mg/株/日程度まで窒素施用量を増加させる。それ以降摘心までの時期が最も窒素吸収量の多い時期である

摘心時期(11月後半~12月)以降は、日射量が少なく、気温が低下し生育が穏やかになり、収穫も始まるため、1日当たりの窒素量は50mg程度まで少なくしても良い。ただし、品質面から、診断部位の葉柄の硝酸イオン濃度は3000ppmほどに保つ必要がある。

収穫期後半(第4果房収穫期)以降は窒素施用量を0mgとする。この時期までに窒素吸収は終了しており、この時点で終了しても品質、収量は慣行栽培と同等かそれ以上となる。

株当たり収量4kg~4.5kg(6段摘心)糖度5.5~6.5を満たすには7g/株程度の窒素施用量が適当である。

pFセンサによる灌水制御

圧力変換器付きpFセンサーと灌水制御器を組み合わせ、生育ステージ毎に適正なpF（土壌水分）で灌水を行うシステムは、土中に埋設したpFセンサーと灌水制御器で土壌水分を常時モニタリングし、pF値が設定値以上になった時、即時に灌水をはじめ、少量づつ水を与えるので、余分な水を給せず、品質の向上と、節水栽培を可能にする。

pF値は定植後2週間程度は1.6、第3果房開花までは2.2、摘心まで2.0とする。

摘心後はpF2.2～2.4に設定し、株当たり1回の灌水量を100～200mlとする。

灌水後30分間はpFモニターを休止する。その後に所定のpF値より低ければ、次回の灌水はキャンセルされる。

灌水時刻は施肥後の朝7～8時から午後2～3時までとする。

促成トマトの窒素栄養診断基準

生育ステージ	葉柄汁液中硝酸イオン濃度	診断部位
定植～第1果房開花期	3000～4000ppm	第1果房直下葉の小葉柄
第1～第3果房開花期	2000～3000ppm	第1果房直下葉の小葉柄
第3果房開花期～摘心期	3000～4000ppm	ピンポン玉大の果房直下葉の小葉柄
摘心期以降	2000～3000ppm	ピンポン玉大の果房直下葉の小葉柄
第6果房収穫期	1000ppm以下	第6果房直下葉の小葉柄

注) サンプルングは晴れの日の午後1時から2時の間に行う。
葉柄と蒸留水を乳鉢に入れ摩砕して得られた葉柄汁液を反射式光度計にて測定



圧力変換器付きpFセンサーの埋設

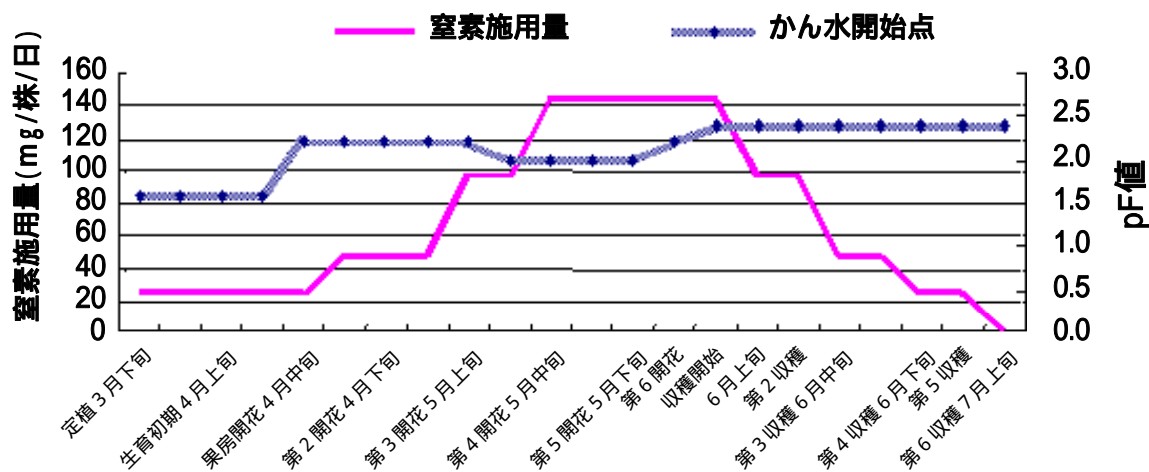


灌水制御装置

2 半促成トマト栽培（6段摘心）

即時制御灌水システムを利用した半促成トマトの養液土耕栽培

生育ステージ別の窒素成分施用量（mg/株/日）及び灌水開始点



半促成トマトの窒素施用量及び灌水制御

日窒素施用量の目安

定植 1 2 3 4 5 6

窒素日施用量(mg / 株 / 日)

0 ~ 25 → 30 → 50 → 100 → 150 → 80 → 50 → 30 → 0

~ は開花花房段位

~ は果実肥大期果房段位

1 ~ 6は収穫果房段位

総施用量 7g / 株

(1.7kg / a)

(留意事項)

窒素施用量

肥料の施用は毎日1回、朝7～8時に200ml / 株の灌水と同時に行う。

第3花房～第4花房開花時(第1～2果房が肥大期に入る)に体内硝酸イオン濃度が急激に低下するため、その時期に150mg / 株 / 日程度まで窒素施用量を増加させる。

それ以降摘心までの時期が最も窒素吸収量の多い時期である。

摘心時期(6月上旬)以降は、日射量が多く気温も上昇するが、生育が旺盛で養分バランスが崩れやすい時期でもある。収穫が始まると着果負担も徐々に少なくなるが、品質面から、体内硝酸イオン濃度は2,000ppmを保つ。

1日当たりの窒素量は段階的に50mg程度まで少なくする。収穫期後半(第5果房収穫期)

以降は窒素施用量を0mgとする。この時点で終了しても品質、収量に影響はない。

株当たり収量4kg～4.5kg(6段摘心)糖度5.5～6.5を満たすには7g程度の窒素施用量が適当である。

pFセンサによる灌水制御

定植後 2 週間程度は pF1.6、第 3 果房開花までは 2.2、摘心まで 2.0 ~ 2.2 とする
摘心後は pF2.2 ~ 2.4 に設定し、株当たり 1 回の灌水量を 100 ~ 200ml とする。

着果負担と高温が重なる時期 (5 月上旬 ~ 6 月上旬) に pF の設定を 2.0 まで下げ、尻腐れ果の発生を防ぐ。

灌水後は 30 分 pF のモニターを休止する。その後に所定の pF に達しなければ、次回の灌水はキャンセルされる。

灌水時間は施肥後の朝 8 時から午後 3 時までとする。

着果負担と高温が重なる時期 (5 月上旬 ~ 6 月上旬) は極度の水分ストレスは尻腐れ果の発生を多くするので、塩化カルシウム 0.3% 溶液を 1 週間間隔で葉面散布すると良い。

半促成トマトの窒素栄養診断基準

生育ステージ	葉柄汁液中硝酸イオン濃度	診断部位
定植 ~ 第 1 果房開花期	3000 ~ 4000ppm	第 1 果房直下葉の小葉柄
第 1 ~ 第 3 果房開花期	2000 ~ 3000ppm	第 1 果房直下葉の小葉柄
第 3 果房開花期 ~ 摘心期	2000 ~ 3000ppm	ピンポン玉大の果房直下葉の小葉柄
摘心期以降	1000 ~ 2000ppm	ピンポン玉大の果房直下葉の小葉柄
第 6 果房収穫期	1000ppm 以下	第 6 果房直下葉の小葉の葉柄

注) サンプルングは晴れの日の午後 1 時から 2 時の間に行う。

葉柄と蒸留水を乳鉢に入れ摩砕して得られた葉柄汁液を反射式光度計にて測定。

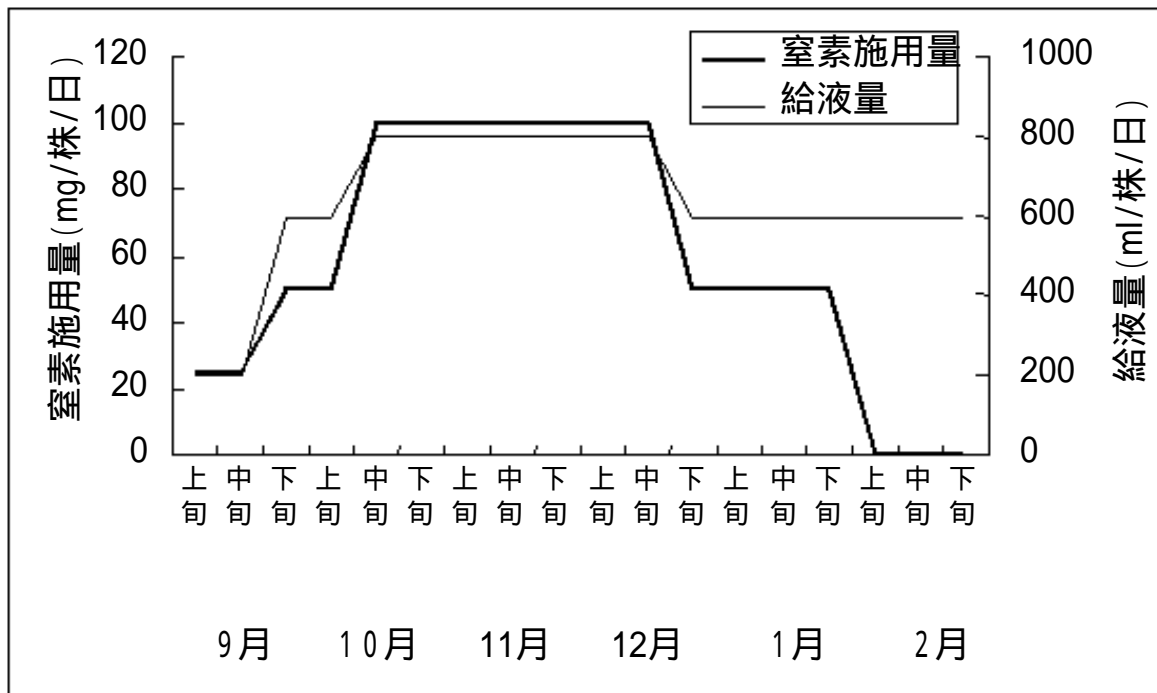


RQフレックスによる窒素栄養診断

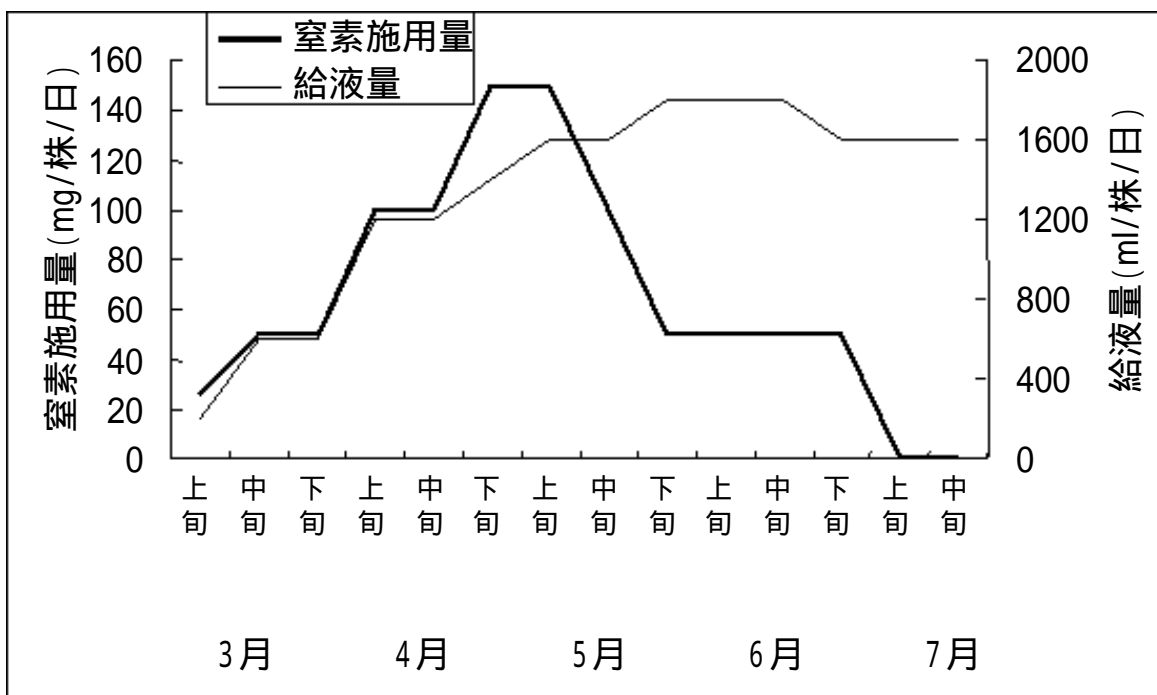
3 促成、半促成栽培トマト（豊橋）

流量制御点滴灌水施肥システムを利用したトマト栽培の施肥、灌水基準

促成トマト栽培(9月上旬定植 7段摘心栽培)の施肥、灌水基準



半促成トマト栽培(3月上旬定植 8段摘心栽培)の施肥、灌水基準



注) ~ は開花花房段位 ~ は収穫果房段位 総窒素施用量は両作型とも8g/株

(留意事項)

窒素施用量

窒素は施肥灌水（朝の最初の給液）で毎朝 1 回施用し、施肥灌水の量は200ml/株。

窒素は施肥灌水で毎日施用するが生育ステージにより窒素日施用量を変える。

促成栽培（7 段栽培）は定植後25mg/株でスタートし、第 3 花房開花期頃に100mg/株に上げ、第 3 花房収穫期頃に50mg/株に下げ、第 6 花房収穫期頃からは 0 mg/株とする。

半促成栽培（8 段栽培）は定植後25mg/株でスタートし、第 3 花房開花期頃に150mg/株に上げ、第 1 花房収穫期頃に100mg/株下げ、第 3 花房収穫期頃に50mg/株に下げ、第 7 花房収穫期頃に0mg/株とする。

窒素施用を切り替える生育ステージは目安と考え、生育状態、葉柄中及び土壌中の硝酸イオン濃度等を考慮に入れて判断する。

葉柄中（摘心前の果実肥大中の周辺葉）の硝酸イオン濃度は3000～5000ppmを目安とする。

土壌溶液中（生土：水 = 1：5）の硝酸イオン濃度は100～250ppmを目安とする。

最終的な窒素施用量は両作型とも約 8 g/株である。

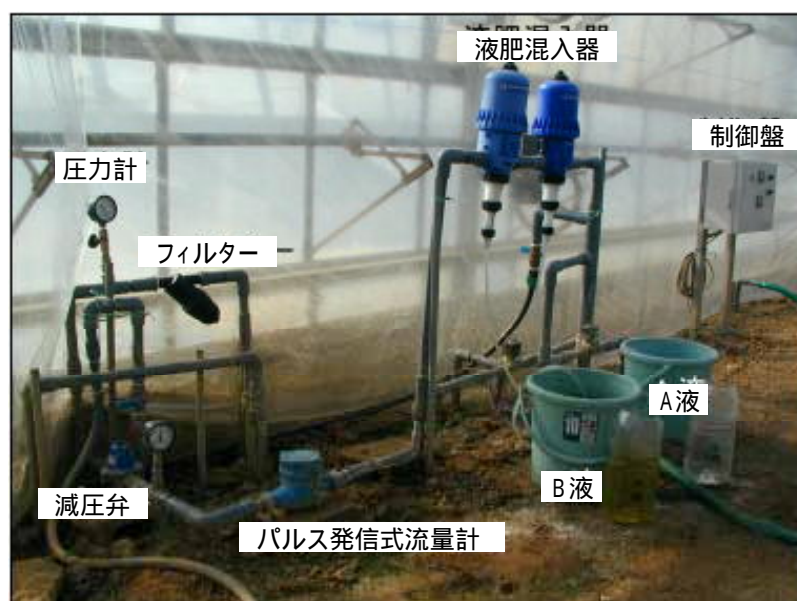
灌水管理

灌水は施肥灌水の 1 時間後から生育、天候に応じて行う。1 回の灌水量は200ml/株。

図の給液量は晴天時の給液量（施肥灌水 + 灌水）であり、曇雨天時の給液量はその半以下にする。

土壌改善

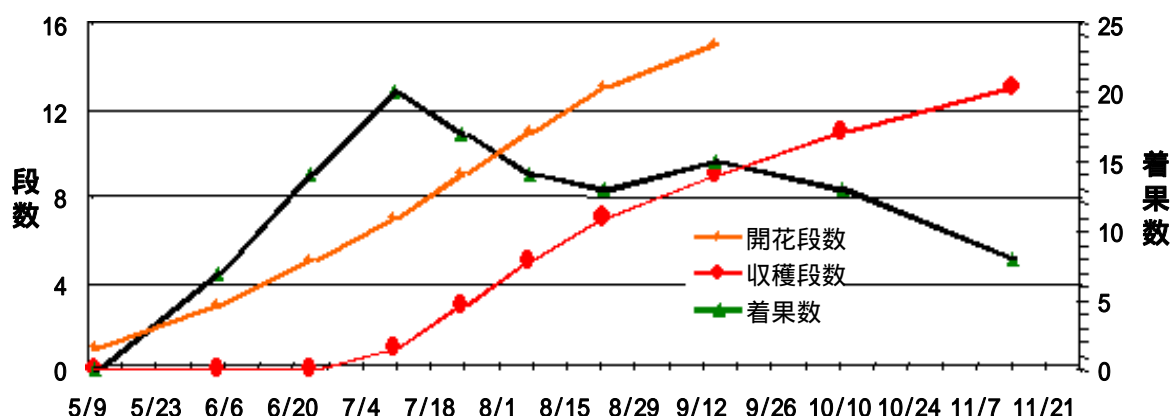
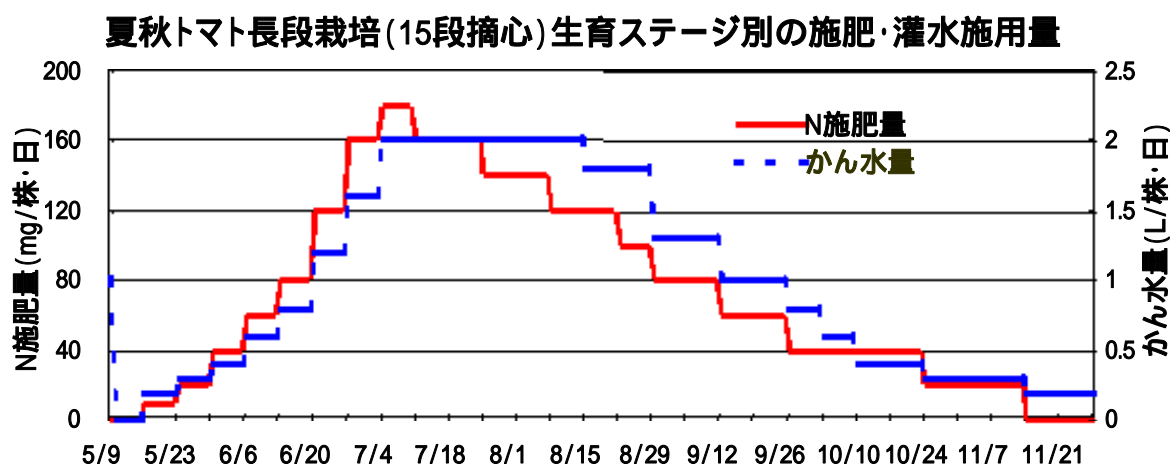
透水性の良くないほ場については土壌物理性改善のため畝部分にピートモスを16 l / m²程度を作土に混和する。



流量制御点滴水施肥システム

4 夏秋トマト長段栽培

夏秋トマト長段栽培（15段）生育ステージ別の施肥・灌水施用技術



夏秋トマトの生育特性と時期別の施肥・かん水量

(1) 長段栽培の生育特性と栽培管理のポイント

夏秋トマトの長段栽培では、定植から生育初期の低温、梅雨、梅雨明け後の高温、9月以降の急激な温度低下等、栽培を取り巻く気象条件の変化が非常に激しい。このため、季節的な生育スピードの変化を十分に考慮した施肥・灌水管理が必要となる。

初期生育が旺盛になりやすい作型であるので、適期（第1花房の開花直前から1、2番花の開花期）定植に心がけ、若苗定植は避ける。また、第1果房には大きさの揃った3～4果を必ず着果させる。

葉の大きさと茎の太さが草勢の目安となる。初期生育の適正化を図り、5～6段果房付近で葉が大きく、茎が最も太くなるような草姿づくりを目指す。

初期の低温管理や施肥・灌水過多は、草勢過多を誘発する。尻腐れ果の多発のみならず、心止まりの原因となりその後の作業性を著しく悪くするので注意する。

長段栽培の生産安定には摘果による着果管理の徹底が不可欠となる。果房段位別着果数は、1～5段果房で3～4果、6～12段果房で2～3果、13～15段果房で3～4果を目安とする。

夏秋トマト長段栽培の収量、品質目標(栽植密度2000株 / 10a)

	暖房	本ほ栽培期間	収穫段数	収量	平均果重	糖度
			段	t	g	
無加温栽培	無し	5 / 上 ~ 11 / 中	12 ~ 13	14 ~ 15	210	5.5 ~ 6.5
加温栽培	有り	4 / 下 ~ 12 / 上	15 ~ 16	17 ~ 18	220	5.5 ~ 6.5

(2) 施肥管理

定植から第2花房開花期までのN施用量は控え気味とする。第3花房開花期から第5花房開花期までのN施用量 / 株・日は、1週間を単位に40mgから120mg程度まで増加させる。

第5花房開花期以降は、着果数が急激に増加し、そのため着果負担は、収穫開始から第1果房収穫期にピークに達する。負担がピークに達する1週間前の第6花房開花期にN施用量を最大の180mgとする。

第2果房収穫期以降は、1樹当たりの着果段数、着果数とも徐々に少なくなる。また、生育スピードも8月下旬以降急速に遅くなる。N施用量は、7月下旬(第10花房開花、4段収穫)の140mg程度から、8月中旬120mg、9月中旬の摘心時(15段開花)60~80mgと減少させる。

第15果房着果期以降(9月下旬から11月末)生育は著しく緩慢となる。そのためN施用量は、第10~12果房収穫期で40mg、第13果房収穫期で20mg程度、第14~15果房収穫期は無施用とし、土中に蓄積している残肥の有効利用を図る。

栽培機関中の1株当たりの窒素施用量は、加温栽培(15~16段収穫)で15g程度、無加温栽培(12~13段収穫)で12~13gが適当と考えられた。

(3) 灌水管理

1日当たりの灌水回数は、日灌水量が1Lに満たない場合は3回程度、それ以上の場合は4~5回とする。例えば、日灌水量2Lの7月初旬から8月中旬の場合、日の出前の5時から午後3時まで2時間毎に0.4Lずつ5回、または2時間半毎に0.5Lずつ4回灌水する。

定植から第2花房開花期までの灌水は、萎れが著しい場合を除き控え気味とする。第3花房開花期から第7花房開花期までの灌水量 / 株・日は、1週間単位で0.4Lから2.0Lまで増加させ、以後8月上旬まで2.0Lを維持する。8月中旬以降、9月中旬の摘心1週間後までは1.8Lから1.0Lまで徐々に削減し、10月は0.3~0.4L、11月は0.2L程度とする。

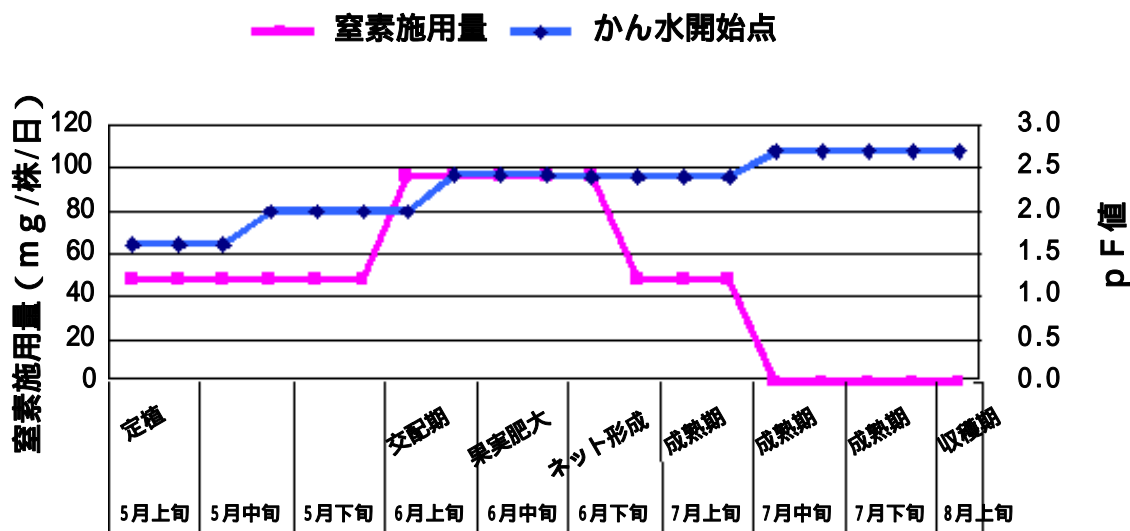
上記に示した1日当たりの灌水量は、好天を前提としたものである。終日雨天の場合は1/4、曇天では1/2の灌水量とする。

栽培期間中の1株当たりの灌水量は、加温栽培(15~16段収穫)で200L、無加温栽培(12~13段収穫)で185Lが適当と考えられる。

5 夏作メロン

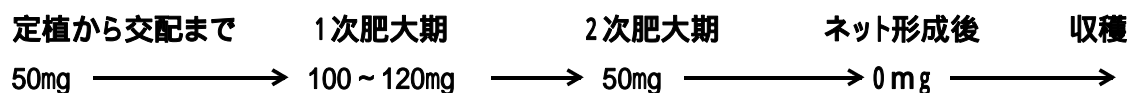
即時制御灌水システムを利用した夏作メロンの養液土耕栽培

生育ステージ別の窒素成分施用量(mg / 株 / 日)及び灌水開始点



夏作メロンの窒素施用量及び灌水制御

日窒素施用量の目安



2000ppm 7000 ~ 8000ppm 4000ppm 2000ppm 1000ppm

生育ステージ毎の葉柄硝酸イオン濃度の目安

総窒素施用量5.2g / 株

(1.26k / a)

(留意事項)

窒素施用量

肥料は毎日1回、朝7~8時に所定濃度の液肥200ml / 株を施用する。

メロン栽培においては、受粉期の株張幅が広い株ほど収量が高くなる。受粉期までの草勢が、その後の生育に強く影響を与えるため、初期生育を良好にすることが最も重要である。

定植から受粉期までは窒素を50mg / 株 / 日で管理する。交配後2週間は100~120mg程度にまで増加させ、十分に窒素を吸収させる。ネット形成が始まる頃からは50mg / 株 / 日に減らす。窒素過多で草勢が強くなりすぎると、果実が締まり肥大が悪くなるので注意が必要である。受粉後40日目からは窒素を0mgとする。この時期までに窒素吸収は終了しており、この時点で終了しても品質・収量は慣行栽培と同等かそれ以上となる。

適期に施肥を止めることにより、果実中の硝酸イオン濃度は慣行栽培に比べて1/10以下にまで低下する。跡地土壌のECの低下や、残存窒素等も少なくなるため、持続的生産が可能になる。

pFセンサによる灌水制御

定植後2週間程度はpF1.6、受粉まで2.0、受粉後45日目までは2.4とする。その後収穫までは2.6に設定する。

株当たり1回の灌水量を100~200mlとし、灌水後はpFモニターを30分間休止する。

灌水時間は施肥後の朝8時から午後3時までとする。水を精算する(土壌の水分過多を避ける)ため、遅くまで灌水しない。

圧力変換器付きpFセンサーと自動灌水装置を組み合わせた方法は、生育ステージ、気象条件により水の要求量が大きく変動するメロン栽培では、灌水に要する栽培者の労働時間が慣行の20%で済む。

6 圃試処方による培養液管理

培養液組成管理と圧力変換器付きpFセンサを用いる灌水制御

(1) 培養液管理

培養液は圃試処方1単位を基本とする。培養液の作成は100倍濃度の原液を作っておき、使用時に必要濃度になるように薄める。原液はA液に1/2量の硝酸カリと硝酸石灰、B液に第1リン酸アンモニウムと1/2量の硝酸カリおよび硫酸苦土をそれぞれ1単位の100倍量溶かして作成する。

例えば100倍量(100単位)のA液を10L作る場合には下表を参考にして、硝酸カリを全量864gの半量の432g、硝酸石灰800gを10Lの水に溶かせば良い。B液についても同様に第1リン酸アンモニウム155g、硝酸カリ432g及び硫酸苦土505gを10Lの水に溶かす。

培養液の施用は朝1回とし、朝7時～8時まで1株当たり200m³が供給されるように時間を設定する。なお、1日の窒素施用量は作物の生育ステージ毎に設定した量が供給されるよう培養液濃度を変化させる。

また、本培養液管理では、窒素施用を主体としており、窒素施用量に連動してカリウム施用量も変動するため、窒素施用量が少ないとカリウム欠乏の起こる危険性がある。後述する「リアルタイム栄養診断によるカリ濃度基準の策定」を参考に適正なカリ施用が必要と考えられる。

圃試処方(1単位)

元 素	me/l	mg/l	第1リン安 155mg/l	硝酸カリ 864mg/l	硝酸石灰 800mg/l	硫酸苦土 505mg/l
NO ₃ - N	16.0	224		108	112	
PO ₄ - P	4.0	41	41			
SO ₄ - S	4.0	64				
NH ₄ - N	1.3	18	18			
K	8.0	312		312		
Ca	8.0	160			160	
Mg	4.0	48				48

(2) 灌水制御

pFセンサは作土の表層下10～15cmに埋設する。埋設地点は灌水後の土壌水分を感知しやすい点滴チューブの近傍が適当である。センサの出力値はV(ボルト)で表示されるので、指定のpF値をpF - V換算表から求めたV値で設定する。作物吸収、蒸発散により土壌が乾燥してV値が設定値より高くなると即時に灌水する。1回の灌水量は100～200m³/株になるように灌水時間を設定し、灌水後は30分間pFモニターを休止する。その後所定のpF値に達していなければ、次の灌水はキャンセルされる。灌水開始は季節により変動させるが、概ね培養液施用後の朝7時～8時として終了は午後2～3時までとする。

参考文献

1. 後藤ひさめ．養液土耕に用いる点滴チューブの水利学的特性並びに点滴チューブの吐出口間隔とトマトの生育・収量．愛知農総試研報．34：67-72（2002）
2. 永井裕史．トマト根腐萎ちよう病菌拮抗微生物の製品化と施用方法．日本土壌肥科学雑誌73（4）：441-444（2002）
3. 浅見逸夫．養液土耕栽培システムを導入した施設野菜農家の満足度と導入成果．愛知農総試研報．35：115-122（2003）
4. 河合 仁．パルス発信式流量計を組み込んだ流量制御点滴灌水施肥装置の開発．愛知農総試研報．35：109-114（2003）
5. 川嶋和子．温室メロン栽培における点滴灌水の自動制御方式の相違が灌水パターンと生育、果実品質に及ぼす影響．愛知農総試研報．35：65-71（2003）
6. 田中哲司．トマト養液土耕栽培における葉柄汁液中硝酸イオン濃度を用いた生育診断指標の策定．愛知農総試研報．35：73-78（2003）
7. 川嶋 和子，後藤ひさめ，菅原眞治．隔離床における促成トマトの養液土耕栽培．園芸学会東海支部（2000.8）
8. 川嶋 和子．隔離床におけるトマトの養液土耕栽培，園学雑70別1（園学東海支部要旨2000），420（2000）
9. 川嶋和子．温室メロン養液土耕栽培における高品質生産のための自動かん水法の検討，園学雑70別1，266（2001）
10. 川嶋和子．メロン養液土耕栽培の基礎と問題点 - 効率的かん水法について - ，施設園芸，43（7），20 - 23（2001）
11. 川嶋和子．促成トマト養液土耕の栽培管理マニュアル．農業愛知（8）．（2002．）
12. 後藤ひさめ．養液土耕栽培に用いるドリップチューブの特性．施設園芸．42（8），52 - 56（2000）
13. 後藤ひさめ．養液土耕栽培におけるドリップチューブの選択と利用方法．農耕と園芸．56（6），92-95（2001）
14. 後藤ひさめ，川嶋和子，今川正弘，菅原眞治．養液土耕に用いる点滴チューブの吐出口間隔とトマトの生育・収量．愛知農総試研報．34．157-162（2002）
15. 飯田孝則．「夏秋トマト」の養液土耕栽培 - 減肥で収量アップ - ．農業愛知（8）．（2002）
16. 田中哲司．養液土耕栽培における土壌の湿潤帯と根域．施設園芸．（2002）
17. 加藤俊博．養液土耕栽培の考え方とねらい．農業技術体系野菜編・追録27（2002）
18. 加藤俊博．土質、地下水位を考慮した水分管理．農業技術体系野菜編・追録27（2002）
19. 加藤俊博．養分吸収特性を活かした施肥管理の実際．農業技術体系野菜編・追録27（2002）
20. 加藤俊博．施肥管理の考え方、地力窒素の活用．農業技術体系野菜編・追録27（2002）
21. 加藤俊博．培地管理の考え方．農業技術体系野菜編・追録27（2002）
22. 河合 仁．低コスト簡易養液土耕栽培システム．農業技術体系野菜編・追録27（2002）
23. 川嶋和子．養液土耕栽培の灌水技術とセンサー利用自動灌水．農業技術体系野菜編・追録27（2002）

24. 山田良三．リアルタイム栄養診断・土壌診断の実際．農業技術体系野菜編・追録27（2002）
25. 川嶋和子．温室メロン養液土耕栽培における高品質生産のための自動かん水法，研究成果情報，関東東海北陸農業(2001)
26. 田中哲司．トマトの養液土耕栽培における葉柄汁液中硝酸イオン濃度の診断指標，研究成果情報，関東東海北陸農業(2001)
27. 川嶋和子．アールスメロン養液土耕における省力的な灌水システムの導入効果，研究成果情報，関東東海北陸農業(2002)
28. 川嶋和子．アールスメロン養液土耕における窒素施用終了時期，研究成果情報，関東東海北陸農業(2002)
29. 山田良三．即時制御灌水システムを導入した施設トマトの養液土耕栽培マニュアル，研究成果情報，関東東海北陸農業(2003)
30. 伊藤裕朗．夏秋トマト長段栽培における生育ステージ別施肥・かん水管理指針の作成，研究成果情報，関東東海北陸農業(2003)

あとがき

本冊子は、トマト・メロンの養液土耕栽培における高生産・環境保全型栽培マニュアルを策定するため、園芸研究部野菜グループ、東三河研究所野菜グループ、山間農業研究所園芸グループ並びに環境基盤研究部農業工学グループが中心になって研究を進めてきた成果を取りまとめたものである。

養液土耕栽培は、作物に必要な養分・水を必要な時刻に必要な量だけ与えるものである。作物の生育に応じた、適正な養水分管理を数値化するためには、精密な灌水装置が必要であるが、本研究の栽培試験で灌水装置として使用した自動灌水制御器（2001年特許願第92706）及び圧力変換器付テンシオメータ（2001年特許願第92707号）を組み合わせることにより灌水制御がきめ細かく設定でき、これまでの蓄積されたデータや栄養診断も参考にして、より適正な診断基準を作成することが可能になった。

作成したトマト・メロンの栽培マニュアルを指標にすれば、農家の持つ技術を補完してこれまで以上に生産性や品質の向上が図れると確信している。本研究で得られた成果が生産現場に定着し、トマト、メロン生産における高生産・環境保全型養液土耕栽培技術の発展に役立つとともに、他の園芸作物にも技術的な応用がなされ、高生産・環境保全型農業の確立に結びつくことを願うものである。

最後に、ご指導いただいた農林水産省並びに独立行政法人野菜茶業研究所の関係各位に厚く感謝申し上げます。また、本試験研究に携わった多くの研究員の努力に敬意を表するとともに、御協力いただいた関係農家及び普及機関の各位に心からお礼申し上げます。

とりまとめ担当

執筆担当者 園芸研究部（現山間農業研究所）山田 良三

とりまとめ協力者	園芸研究部	菅原 眞治
	東三河農業研究所	金子 良成
	山間農業研究所	伊藤 裕朗
	農業大学校（元園芸研究部）	川嶋 和子