

氏 名(本籍)	い 岩	さ 崎	や す	な が	永
学位の種類	博	士	(農	学)	
学位記番号	農	博	第	599	号
学位授与年月日	平	成	12	年	3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当				
研究科専攻	東北大学大学院農学研究科環境修復生物学専攻 (博士課程)				
学位論文題目	培地の緩衝能を活用したトマトの循環型養液栽培システムの開発				
論文審査委員	(主	査)	教	授	三
			教	授	前
			教	授	金
					濱
					耕
					基

# 論文内容要旨

## 第1章 緒言

養液栽培とは、元来土壌を用いない「無土壌栽培」をさし、水中または何らかの固形培地に作物の根を張らせて生育に必要な無機養分と水分を培養液として供給しながら栽培する方式である。培養液や酸素供給方法の違い、固形培地の種類などによって水耕、ロックウール耕、れき耕、砂耕などのように分類されている。

養液栽培は連作障害の回避、自動化や省力化が可能、快適な作業環境を提供するといった特長があり、施設園芸分野における規模拡大や生産性向上に必須の新技术として評価されている。

ロックウール耕の普及が中心となって養液栽培の面積は 1987 年から 1997 年の 10 年間で約 3 倍に増加している。しかし、全国の施設設置面積 53,000 ha に占める割合は依然としてわずか 1.7% (916 ha) にすぎない。このことは養液栽培が多くのメリットを有し新技术として期待されながらも、解決しなくてはならない問題点を内在しているものと思われる。

そこで、本論文ではまず、宮城県における養液栽培の実態をアンケート調査し、問題点の抽出を行った。次に、これらの問題点を解決しうる技術を開発し、栽培システムとして確立することを目的とした。

## 第2章 養液栽培実態調査

養液栽培の現状を把握するために、宮城県内の野菜養液栽培生産者を対象としてアンケート調査を実施し（全アンケート数 76 件、回答数 51 件、有効回答率 67%）、以下のことを明らかにした。

- ① 養液栽培は作業の軽労働化という点では多くの生産者から高い評価を得ているが、収量性や収益性については必ずしも高い評価を得ていない。
- ② 養液栽培の普及が遅滞している最も大きな原因は装置設備費が高いことであり（第 1 図）、低コストな装置の開発が必要であ

る。

- ③メーカー指定の複合肥料の利用や用水としての水道水の利用がランニングコストを押し上げている。単一肥料を用いた培養液処方の普及や簡易な水質改善装置の開発が重要である。
- ④現状では培養液を「かけ流し」にするロックウール耕が主流であるが（第2図）、環境保全の立場からは肥料成分を含む溶液の施設外への排出を回避する必要がある、これに対する方策として培養液の循環利用が重要である。また、使用後の処理が容易な有機質資材などを培地とすることも重要である。

以上の点を考慮して、本研究では、

- 1) 装置設備の低コスト化
- 2) 培養液循環型養液栽培システムの確立

について検討した。対象作物としては、全国的にも栽培面積が多いトマトとした。

### 第3章 低コストな装置設備の開発

トマト養液栽培の低コスト化のために、培養液管理システムと栽培ベッドを開発した。

開発した培養液管理システムの特長は以下の通りである。

- ①培養液循環利用型である。
- ②栽培面積を複数のサブタンクで分割して管理する。系統ごとに作期を変えて作付けすることが可能でありまた、危険分散にも有効である（第3図）。
- ③制御システムに制御用マイクロコンピュータを利用することにより生産コストの大幅な削減が可能となった。また、タッチパネル式の表示器を装備しユーザーインターフェースが優れている。

栽培ベッドは有機質培地用栽培ベッドと土壌培地用栽培ベッドの2つのタイプを開発した。

有機質培地用栽培ベッドは、園芸用プランターや農業用スチールパイプなど安価で入手しやすい部材で構成され、組み立ても容易であり自家施工も可能である（第4図(a)）。

土壌培地用栽培ベッドは、果菜の高品質果実生産に使われている強化プラスチック製の隔離ベッドを応用した（第4図(b)）。

培養液管理システムと栽培ベッドを組み合わせ、低コストな循環型養液栽培システムを開発した（第1表）。ロックウールシステムに比べ、有機質資材を培地とする循環型養液栽培システムでは1/4以下、土壌を培地とする循環型かん水施肥システムではほぼ1/3にコストを下げる事が可能であった。

#### 第4章. 有機質資材を培地とする循環型養液栽培システムの開発

有機質資材として、やし殻繊維、樹皮（杉皮）、もみ殻くん炭を供試し、培地としての理化学性について検討した。得られた結果は以下の通りであった。

- ①やし殻繊維はロックウールに近い保水性を有するのに対し、樹皮ともみ殻くん炭はロックウールよりも著しく保水性が低かった。
- ②やし殻繊維と樹皮は CEC が 50 cmol(+)/kg 以上あり、緩衝能に優れていた（第2表）。
- ③やし殻繊維はカリの含有量が高かった。
- ④やし殻繊維、樹皮、もみ殻くん炭いずれも培地への窒素の取り込みが認められた。

次に、それぞれの有機質資材を培地として、前述の循環型養液栽培システムを用いてトマトの栽培実験を行い培地資材の違いが循環培養液の組成や pH の変動とトマトの生育・収量に及ぼす影響を検討した。得られた結果は以下の通りであった。

- ①やし殻繊維と樹皮を培地とした場合には循環培養液の pH, EC, イオン組成が相対的に安定していた（第5図, 第6図）。

- ②やし殻繊維と樹皮を培地とした場合にはロックウールに比べて草勢が安定し，商品果収量，商品果率が高かった（第3表）。
- ③これらの有機質培地のイオン交換能が循環培養液の組成変動を抑制し，トマトの草勢の安定，花芽や果実の生育に寄与したことが考えられる。

これらの諸性質に培地としての物理性を考慮して，循環型養液栽培システムの培地としてはやし殻繊維が最も優れていると結論した。

さらに培養液処方について検討し，以下の結果が得られた。

- ①アンモニウム態窒素を含まない培養液処方を用いた場合には循環培養液組成の変動が少なくなった。
- ②アンモニウム態窒素を含まない培養液処方を用いた場合には，トマトの草勢が安定し，商品果収量，商品果率が高くなった（第4表，第7図，第8図，第5表）。
- ③これらの原因として，アンモニウム態窒素を含まない培養液処方を用いた場合には循環培養液のpHが7前後と高く推移し，培地のイオン交換能が維持されたことが考えられた。

以上のことから，アンモニウム態窒素を最小限とする培養液処方が適していると結論された。

## 第5章 高品質果実生産のための土壌を培地とする

### 循環型かん水施肥システムの開発.

「土壌を培地とする循環型かん水施肥システム（以下土壌システム）」においてトマトを栽培し，回収タンク内培養液のpH，EC，イオン組成の変動とトマトの生育，収量を「循環型ロックウールシステム（以下ロックウールシステム）」の場合と比較検討した。

土壌システムの培地としては排水性が良く，適度のCECを持つ砂壤土を選定して用いた（第6表）。得られた結果は以下の通りであった。

- ① 土壌システムでは回収タンク内培養液の pH や EC の変動がロックウールシステムよりも相対的に小さかった (第 9 図)。
- ② 土壌システムでは回収タンク内培養液組成もロックウールシステムよりも安定していた (第 10 図)。
- ③ 土壌システムに比べロックウールシステムではトマトの茎径が太く、草勢が強かった。その結果、ロックウールシステムでは総収量は多かったが、商品果収量では土壌システムと有意な差はなく、商品果率は土壌システムのほうが高かった (第 7 表)。

以上のことから、土壌システムでは土壌の緩衝能が作用し培養液組成や pH の変動が小さく、ロックウールシステムよりも循環型栽培システムとしてトマトの安定生産に適しているものと結論された。

次に「土壌を培地とする循環型かん水施肥システム」を用いてかん水制限を行い、トマトの高糖度果実生産を検討した。‘ハウス桃太郎’、‘桃太郎ヨーク’、‘TVR-2’の3品種を供試し、設定した土壌水分以下となった場合だけ給液した。糖度 7% (BRIX 値) 以上で果実重量 150g 以上の果実生産を目標として、土壌水分センサーの設定値を定植後 -9.8 kPa、活着から第 3 花房開花期まで -15.5 kPa、それ以降 -31 kPa とした。得られた結果は以下の通りであった。

- ① かん水制限によって茎径が細くなる傾向がみられ、平均一果重は 15 ~ 17% 程度、商品果収量は 12 ~ 23% 程度低下した。
- ② 果実糖度はかん水制限により ‘TVR-2’ と ‘桃太郎ヨーク’ でそれぞれ BRIX 値で 6.2% と 6.8% となり、無処理区より 11% と 21% 上昇した。
- ③ 3 品種いずれもかん水制限によって果実酸度、果皮硬度の上昇がみられた。かん水制限により果皮が固くなることより、完熟系品種の ‘桃太郎ヨーク’ より、果皮が柔らかい ‘TVR-2’ のほうが食味が優ると考えられた (第 8 表)。

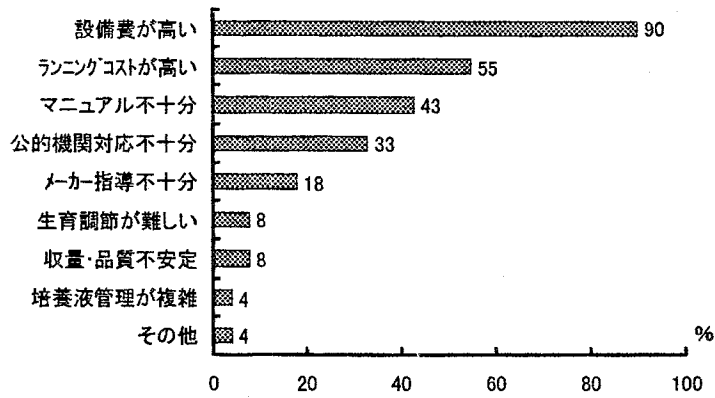
以上のことから、「土壌を培地とする循環型かん水施肥システム」

を用いてかん水制限を行うことにより高糖度果実の生産が可能であることが示された。

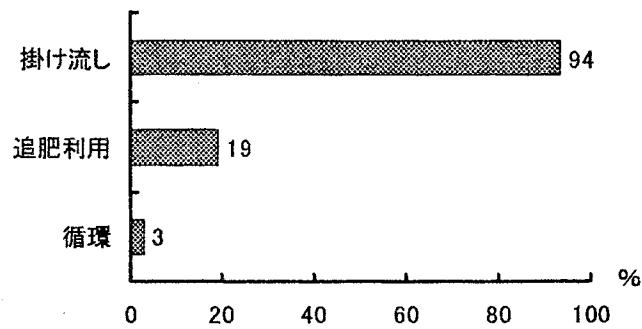
#### まとめ

施設園芸で最も深刻な問題である連作障害が回避できる、自動化、省力化ができ規模拡大や生産性向上が可能である、さらに快適なア行環境を構築できる、という多くの特長を有する養液栽培について検討し、以下の点を明らかにした。

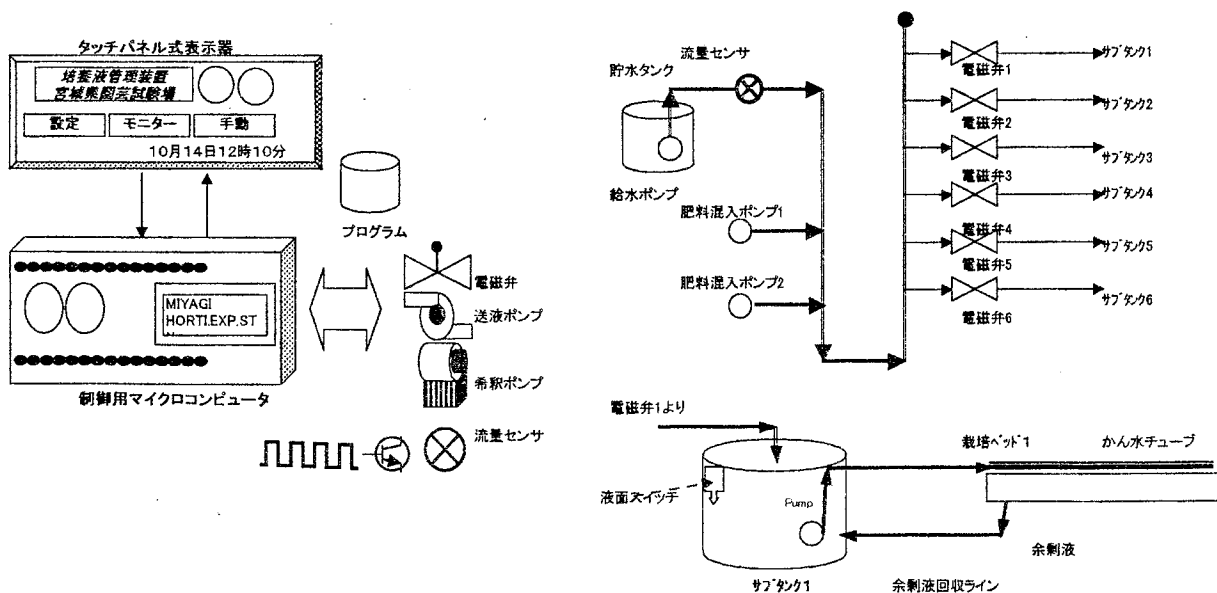
- 1)宮城県における養液栽培の実態をアンケート調査した。その結果、養液栽培の普及が遅滞している原因として、装置設備が高価であること、設備費に対する収量性や収益性が不十分であること、ランニングコストが高いことが明らかとなり、また培養液「かけ流し」方式のロックウール耕が主流であり環境負荷が問題であることが指摘された。
- 2)培養液管理システムと栽培ベッドを検討し、低コストで環境負荷を軽減できる循環型養液栽培システムを開発した。このシステムは有機質培地を使用する場合は従来のロックウール耕に比べて約 1/4、土壌を培地とする場合は約 1/3 の低コストにすることが可能であることを明らかにした。
- 3)有機質資材を培地とする循環型養液栽培を検討し、有機質資材としてはやし殻繊維が最適であること、アンモニウム態窒素を最小限とする培養液処方商品果収量、商品果率を向上させることを明らかにした。
- 4)土壌を培地とする循環型かん水施肥システムを開発し、トマトの高糖度果実生産の可能性を明らかにした。



第1図 生産農家へのアンケート調査における養液栽培の問題点(複数回答可)

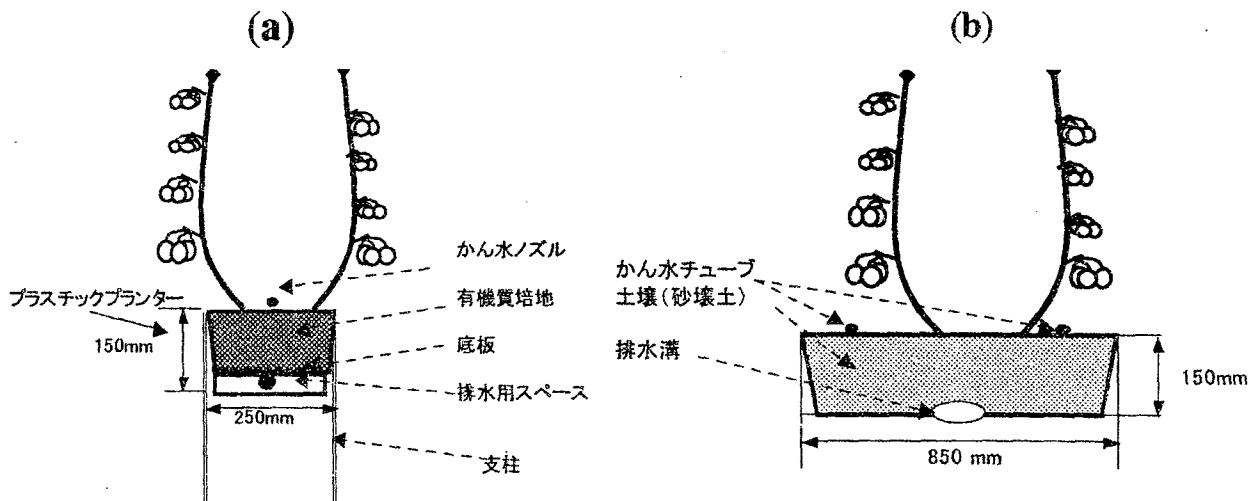


第2図 生産農家へのアンケート調査調査における排液処理の方法(複数回答可)



第3図 培養液管理システムの模式図





第4図 開発した栽培ベッドの模式図

(a)有機質培地用栽培ベッド, (b)土壌培地用栽培ベッド

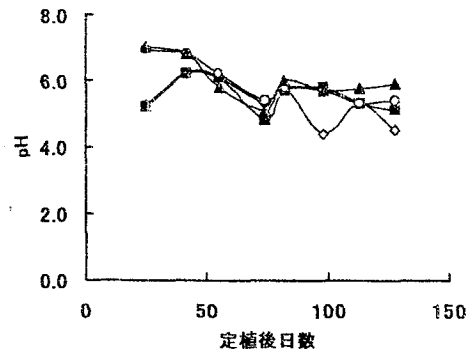
第1表 開発した養液栽培システムと市販ロックウールシステムとの価格比較(×千円)

	T社ロックウールシステム	有機質培地タイプ	土壌培地タイプ
栽培ベッド関連資材	2,871	789	1,524
培養液管理システム関連資材	2,887	338	338
諸経費・送料 <sup>*1</sup>	500		
工事費 <sup>*2</sup>		300	300
合計	6,257	1,427	2,162

\*1:T社ロックウールシステムの場合は 培養液管理システム関連資材に工事費が含まれている

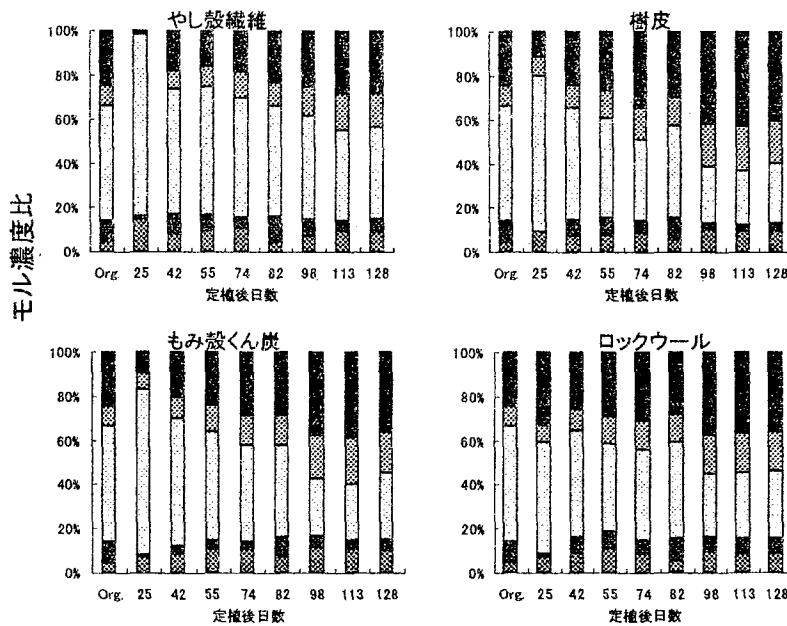
第2表 有機質資材とロックウールの化学性

培地資材	pH	CEC <sup>*1</sup> (cmol(+)/kg)	可給態	交換性	交換性	交換性
			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>*2</sup> (g/kg)	Ca <sup>*3</sup> (cmol(+)/kg)	Mg <sup>*3</sup> (cmol(+)/kg)	K <sup>*3</sup> (cmol(+)/kg)
やし殻繊維	6.04	52.0	1.51	4.68	3.26	62.32
樹皮(杉皮)	6.65	53.0	0.12	14.94	0.84	0.91
もみ殻くん炭	7.38	20.4	0.57	2.32	1.03	8.11
ロックウール	8.28	0.8	0.36	1.67	0.42	2.16



第5図 培地資材を異にする循環型養液栽培における培養液pHの推移

○-やし殻繊維 ■-樹皮 ○-もみ殻くん炭 ▲-ロックウール



第6図 培地資材を異にする循環型養液栽培における培養液の陽イオン組成の推移

Org: 作成直後の培養液    ■ Na<sup>+</sup>    ■ NH<sub>4</sub><sup>+</sup>    □ K<sup>+</sup>    ■ Mg<sup>2+</sup>    ■ Ca<sup>2+</sup>

第3表 循環型養液栽培における培地資材の違いがトマトの果実収量に及ぼす影響

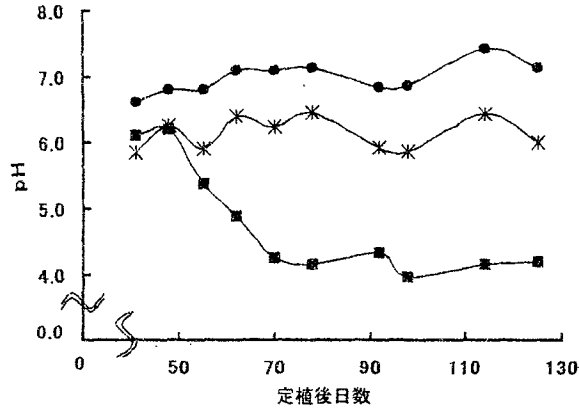
培地資材	株当たり収量				商品果率 (%)
	総収量 (個/株) (kg/株)		商品果収量 <sup>z</sup> (個/株) (kg/株)		
やし殻繊維	19.4	2.37b <sup>y</sup>	10.8	1.53b	64.7b
樹皮	20.8	2.43b	11.1	1.66b	68.4b
もみ殻くん炭	19.6	2.49b	8.9	1.34a	53.8a
ロックウール	21.2	2.79a	9.2	1.39a	49.9a

z: 100g以上の正形果

y: 異なるアルファベットはチューキーの多重検定で5%レベルで有意差あり

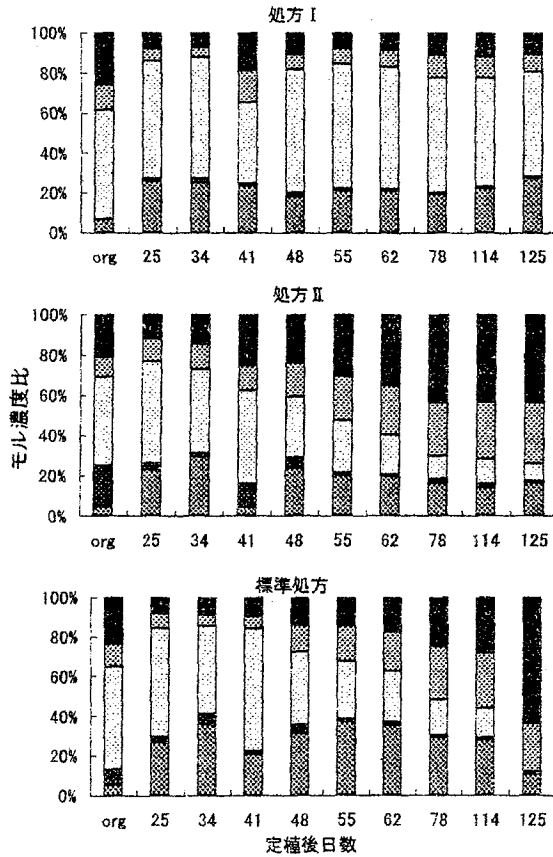
第4表 供試した培養液処方の組成

処方	成分(mM)						
	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	P	K	Ca	Mg	S
標準処方	14.8	1.2	1.2	7.4	3.7	1.7	3.7
処方Ⅰ	16.0	0.0	2.0	10.0	4.0	1.7	3.7
処方Ⅱ	12.0	4.0	1.3	8.0	4.0	2.0	10.7



第7図 培養液処方を異にする循環型養液栽培における培養液pHの推移

—\*—標準処方 —●—処方Ⅰ —■—処方Ⅱ



第8図 培養液処方を異にする循環型養液栽培における培養液のイオン組成の推移

Org:作成直後の培養液 Na<sup>+</sup> NH<sub>4</sub><sup>+</sup> K<sup>+</sup> Mg<sup>2+</sup> Ca<sup>2+</sup>

第5表 培養液処方がトマトの果実収量に及ぼす影響

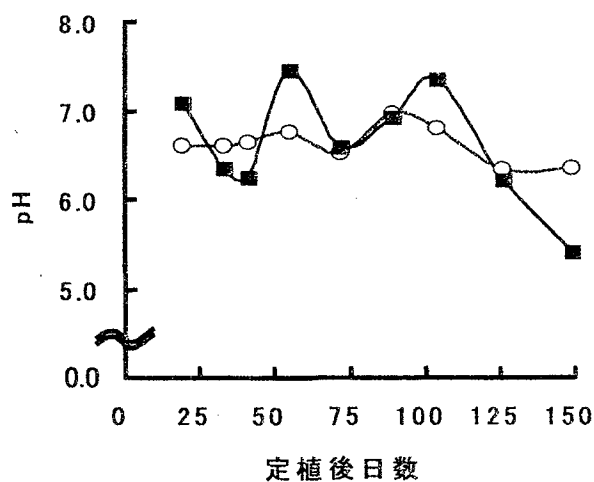
培養液処方	株当たり収量			商品果率 (%)
	総収量 (kg/株)	商品果 <sup>1</sup> 収量 (個/株)	(kg/株)	
処方Ⅰ	5.00a <sup>1</sup>	17.0b	3.16c	63.2b
処方Ⅱ	4.71b	15.4a	2.72b	57.7a
標準処方	5.11a	15.4a	2.96a	58.0a

z:100g以上の正形果

y:異なるアルファベットはチューキーの多重検定で5%レベルで有意差あり

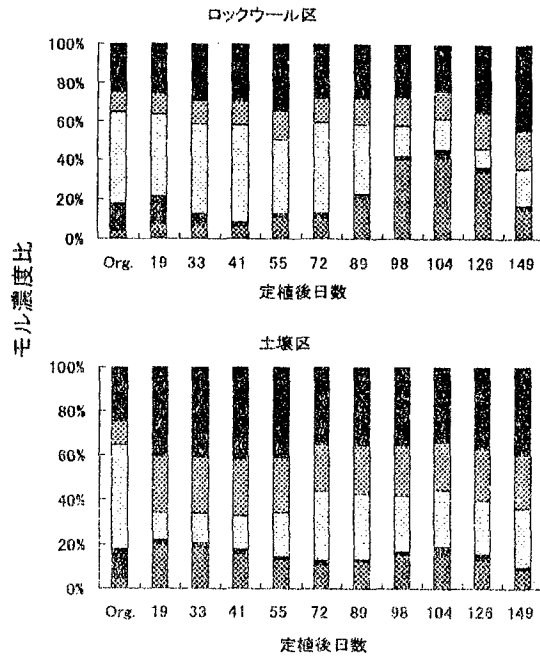
第6表 循環型かん水施肥システムに用いた土壌の化学性

pH	EC (dS/m)	CEC (cmol(+)/kg)	交換性	交換性	交換性
			Ca (cmol(+)/kg)	Mg (cmol(+)/kg)	K (cmol(+)/kg)
5.75	0.17	16.06	8.18	3.64	0.97



第9図 土壌システムとロックウールシステムにおける培養液pHの推移

○—土壌区 ■—ロックウール区



第10図 土壌システムとロックウールシステムにおける培養液の陽イオン組成の推移

Org:作成直後の培養液 Na<sup>+</sup> NH<sub>4</sub><sup>+</sup> K<sup>+</sup> Mg<sup>2+</sup> Ca<sup>2+</sup>

第7表 土壌システムとロックウールシステムにおけるトマトの果実収量及び果実品質

処理	株当たり収量										
	総収量 (kg/株)	商品果 <sup>z</sup> 収量				合計 (kg/株)	商品果率				糖度 (BRIX)
		5月 (kg/株)	6月 (kg/株)	7月 (kg/株)	合計 (kg/株)		5月 (%)	6月 (%)	7月 (%)	平均 (%)	
土壌区	5.39	0.98	1.27	1.88	4.13	84.0	76.1	73.4	76.5	6.02	
ロックウール区	6.00	1.10	1.16	2.06	4.32	84.6	69.9	67.7	72.0	5.71	
	*	ns <sup>y</sup>	ns	ns	ns	ns	*	*	*	*	

z: 100g以上の正形果

y: \*はP=0.05で有意差あり, ns.有意差なし

第8表 かん水制限がトマトの果実収量と品質に及ぼす影響

品種	試験区	果実品質					
		株当たり商品果収量 (個/株)	株当たり商品果収量 (kg/株)	平均果重 (g/個)	糖度 (BRIX)	酸度 (%)	硬度 (g)
桃太郎ヨーク	対照区	16.5	3.66	222	5.6	0.82	229.0
	かん水制限区	15.3	2.82	184	6.8	0.91	242.7
TVR-2	対照区	17.0	3.23	190	5.6	0.77	205.7
	かん水制限区	17.3	2.81	162	6.2	0.94	232.2
ハウス桃太郎	対照区	20.0	3.74	187	5.9	0.82	246.9
	かん水制限区	20.8	3.30	159	5.9	0.98	282.4

かん水制限: 土壌水分が, 定植後-9.8 kPa, 活着から第3花房開花期まで-15.5 kPa, それ以降-31 kPaとなった場合に給液を行うように設定.

# 論文審査結果要旨

養液栽培は連作障害回避、自動化や省力化など多くの特長を有し、今後の施設園芸として大いに期待されている。しかしながら全国施設園芸面積のわずか2%足らずと伸び悩んでいる。そこで本論文では養液栽培の実態と普及上の問題点を明らかにすると共に、それらの問題点を解決し、付加価値の高い実用的な栽培システムとして確立することを目的とした。

まず第1にアンケート調査によって養液栽培の実態を検討したところ、品質的には高い評価を得ているものの、その収量性や収益性に問題があることが明らかとなった。その原因としては装置設備費が高いことや培養液のpHやEC、イオン組成が不安定であることが上げられた。また現行の養液栽培は“掛け流し”式が多く、排液による環境負荷が懸念された。

そこで第2にトマト用養液栽培装置の改善を行った。すなわち培養液管理システムに制御用マイクロコンピュータを利用し大幅なコスト削減を行った。また培養液循環型とし、排液による環境負荷を軽減した。栽培ベッドは軽量の有機質培地用と堅固な土壌培地用を検討した。その結果、既存のロックウールシステムの価格に比べて、有機質培地システムは約1/4、土壌培地システムは約1/3と大幅なコストダウンが可能となった。

第3に緩衝能を有する有機質培地を用いたトマトの循環型養液栽培システムをロックウールシステムと比較検討した。その結果、CECの大きい有機質培地栽培はロックウール栽培に比べて循環排液のpHやEC、イオン組成が安定であること、商品化収量、商品化率が高いことが明らかとなった。また、有機資材としてはヤシ殻が、培養液としてはアンモニウム態窒素を最小限とする処方が緩衝能に優れる事を明らかにした。

第4にトマトの高品質果実生産を行うために、培地水分を制御できる土壌培地循環型灌水施肥システムを開発し、既存ロックウール栽培と比較検討した。土壌としては適度のCECと透水性を有する砂壤土を選択した。その結果、土壌培地では循環排液のpHやEC、イオン組成が安定であること、商品化収量、商品化率が高いことが明らかとなった。また土壌水分を制限することで糖度と酸度に優れた高品質トマト生産の可能性が示された。

本研究は、低コストで環境負荷を軽減し、かつ安定収量と高品質果実生産が可能な「培地の緩衝能を活用したトマトの循環型養液栽培システム」を開発し、施設園芸の振興に大きな貢献が期待される。よって審査員一同は博士(農学)の授与に値するものと判断した。