

## 水稻育苗箱を利用した簡易養液栽培装置の開発と 3種果菜類における土耕との生育および収量の比較

松田眞一郎

### Development of Simple Nutriculture System with Rice Seeding Trays and Growth and Yields of Three Fruit Vegetables in Comparison with Soil Culture

Shin-ichiro MATSUDA

キーワード：キュウリ，水稻育苗箱，土耕，トマト，パイプハウス，メロン，モミガラくん炭，養液栽培

水稻育苗後の遊休ハウスを活用して野菜を生産することを想定し，簡易型養液栽培装置を開発した．本装置（通称「苗箱らく楽培地耕」，以下，「らく楽耕」と略記する）は2段重ねた水稻育苗箱を栽培槽とし，上段はモミガラくん炭を充填した培地槽，下段は余剰培養液を溜めて再利用するための培養液貯留槽である．本装置の導入費用は，間口7.5m×奥行50mの施設の場合，17万円程度に抑えることができ，かつ，組み立てや撤去が容易である．らく楽耕によるトマト，キュウリおよびメロンについて土耕と比較検討したところ，生育は，トマトではらく楽耕区と土耕区に差がなく，キュウリとメロンではらく楽耕区が土耕区を有意に上回った．可販収量は，トマトではらく楽耕区が土耕区を上回り，キュウリでは両区間に大差はなかった．メロンの果実重量はらく楽耕区が有意に大きく，果実糖度は両区間に差はなかった．ネットは，らく楽耕区の方が密に張ったがその盛り上がりの程度（隆起度）は土耕区よりも低かった．らく楽耕区の貯留培養液は，pHはいずれも定植直後で9以上あったが，高pHによる要素欠乏症は認められなかった．EC値は，供給した培養液よりも高く推移した．その成分組成は，初期にKの割合が高かったが栽培中に次第に減少した．また，Mg，Caおよび硝酸態窒素の割合が増加したが，生理障害は認められなかった．以上のことから，らく楽耕は水稻育苗後のハウスに導入する技術として適していると考えられた．

## 1. 緒言

滋賀県の水田率は92%で全国第2位の位置にあり<sup>1)</sup>，2008年の米の産出額は364億円で，農業産出額616億円全体に占める割合は59%と非常に高い<sup>17)</sup>．このように，本県の農業は米への依存度が高く，近年の米価低落の影響から水田作経営の複合化が必要である．県内には水稻育苗の後には活用されていない水稻育苗用のハウスが推計で50ha程度存在すると見積もられ，これらハウスの遊休期間を利用して園芸品目を導入する試みも開始されている．

水稻育苗ハウスを野菜生産へ活用する場合，土耕

は，耕耘・畝立ての労力と，次の水稻育苗開始時までに平らな状態に戻すための労力が必要である．さらに，水稻育苗の作業性の面からコンクリート舗装等が行われており土耕が不可能な場合もある．

このようなことから，施設野菜栽培に不慣れな水田作農家が栽培することができ，かつ，装置の設置や撤去が容易な養液栽培システムを考案した<sup>14)</sup>．3種類の果菜を供試して本装置による栽培を実証し，「苗箱らく楽培地耕」（以下，「らく楽耕」という）を開発したので報告する．

## 2. 材料および方法

### 2. 1 栽培装置

栽培槽は水稻育苗箱（縦30×横60×深さ3cm）を上  
下2段に重ね合わせて構成した（図1）．下側の水稻  
育苗箱（以降下段と略記する）は内部に不透水性の  
プラスチックフィルム（幅45cm，厚さ0.07mm）を敷  
設して培養液貯留槽とした．上側の水稻育苗箱（以  
降上段と略記する）は底面の穴の数が多し中苗用の  
箱を使用し，一箱あたりモミガラくん炭を約5L充填  
して培地槽とした．この上下段1組の水稻育苗箱を横  
方向に複数個並べることで栽培ベッドを作成した．  
給液チューブ（エバフローA型，MKVドリーム）は  
栽培槽上面中央部に下向きで1本配置した．供試ハウ  
スはあらかじめ床面の土壌をならし，栽培ベッド設  
置部へマルチを敷設しておいた．給液装置は水道栓  
直結型とし，配管上に流量調節用バルブ，電磁弁，  
タイマー，フィルタ，液肥混入器および流量計を配  
し，栽培ベッドへ培養液を供給する方式とした（図

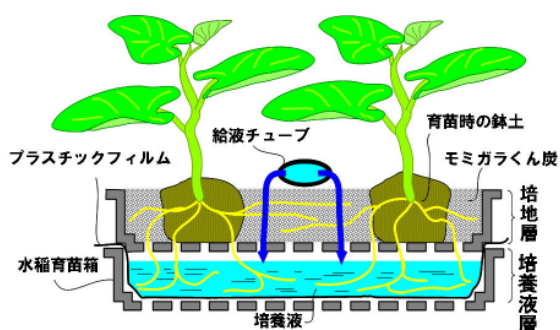


図1 苗箱らく楽培地耕の栽培槽の断面図

2)．1箱1回あたりの給液量は，トマトおよびキュ  
ウリで0.5L，メロンで1.25Lとし，生育段階や天候に  
より給液回数を変更した．

### 2. 2 トマト栽培における土耕との生育，収量の 比較および培養液成分組成の推移

トマト (*Solanum lycopersicum* L.) の台木 ‘がんば  
る根3号’ (2007年5月21日播種) に，穂木 ‘桃太郎  
ファイト’ (5月24日播種) し，呼び接ぎし，10.5cm  
黒ポリポットへ鉢上げ (6月11日) した．土耕区，ら  
く楽耕区ともに1区48株で，株間30cm条間50cmの2条  
植えて，畝間2.25 m (らく楽耕区は2株/箱) とし6月  
29日に間口4.5m長さ30mのビニルパイプハウス内に  
定植した (表1) ．

らく楽耕区はモミガラくん炭が乾燥した状態で定  
植した．培養液は，タンクミックスA&B (濃厚原液  
中N:P:K = 1.35:0.75:1.95，大塚化学) を液肥混入器  
(ミックスライト，ESウォーターネット) でEC0.8  
～1.5dS/mに希釈し，調製した．定植直後には下段の  
箱からあふれる程度まで培養液を供給し，その後の  
給液量は1回あたり0.5L/箱とし，給液回数は天候や  
生育段階，さらには下段の貯留培養液量により，1日  
に1～14回に設定した (表1) ．土耕区の施肥は表1の  
とおり実施した．

両区とも，各花房3～4花開花時にGA10ppmを含む  
4-CPAで単為結果処理した．主茎の第8花房上2葉を  
残して摘心し，摘果は行わなかった．

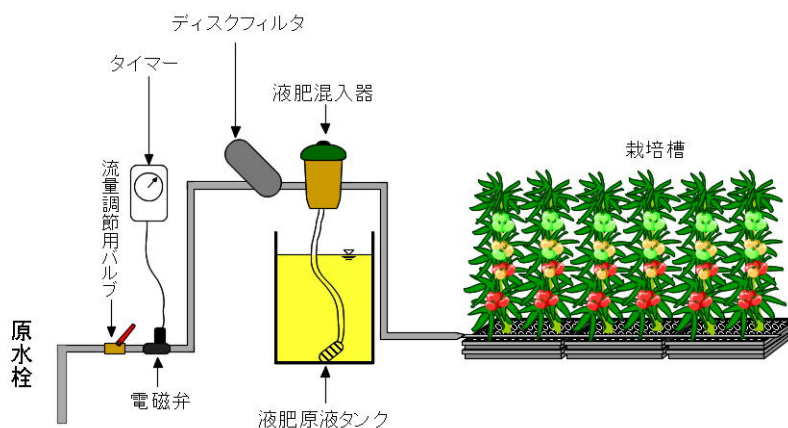


図2 水道直結の場合の栽培システムの全体図

各区10株について茎長と各果房直下の茎径を測定し、収穫調査は各区10株について8月9日から11月14日まで実施した。また、第1, 3, 5, 7果房の各10果は、Brixと酸度の調査に供した。Brixはデジタル糖度計 (TRM-110, タキイ種苗) で、酸度は中和滴定法で測定しクエン酸当量として表した。

### 2. 3 キュウリ栽培における土耕との生育、収量の比較および培養液成分組成の推移と培地温

台木として‘Newスーパー雲竜’を、穂木として、キュウリ (*Cucumis sativus* L.) ‘フレスコ100’ (いずれも2007年6月4日播種) を呼び接ぎし、10.5cm黒ポリポットへ鉢上げ (6月13日) した。らく楽耕区の栽培槽は2. 1のとおりとした。

土耕区、らく楽耕区ともに1区24株で、株間60cm, 条間50cmの2条植え (らく楽耕区は1株/箱) とし6月27日にトマトと同じ間口4.5m長さ30mのビニルパイプハウス内に定植した。

らく楽耕区は定植直後から液肥混入器 (ミックスライト, ESウォーターネット) で希釈した肥料 (タンクミックスA&B, 大塚化学) を給液した。給液濃度は定植後から収穫開始期までEC2.0dS/m, その後は収穫終了時までEC2.4dS/mとした。らく楽耕区の給液量は1回あたり0.5L/箱とし、給液回数は天候や生育段階、さらには下段の貯留培養液量により、1日に1~18回に設定した。土耕区の施

肥は表1のとおり実施した。

両区とも主茎は第24節摘芯とし、第5節目までに発生した子づるはすべて除去した。第10~15節より発生した子づるのうち1本を伸ばし、それ以外は1節または2節で摘芯した。孫づる以降は草勢に応じて放任または摘芯し、1株には常に生長中の茎頂部が4~5本あることを目安に整枝した。

栽培中の主茎の茎長、葉数および主茎に着生する葉の葉長と葉幅および各節から発生する側枝の第1節間長を測定した。収穫は7月22日から9月20日までの間、果実が100g前後になった時を目安に行い、曲がりの程度により上物、中物および下物に分類し、上

表1 トマト、キュウリおよびメロンにおける耕種概要ならびに調査項目

		らく楽耕区		土 耕 区	
トマト	品種 (共通)	台木: ‘がんばる根3号’ 穂木: ‘桃太郎ファイト’			
	基 肥	な し	稲わら堆肥	5t	(/10a)
			苦土石灰	100kg	
			BM苦土重焼リン	20kg	
			CDUタマゴ化成	60kg	
追灌	肥	タンクミックスA&B	トミー液肥ブラック	20kg×3回	
定植日	水	-	適 宜		
給液濃度	濃	EC0.8~1.5dS/m	2007年6月29日		
給液回数	回	1~14回/日	-		
共通調査項目		茎長, 各花 (果) 房直下の茎径, 果実糖酸度			
単独調査項目		貯留培養液pH, EC, NO <sub>3</sub> -N, K, P, Ca, Mg			
		らく楽耕区		土 耕 区	
キュウリ	品種 (共通)	台木: ‘Newスーパー雲竜’ 穂木: ‘フレスコ100’			
	基 肥	な し	稲わら堆肥	5t	(/10a)
			苦土石灰	100kg	
			発酵鶏糞	120kg	
			なたね油かす	120kg	
			BM苦土重焼リン	20kg	
			CDUタマゴ化成	60kg	
			燐硝安カリ	20kg	
追灌	肥	タンクミックスA&B	トミー液肥ブラック	20kg×5回	
定植日	水	-	適 宜		
給液濃度	濃	EC2.0~2.4dS/m	2007年6月27日		
給液回数	回	1~18回/日	-		
共通調査項目		茎長, 葉数, 葉長, 葉幅, 側枝第1節間長, 収量, 品質			
単独調査項目		培地温, その他はトマトと同じ			
		らく楽耕区		土 耕 区	
メロン	品種 (共通)	‘雅 夏系2号’			
	基 肥	な し	苦土石灰	100kg	(/10a)
			BM苦土重焼リン	20kg	
			CDUタマゴ化成	33kg	
			BM有1号	80kg	
追灌	肥	タンクミックスA&B	-	-	
定植日	水	-	適 宜		
給液濃度	濃	EC0.5~2.0dS/m	2007年8月3日		
給液回数	回	1~5回/日	-		
共通調査項目		茎長, 葉数, 葉長, 葉幅, 茎径, 果重, 果実糖度, 果肉厚, ネット品質			
単独調査項目		キュウリと同じ			

中物収量を可販収量とした。栽培期間中に3回、収穫果実の果径と果長を測定した。果径は果実を4等分する部位3カ所について測定し、果長を果実中央部の果径で除した値を果形指数として表した。栽培期間中を通して、培地温と栽培ベッド上20cmの位置の気温を毎正時に測定し、データロガーに記録した。

## 2. 4 メロン栽培における土耕との生育、収量の比較および培養液成分組成の推移と培地温

メロン (*Cucumis melo* L.) 品種‘雅 夏系2号’ (2007年7月20日播種、黒ポリポットへの鉢上げ7月27日) を、1区16株で株間60cm、条間50cm (らく楽耕区は1株/箱) とし8月3日に定植した (表1)。8月29日に主茎を第25節で摘芯し、8月24日～29日の間に手で交配して第12～14節に3果着果させた。果実が鶏卵大に肥大した時点で形状のよいものを1個残し、後は側枝ごと摘果した。摘果後は玉つりを行い、日焼け防止のために果実を新聞紙で被覆した。

らく楽耕区は、定植直後から液肥混入器 (ドサトロン、サンホープ) で肥料 (タンクミックスA&B、大塚化学) を希釈した培養液を給液した。定植後は、定植10日後までEC1.5dS/m、定植10日後～開花20日後までEC2.0dS/m、開花30日後までEC1.5dS/m、それ以降は収穫直前までEC0.5dS/mで管理した。らく楽耕区の給液量は1回あたり1.25L/箱とし、給液回数は天候や生育段階、さらには下段の貯留培養液量により、1日に1～5回とした。土耕区の施肥は表1のとおりとした。

収穫は開花約60日後を目安とし、収穫後直ちに1果重、果径および果長を測定した。4日間追熟させた後に果実を縦方向に2分割し、赤道部の果肉厚を測定した。果実糖度は、赤道部を果実の鉛直方向に3分割して内側から内壁部、中壁部、外壁部とし、内壁部と中壁部をデジタル糖度計 (TRM-110、タキイ種苗) で測定した。

定植後から8月30日までの間、培地温と栽培ベッド上15cmの位置の気温を測定し、データロガーに記録した。

## 2. 5 らく楽耕区における貯留培養液のpH、ECならびに養分組成の測定

らく楽耕区の貯留培養液を定期的に採取し、pHおよびECを測定後、硝酸イオン濃度はRQフレックスで測定し、硝酸態窒素 (NO<sub>3</sub>-N) 濃度として表した。さらに、同じ培養液を適宜希釈し、カリウム (K)、カルシウム (Ca)、マグネシウム (Mg) は原子吸光光度法で、リン (P) はトルオーグ法によりそれぞれ測定し、もとの採取培養液中に含まれる各元素を当量比で表した。

## 3. 結果および考察

### 3. 1 栽培装置の導入費用

栽培槽に用いる水稻育苗箱は既存のものを利用するとした場合、図2に示した水道直結型の栽培装置を間口7.5m、奥行き50mのハウスに導入する際の費用は約17万円と見積もられた (表2)。養液栽培の初期投資は非常に大きく、ハウス設備を除いても10aあたり数百万円～一千万円以上かかるのが一般的である。一方、本方式では既存の水稻育苗箱を栽培槽として利用できるほか、給液設備が簡易で自作もできることから、初期投資を大幅に低減することが可能である。

表2 栽培装置の構成資材と費用の概算額\*

資材	単価 <sup>1)</sup> (円)	使用数量	金額 (円)	パターン <sup>2)</sup>	
				①	②
水稻育苗箱 (608枚)	250	304枚×2段	152,000	既存品を利用	
POフィルム(0.1mm厚) 135cm×100m	11,000	2/3巻 <sup>3)</sup>	7,400	○	○
貯水タンク (200L)	8,000	1個	8,000	○	-
浅井戸ポンプ	62,000	1台	62,000	○	-
ディスクフィルター	10,000	1個	10,000	○	○
電磁弁 (φ25)	18,000	1個	18,000	○	○
液肥混入器	85,000	1台	85,000	○	○
液肥用タンク (200L)	8,000	1個	8,000	○	○
タイマー	9,000	1台	9,000	○	○
フロートバルブ	3,000	1個	3,000	○	-
点滴チューブ (1000m巻)	23,000	200m	4,600	○	○
モミガラくん炭 (100L入り)	600	約1,700L	10,200	○	○
諸配管資材	15,000		15,000	○	○
合計				240,200	167,200

\* 栽培面積: 7.5×50mハウス、栽培品目: トマト、ベッド長182.4m (22.8m×4列×2)

<sup>1)</sup> 価格は変動する

<sup>2)</sup> ①水道直結で利用できない場合 ②水道直結で利用可能な場合

<sup>3)</sup> 45cm幅に3分割しうち2本を使用

### 3. 2 らく楽耕における根への酸素供給とモミガラくん炭の培地としての物理性評価

養液栽培で作物を安定して生育させるためには根域の環境を化学的・物理的に適した状態にする必要がある。化学的狀態，すなわち，生育に必要な栄養塩類については，これまでから作物の養分吸収量に基づいた各種処方が提案されている<sup>2 6)</sup>。また，物理的狀態とは，固形培地耕では培地内の三相分布で表現され，根への酸素供給を円滑に行い，かつ養水分を十分に供給するためには気相率が高く，保水性のよい培地を使用する必要がある。

水稻育苗箱を栽培槽として利用する場合，培地層のみの固形培地耕では培地の量が少なく，少量多頻度給液を行う必要があり，簡易な給液システムでは天候に応じた細かな管理が難しいこと，排水量が多くなること等の問題がある。また，培養液槽のみでは湛液型水耕と同様に培養液中の溶存酸素濃度を飽和溶存酸素濃度の50%を保つように管理する必要がある<sup>2)</sup>が，栽培ベッドを構成する水稻育苗箱すべてに酸素供給の手段を取り付けることは実用的に無理がある。

水耕の一形態をなすNFTでは，培養液がベッド内を流れる間に空気中から混入した酸素も溶存酸素として培養液に含まれており，定植直後からルートマットが形成されるまでは培養液中の溶存酸素が，ルートマット形成後は溶存酸素と空気中の酸素の両方が利用される<sup>2 5)</sup>。一方，保水シート耕では培養液を流動させないものの，根系が湿気中と水中の両方にバランスよく分布しているため，溶存酸素濃度が1.9~3.3ppmと低い条件下でも酸素欠乏等を回避できる<sup>2 0)</sup>。これらの方式ではいずれも根系を空気中と水中の両方に発達させることで，根への酸素供給が円滑に行われている。

らく楽耕では水稻育苗箱を二段に重ねて上段を培地槽，下段を培養液貯留槽とした形態の栽培槽により，根系を空気中と水中に分割することで栽培が可能になると考えられる。本試験で培地に用いたモミガラくん炭の三相分布は，培地資材の水分特性を評

価するのに適しているとされる<sup>8)</sup> pF1.5の時に，固相率26%，液相率17%，気相率57%であった(図3)。らく楽耕の場合，培地槽の直下には培養液貯留槽があることから，気相率はpF1.5の場合よりも少ないものと推察される。丹原ら<sup>2 3)</sup>がモミガラくん炭の三相分布を自由水面上からの距離ごとに測定した結果では，自由水面上約4cmでは気相率が20%程度であった。養液栽培用の培地はpF1で気相率が18~23%必要とされており<sup>1 2)</sup>，らく楽耕では下段に培養液が満水状態で，培地内がより低いpF値であったとしても，培地中には生育に十分な空気を含んでいることになる。実際，トマト，キュウリおよびメロンで栽培中も酸素欠乏による生育障害が観察されなかったことはこれを裏付けるものである。

### 3. 3 3種果菜における生育，収量および品質

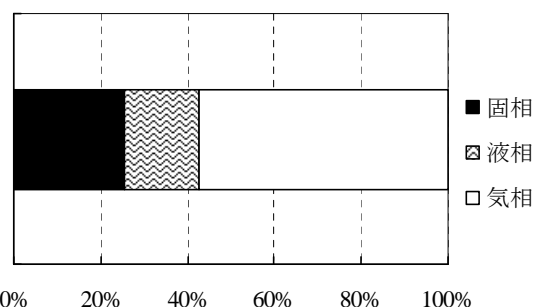


図3 モミガラくん炭培地の三相分布 (pF1.5)

トマトでは定植後の茎長および栽培終了時の摘芯長に2区間の差は見られなかった(図4)。栽培終了時の果房直下節の茎径は，両区とも中位から上位にかけて次第に細くなったものの，第5~第7果房では，同一果房直下の茎径は，らく楽耕区の方が土耕区よりも太かった(図5)。キュウリおよびメロンでは，定植後よりらく楽耕区の方が茎長，葉長，葉幅ともに有意に土耕区を上回った(表3, 4)。またキュウリでは，各節より発生した側枝の第1節間長は，第13節目以上ではらく楽耕の方が長くなる傾向にあった(図6)。これらのことから，らく楽耕では

表3 キュウリにおける主茎長, 葉数および葉長の比較

試験区	主茎長(cm)			葉数 <sup>z</sup>		葉長(cm) 7/18			
	7/5	7/10	摘心長	7/5	7/10	5節	10節	15節	20節
らく楽耕	96	137	200	16.1	22.5	23.8	27.0	27.9	26.5
土耕	78	116	184	14.7	21.0	21.7	24.9	24.4	20.5
	*** <sup>y</sup>	*	**	**	*	**	***	***	***

<sup>z</sup> 葉長2cm以上の葉について計数.

<sup>y</sup> Studentのt検定により\*, \*\*, \*\*\*はそれぞれ5%, 1% および0.1%レベルで有意差があることを示す.

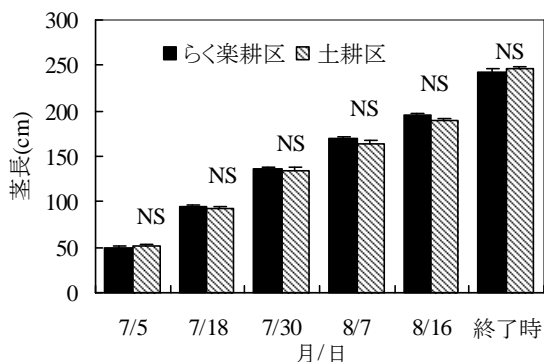


図4 栽培中のトマトの茎長および栽培終了時の摘心長の比較

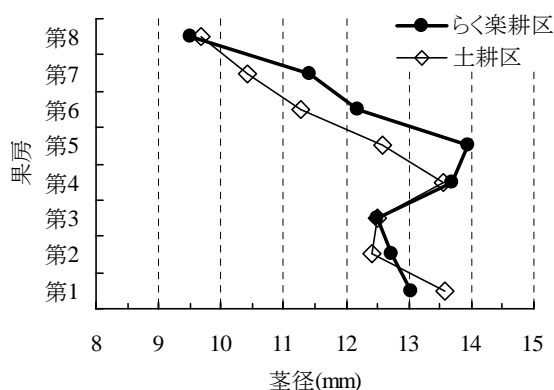


図5 栽培終了時における各果房直下の茎径の比較

根が常に培養液に浸っており, 土耕と比較して養水分が常に利用しやすい状態であったために旺盛な生育につながったものと考えられた.

トマト1株あたりの総収量は土耕区の方が多かったが, 土耕区では可販収量に含まれない裂果や空洞果が多かったため, 上物収量はらく楽耕区が土耕区を0.5kg上回った(表5). 夏秋トマトの雨よけ栽培で発生する放射状裂果は, 土壌水分が変化することによる影響よりも, 茎葉や果実が光が当たりやすい条件で発生するとされている<sup>2,2)</sup>. 本試験の作型

表4 栽培中および収穫後におけるメロンの生育

調査項目	調査日・部位	試験区		
		らく楽耕	土耕	
栽培期間中				
草丈 (cm)	8/10	26.2	19.6	*** <sup>z</sup>
	8/16	79.0	62.0	***
葉数 (枚)	8/10	6.2	5.3	***
	8/16	14.6	12.8	***
葉長 (cm)	8/10 第5葉	10.7	6.2	***
	8/16 第5葉	22.5	18.8	***
	8/16 第10葉	14.5	9.4	***
	8/16 第10葉	14.5	9.4	***
収穫終了後				
摘心長(cm)		155	147	*
葉長 (cm)	第10葉	32.4	27.8	***
	第17葉	34.4	29.0	***
	第24葉	35.1	26.1	***
茎径 (mm)	第10節下	16.9	14.4	***
	第17節下	16.0	12.4	***
	第24節下	14.4	10.1	***

<sup>z</sup> Studentのt検定により, \*, \*\*\*はそれぞれ5%, 0.1%レベルの有意差があることを示す.

は, 鈴木と柳瀬<sup>2,2)</sup>の事例よりも播種日が約1カ月半遅いが, 収穫期の大部分は重複している. 本試験では収穫調査の際, 亀裂部が1cm程度の軽微な放射状裂果は可販収量に含めることとした. したがって, らく楽耕区と土耕区で裂果による可販収量に差が生じたのは, 土耕区は根域の土壌水分がハウス外の天候に左右されやすく, 軽微な放射状裂果が可販収量に含まれない甚大な裂果に発達したためと考えられた. このように, らく楽耕は果実品質が土壌水分の変動に左右されないため, 高温・強日射による果実品質低下対策を確立すれば, 高温期に栽培する作型にも適用できることが示唆された. また, トマトの収穫果実の糖度については, 両区に一定の傾向は認

表5 トマトの収量および下物内訳

試験区	収量(kg/株) <sup>z</sup>			果数(個/株) <sup>z</sup>			上物平均 果重(g)	下物内訳(個/株)					
	総量	可販	下物	総数	可販	下物		乱形	裂果	尻腐れ	空洞	小果	その他
らく楽耕	2.9	1.6	1.4	24.9	12.5	1.2	125	0.1	8.0	0.5	0.2	3.0	0.6
土耕	3.2	1.1	2.1	24.5	8.6	15.9	130	0.1	11.1	0.8	1.1	2.3	0.5

<sup>z</sup> 下物は、乱形、裂果、尻腐れ、空洞、小果(80g未満)およびその他とした。

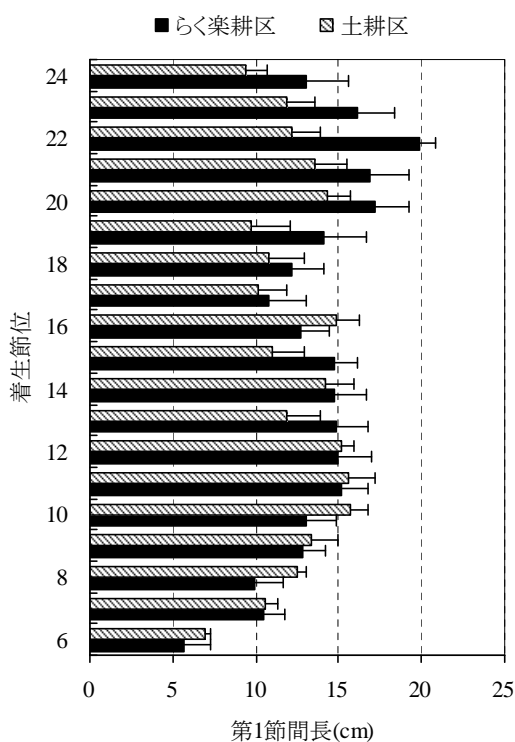


図6 キュウリにおける栽培終了時の側枝第1節間長の比較

表6 トマト収穫果の糖度、酸度ならびに糖酸比

果房	試験区	糖度(Brix%) <sup>z</sup>	酸度(クエン酸%) <sup>z</sup>	糖酸比
第1	らく楽耕	6.4 ± 0.08	0.69 ± 0.02	9.3
	土耕	6.9 ± 0.07	0.87 ± 0.02	7.9
		*** <sup>y</sup>	***	
第3	らく楽耕	5.4 ± 0.10	0.71 ± 0.02	7.6
	土耕	5.3 ± 0.10	0.82 ± 0.03	6.5
		NS	*	
第5	らく楽耕	5.8 ± 0.10	0.65 ± 0.03	9.0
	土耕	5.3 ± 0.08	0.61 ± 0.03	8.6
		***	NS	
第7	らく楽耕	6.0 ± 0.16	0.70 ± 0.04	8.6
	土耕	6.4 ± 0.07	0.82 ± 0.04	7.8
		*	*	

<sup>z</sup> いずれの区も、各果房完熟果10果を供試。平均値±SE.

<sup>y</sup> Studentのt検定により、\*、\*\*\*およびNSはそれぞれ5%、0.1%レベルの有意差ありおよび有意差なしを示す。

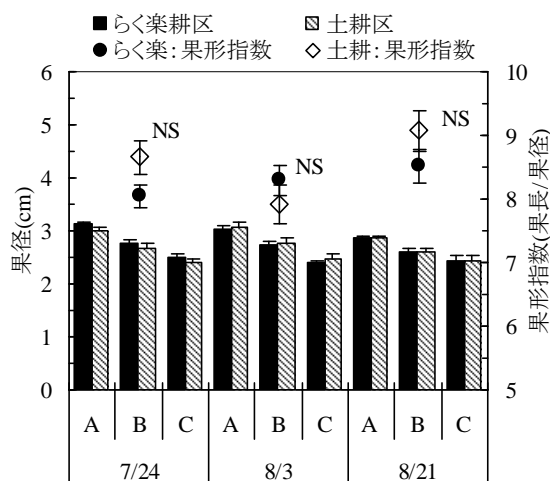


図7 収穫果実の果径および果形指数

※) 果実を4等分する部位を付け根側よりA, BおよびCとして果形を測定。果形指数は、果長をB部の果形で除した値。

められなかったが、酸度は第5果房を除いては土耕区の方が有意に高く、糖酸比は測定したすべての果房でらく楽耕区の方が高い傾向を示した(表6)。したがって、らく楽耕においても、土耕と同等か、それ以上の品質の果実が収穫可能なことが明らかになった。

養液栽培のキュウリは、生育が旺盛で収穫開始も早まって短期間に集中し、草勢の衰えが早く後期の収量が上がらないとされる<sup>2)1)</sup>。浅尾ら<sup>1)</sup>は、キュウリの培養液を交換しない場合に見られる生育後半の収量低下の原因が、根から滲出する生育抑制物質にあり、当該物質で生育が抑制されない台木に接ぎ木することで収穫期間が延長するとしている。一方、本試験においては、らく楽耕区の生育は土耕区よりも旺盛であったが、後半の草勢の衰えは見られなかった。総収量、可販収量および下物の内訳についても土耕区との差は認められず(表7)、さらに、収穫果の果形指数にも区間差は認められなかった

表7 キュウリの総収量, 可販収量および下物内訳

試験区	総収量 <sup>z</sup>		可販収量		下物内訳(本/株)				
	kg/株	本/株	kg/株	本/株	曲がり	尻太り	先細り	くびれ	短果
らく楽耕	10.9	97.2	9.3	81.4	9.7	0	4.0	0	2.0
土 耕	10.9	97.6	9.0	80.1	10.9	0	5.2	0.2	1.0

<sup>z</sup> 収量調査は10株を対象に実施.

(図7) . らく楽耕区の収量が土耕区の収量と同等であったのは, 収穫期間が約2ヶ月間と短期間であり, 草勢が低下する前に栽培を終了した可能性があること, もしくは, 掛け流し方式の栽培法をとっていたために生育抑制物質の蓄積がなかったか, 生育抑制の程度が軽微で, 具体的なデータとして表面化しなかったことによるものか, 今後検討する必要がある. 本栽培方法においても, 肥料の無駄を低減するために給液量を制御する必要があり, また水稻育苗が終了した直後の5月中に定植する場合にはさらなる収穫期間の延長が想定される. したがって, 品種や台木の選定を含め, 収穫期間を延長しても生育や収量を低下させないための対策を講じることが必要になってくるであろう.

メロンの養液栽培では果実が肥大しすぎ, 糖度が上がらないといわれている<sup>3)</sup>. したがって, 養液栽培で果実の過剰肥大を抑制し果実品質を向上させるため, 栽培後半の窒素の吸収を抑制する方法が循環型水耕<sup>3)</sup>, くん炭培地耕<sup>1 0) 1 1)</sup>さらにはロックウール耕<sup>1 5)</sup>等で報告されている. また, 培養液中に含まれるアンモニア態窒素(NH<sub>4</sub>-N)の比率を高めることで果実の肥大が抑制されるが可溶性固形物含量は高まることも報告されている<sup>1 3)</sup>. しかし, 水稻育苗後のハウスへ簡易システムとして導入することを考えると, 培養液中の窒素形態の比率を変更するよりも, 栽培後半の窒素供給を制限する方法がより導入しやすい現実的な方法であると考えられる. そこで本試験ではらく楽耕区の栽培に市販の1液型肥料を使用し, ネットがほぼ果実全体に行き渡って入った交配約30日後から供給する培養液のEC値を0.5dS/mまで低下させた. 本試験での収穫果実の果重は, 土耕区が約1,800gであったのに対して, らく楽

表8 メロン収穫果の品質比較

測定項目	試験区		
	らく楽耕	土 耕	
果 重	2,517	1,805	*** <sup>z</sup>
果 長	16.6	14.8	*** <sup>z</sup>
果 径	16.7	15.0	*** <sup>z</sup>
糖 度 内壁部	16.5	16.4	NS <sup>z</sup>
(Brix) 中壁部	15.9	15.9	NS <sup>z</sup>
果肉厚	4.5	4.2	* <sup>z</sup>
ネット	3.2	2.5	NS <sup>y</sup>

<sup>z</sup> Studentのt検定により, NS, \*および\*\*\*はそれぞれ有意差なし, 5%および0.1%レベルの有意差があることを示す.

<sup>y</sup> 粗~密を0~4の5段階で評価. Mann-WhitneyのU検定により有意差なしを示す.

耕区は約2,500gで有意に大きく, 果長および果径もらく楽耕区が土耕区を有意に上回り(表8), 果実の過剰肥大が生じる結果となった. しかし, 内壁部の果肉糖度は, らく楽耕区が16.5度で土耕区が16.4度, 中壁部ではらく楽耕区, 土耕区ともに15.9度と, 両区間での有意差は認められず(表8), 過剰肥大による糖度の低下は認められなかったことから, らく楽耕においても果実の内容成分では十分な品質を確保できるものと考えられた. 一方, 果実のネットでは, 有意差はないものの, らく楽耕区の方が土耕区よりもやや密に入る傾向があり, 盛り上がりの程度も全般的にやや低かった(表8, 図8). 籠橋ら<sup>1 0)</sup>は, モミガラくん炭培地耕による春作および秋作のメロンについて培養液濃度を3段階に設定し, 栽培中に濃度を変化させずに栽培した結果, いずれの作型においても培養液濃度が高くなるほどネットが粗であったとしている. このとき籠橋ら<sup>1 0)</sup>が用いた培養液はEC1.0 dS/m相当のもので全窒素5.0mM(うち硝酸態窒素3.9mM)を含んでいる. EC0.5~2.5 dS/mの間では培養液濃度とEC値が直線関係にあったとし



ていることから、彼らが供試した最も高い培養液濃度EC2.0 dS/mにおいて全窒素は10mM強含まれていたものと推定できる。一方、本試験では生育段階ごとに供給する培養液濃度を変えているものの、主として使用した培養液はEC1.5～2.0dS/mであり、この培養液中には計算上、総窒素が9.6～13.3mM（硝酸態窒素8.8～12.2mM）含まれている。この範囲は籠橋ら<sup>10)</sup>の条件におそらく近いものであろうが、本試験では逆にネットが密に入り過ぎる傾向にあった。比較対照が土耕であるため、本試験の結果からはネット密度と培養液濃度との関係を正確に把握はできないが、品種による影響や作付け時期のわずかな違い等に影響されている可能性もあるため、今後詳細な検討が必要である。



図8 らく楽耕区（左）と土耕区（右）の果実における外観の比較  
※）縮尺はそろえてある。

### 3. 4 らく楽耕区における貯留培養液のpH、ECおよび組成

らく楽耕区における下段の貯留培養液は、いずれの果菜も、定植直後にpH9～10程度を示したが、高pHによる生理障害等は観察されなかった。その後、pHは次第に低下し、栽培中期以降はpH5～6の間で推移した（図9、10、11）。また貯留培養液のEC値は、3種の果菜とも常に供給培養液のEC値より高めに推移し、いずれも定植直後に貯留培養液のEC値がトマトでは2.3dS/m程度、キュウリでは4dS/m程度、メロンでは2.7dS/m程度まで一時的に上昇した（図

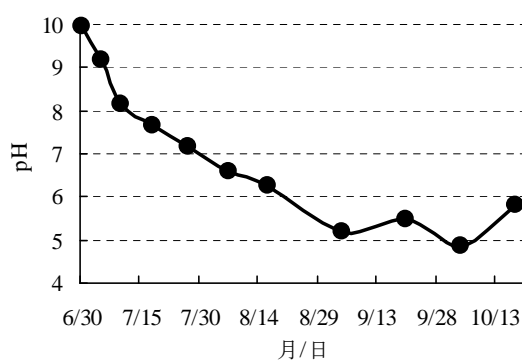


図9 トマトの栽培期間中における貯留培養液pHの推移

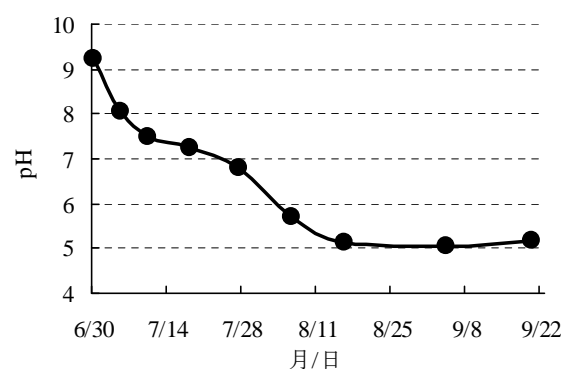


図10 キュウリの栽培期間中における貯留培養液のpHの推移

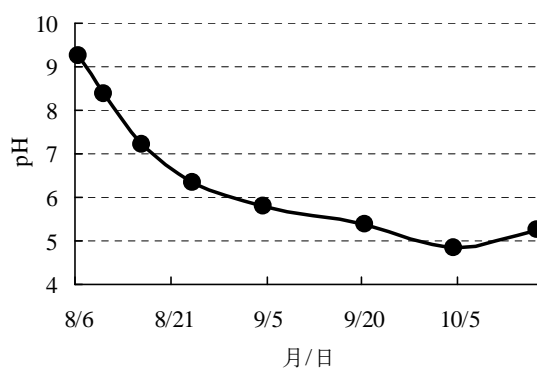


図11 メロンの栽培期間中における貯留培養液のpHの推移

12, 13, 14)。その後の貯留培養液のEC値は、トマトでは定植1カ月後には1.2dS/mまで低下後再び上昇し、最高3dS/m程度まで高まった（図12）。キュウリではトマトのようにEC値の大きな低下は認められず、定植後約1カ月半頃まで次第に高まって最高で

7.0dS/mを示し、その後は6.0dS/m程度で推移した(図13)。メロンでは、定植1カ月目頃に3.0dS/mを超え、その後は給液濃度に連動して次第に低下した(図14)。いずれの果菜でも、栽培中の一定期間は

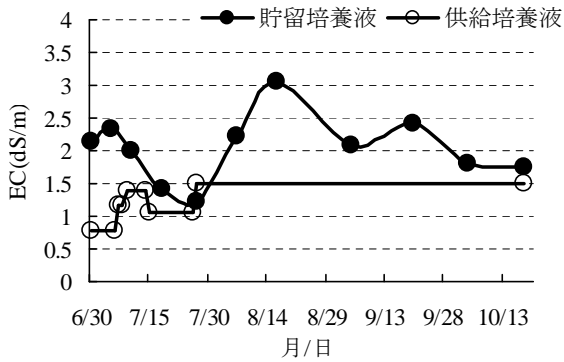


図12 トマトの栽培期間中における貯留培養液および供給培養液のEC値の推移

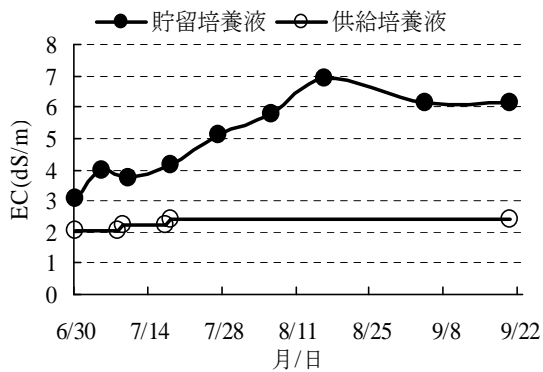


図13 キュウリの栽培期間中における貯留培養液および供給培養液のEC値の推移

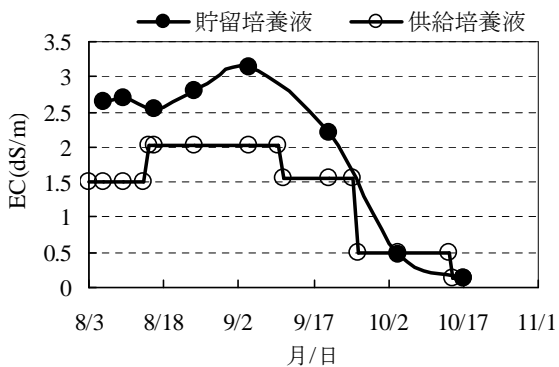


図14 メロンの栽培期間中における貯留培養液および供給培養液のEC値の推移

貯留培養液濃度が適正值よりも大幅に高まったが、濃度障害は認められなかった。

貯留培養液中のKは、栽培初期にはトマトで80%近く、キュウリおよびメロンでは60%程度を占めていたが、いずれも定植後約1カ月間で次第に低下し、それに応じてNO<sub>3</sub>-N、CaおよびMgの割合が高まり、その後はいずれの成分もほぼ一定の割合で推移した(図15, 16, 17)。

らく楽耕で培地として使用しているモミガラくん炭は、水稻生産の副産物として多量に排出されるモミガラを再利用したものである。萩原<sup>5)</sup> 6) はモミガラくん炭を利用した育苗法を提案し、トマトをはじめとする様々な野菜の均質な苗が安価に生産できるが、アルカリ障害への対策が必要なることも指摘している。養液栽培で培養液のpHが高まると、PとCaが

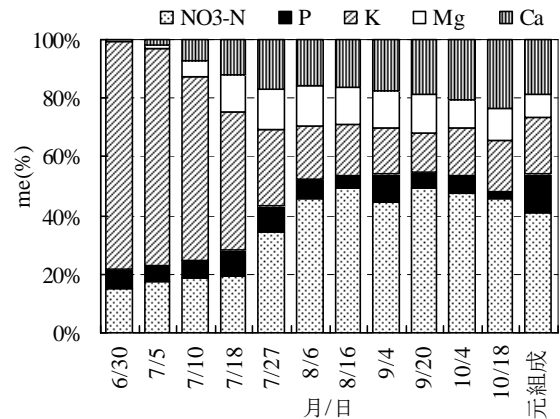


図15 トマトの栽培期間中における貯留培養液の成分組成の推移

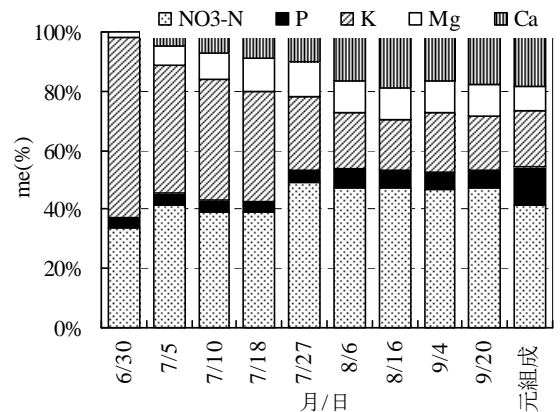


図16 キュウリの栽培期間中における貯留培養液の成分組成の推移

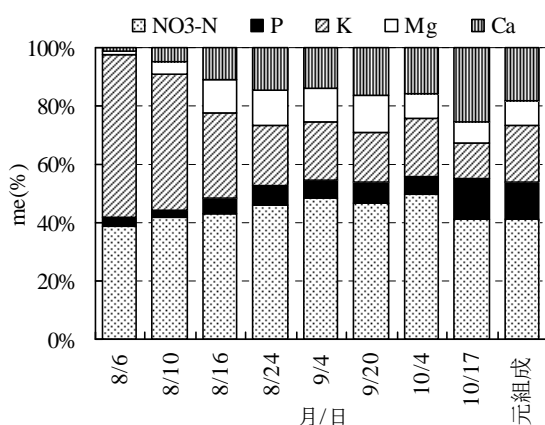


図17 メロンの栽培期間中における貯留培養液の成分組成の推移

結合して沈殿するほか、キレート鉄 (Fe-EDTA) の安定性も悪くなって<sup>2,4)</sup>特に鉄 (Fe) 欠乏症が発生しやすい。大塩ら<sup>1,9)</sup>は、焼成温度が高いほどモミガラくん炭のpHが高くなり、水溶性Kの溶出量も増加することを見出した。そこで、大塩ら<sup>1,9)</sup>は、アルカリ障害を回避するためには、モミガラくん炭の50~100倍量の水で24時間浸漬洗浄するとよいとしている。Fe欠乏症は一般に若い組織のクロロフィル含量の低下として現れ、いったん発生すると回復は難しい<sup>9)</sup>。しかし、本試験では未洗浄のモミガラくん炭を使用し、定植直後の貯留培養液はいずれもpH9を超えていたにもかかわらず、栽培期間全体を通してFe欠乏症は認められなかった。この要因として、今回使用した苗がいずれも10.5cmポットで育苗したもので、育苗培土の緩衝能があり培地内のpHが比較的安定していたためにFeの不溶化が進まず欠乏症が発生しなかったか、もしくは発生していてもごく軽微であったために葉の黄化として認められなかった可能性もある。

また、本試験では定植直後に貯留培養液のEC値が一時的に上昇し、このときKの割合が高まったことから、モミガラくん炭から水溶性Kが多量に溶出していたものと推察される<sup>1,9)</sup>。養液栽培では、培養液中のKの割合がCaやMgと比較して高いと、陽イオン間の拮抗作用の関係で特にMg欠乏症が起りやすくなるため、もとの培養液組成を維持できるよう、

循環式では培養液更新を行ったり、掛け流し式では排水率30%を目安に給液するのが一般的である。らく楽耕の栽培槽は、供給した培養液を下段に貯留する構造であり、Kの割合が定植後に高まったことは、陽イオン間の拮抗作用によるMg欠乏症を誘発するに十分な条件であったと考えられるが、本試験では、栽培期間を通して当該症状は観察されなかった。Kの割合は定植後1ヶ月間で急激に低下しており、このことがMgの欠乏症が生じなかったことに何らかの関連があるのかもしれない。あるいは、Fe欠乏症が発生しなかったと同様に、ポットの土の存在が影響している可能性、もしくは、Mgの欠乏症が発生する前に安全なレベルまでMgの割合が回復したなどの可能性も考えられるが、本結果からは明確ではなかった。したがって、FeやMgの欠乏症が見られなかった点について、育苗ポットの大きさや苗の生育段階等の条件を変えた検討が必要であると思われる。

3種の果菜とも、栽培中の貯留培養液のEC値は供給培養液のEC値よりも高く推移し、栽培中期以降の培養液組成ではKの割合の低下とともにCa、MgおよびNO<sub>3</sub>-Nの割合の増加が見られた。本試験の作付期間では生育障害は認められなかったものの、作期の延長や低温期での作付においては、貯留培養液を適正なEC値および組成に保持するための培養液管理法が必要になると考えられる。

### 3. 5 キュウリおよびメロンのらく楽耕における培地温の推移

6月27日定植のキュウリにおけるらく楽耕の培地温は、定植直後には気温と同程度で推移し日中最大で40℃近くまで上昇したが、7月9日以降は35℃を超えることはなく、最高培地温は最高気温よりも低く推移した (図18)。定植直後の晴天日 (6月30日) では気温の上昇とともにやや遅れて培地温も急上昇し、気温の最高値を示す時間帯と培地温の最高値を示す時間帯がほぼ一致した (図19) が、定植約1ヵ月後の晴天日 (8月9日) では、気温は13時過ぎに最高

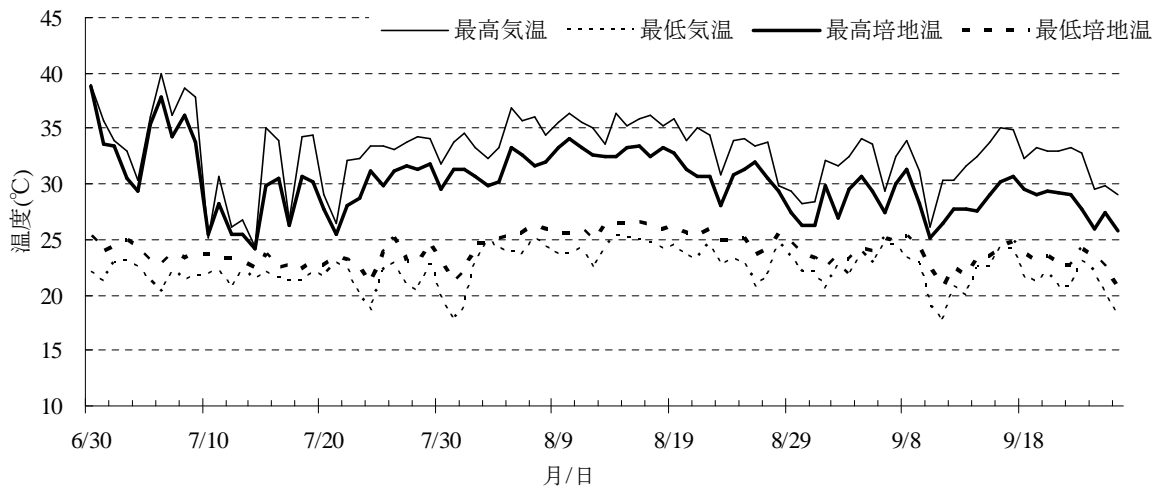


図18 キュウリ栽培期間中の培地温および気温の推移

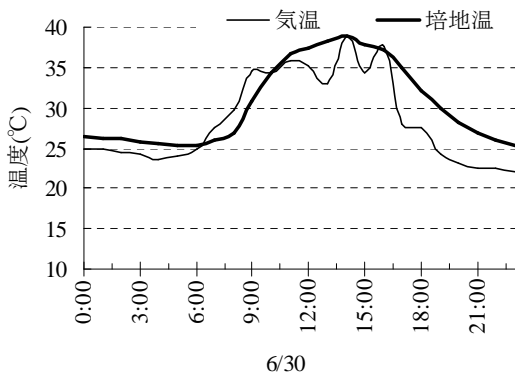


図19 定植直後 (6/30) における気温と培地温の日変化

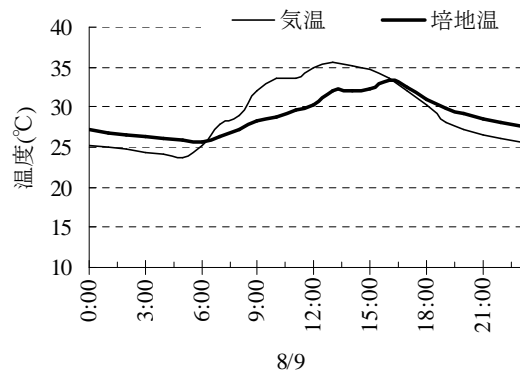


図20 定植43日後 (8/9) における気温と培地温の日変化

を記録したが、培地温は16時30分頃に最高を示した(図20)。8月3日定植のメロンでは、定植直後の培地温は気温と同様に推移し、最高42.8℃を記録したが、8月11日以降は気温が44℃近くまで上昇しても培地温は最高35℃前後であり、気温よりも概ね3~10℃程度低く推移した(図21)。6月29日定植のトマトについては培地温を測定していないが、キュウリと同一ハウス・同一条件下での栽培であったため、定植直後の時期は、ほぼキュウリと同等の温度変化を示したものと考えられる。

養液栽培では、周囲の温度変化が培地や培養液の温度や作物の生育に大きな影響を及ぼし、さらに水耕栽培の場合は溶存酸素濃度の変動などを介した二次的な影響も及ぼす<sup>3)</sup>。養液栽培における最適な根

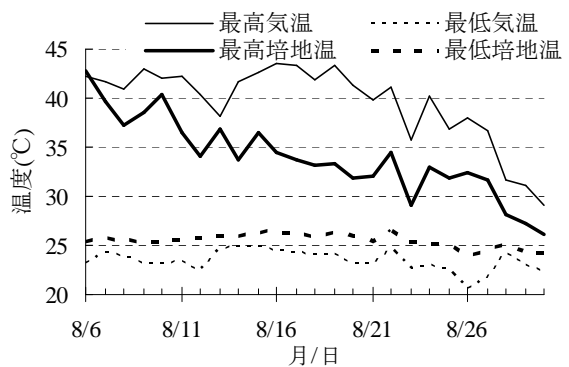


図21 メロン定植後1カ月間の培地温および気温の推移

圏温度は、トマトが15~23℃、キュウリが18~22℃、メロンが18~23℃とされ、生育に支障をきたさない限界温度は3種の果菜とも25℃とされている

3). 特に、夏季の高温時にはハウス内の気温は40℃を超え、培養液や培地の温度も30℃を大きく超えることがあり、生育が抑制される<sup>3)</sup>。本試験では、キュウリ、メロンともに最高培地温は、定植初期に40℃近く、あるいは40℃を上回り、限界温度とされる25℃をはるかに上回った(図18, 21)。1日の培地温の推移を見ても、大部分の時間帯で、限界温度の25℃よりも高かった。また、キュウリでは定植約10日後、メロンでは定植約7~10日後頃より最高培地温が定植初期よりも低くなった。これは、植物体による被覆が進んだことで培地表面に日光が直接当たらず、培地温の上昇が回避されたことによると考えられる。しかし、植物体の生育により培地表面の被覆が進んだ場合でも、1日の培地温は適温範囲を大きく上回って推移しており、これら野菜の生育にとっては不利な条件であることに変わりはない。したがって、今後は定植後の培地の高温下を防止する手段の開発も必要になると考えられる。

#### 4. 総合考察

2007年における国内の養液栽培面積は約1,370haで、方式別ではロックウール耕が最も多い360ha、湛液型水耕が312ha、NFTが113ha、噴霧耕・その他固形培地耕が586haである<sup>16)</sup>。養液栽培では、コンピュータ制御等による労働軽減のシステム生産が可能であり、作業環境が清潔で若者にも取り組みやすい等のメリットがある一方、高い施設費や培養液管理の難しさ、根部病害の発生、使用済みロックウールの産業廃棄物としての処理等の課題もある<sup>7)</sup>。

2007年の滋賀県内における養液栽培面積は16.2haで<sup>16)</sup>、その多くに導入されている少量土壌培地耕等の固定式栽培システムでは、水稲育苗ハウスの空き期間を利用するなど栽培設備の移動を前提とした条件での導入は困難である。そこで、本研究では水稲育苗ハウスを低コストで簡易に活用することを想定し、水稲育苗箱など既存の資材を活用する栽培システム(らく楽耕)を開発するとともに、栽培技術を確認することを目的に、トマト、キュウリおよび

メロンを土耕と比較栽培し、当該技術の評価を行った。

らく楽耕では既存の水稲育苗箱を栽培槽として利用でき、かつ、既設のハウスの水源がそのまま利用できることを前提とすると、間口7.5m、奥行き50mのハウスでは約17万円で設備を導入することも可能で、一般の養液栽培システムと比較すると極めて低コストでの導入も可能であった。

生育面では、トマト、キュウリ、メロンともに土耕よりも優れ、また、収量も土耕と同等か、それ以上を確保できることが明らかとなった。メロンでは、果実の過剰肥大とそれに伴う外観品質の低下が認められたため、今後改善策が必要であると同時に、果実糖度は土耕と同等であったことから、大果メロンの生産技術として確立できる可能性も示された。

下段の貯留培養液は、培地に未洗浄のモミガラくん炭を使用していることから当初のpHは高くなった。また、培養液が貯留するというシステムの特長上、EC値についても、供給培養液より高めに推移したが、高pHによるFe欠乏症や高ECによる濃度障害等は認められなかった。また、貯留培養液の成分は、定植直後にKの割合が高まったが、それにとまなうMgなど他の陽イオンの欠乏症状も確認されなかった。一方で、トマトとキュウリではより長期の作型にも対応可能とするために、成分バランスやEC値を適正に保つことができる管理方法を確立することも必要である。

さらに、今回試験を実施した作型は、水稲育苗ハウスの空き期間を利用することを想定しているため、夏の酷暑期を経過することとなる。今回測定した培地温は、適正とされる根圏の温度をはるかに超えており、ハウス内の他の環境条件によっては、重大な生育障害へとつながる可能性が懸念される。したがって、マルチ資材の利用や、培地表面へ送風することで気化熱を利用した、培地温低下のための簡易な方策も検討することが必要であろう。

以上のことから、らく楽耕はトマト、キュウリお

よびメロンに適用することができ、土耕と同等かそれ以上の収量が得られることから、簡易な養液栽培法として利用可能だと思われた。一方、さらに適応性・生産性を向上させるためには、適切な培養液管理法や環境制御法、ならびにこれらに基づく高品質化・長期作型への対応方策の確立が必要である。

### 引用文献

- 1) 浅尾俊樹・清水法子・太田克巳・細木高志, 1999. 培養液非更新水耕キュウリの接ぎ木による収穫期の延長. 園芸学会雑誌, 68 : 598-602.
- 2) 伊達修一, 2002. 第4章用水と培養液の調整管理. 2培養液の調整・管理. 5酸素濃度. 社団法人・日本施設園芸協会編. 養液栽培の新マニュアル. 190-195, 誠文堂新光社, 東京.
- 3) 伊達修一, 2002. 第4章用水と培養液の調整管理. 2培養液の調整・管理. 6温度. 社団法人・日本施設園芸協会編. 養液栽培の新マニュアル. 195-199, 誠文堂新光社, 東京.
- 4) 福德康雄・寺岡祐子・児藤俊一・久保研一, 2000. 養液栽培におけるアールスメロン (*Cucumis melo* L.) の生育時期別の窒素吸収と分配. 日本土壤肥科学雑誌, 71 : 72-81.
- 5) 萩原佐太郎, 1965. もみがらくん炭利用のそ菜の水耕育苗法. 農業及び園芸, 40 : 43-47.
- 6) 萩原佐太郎, 1968. 最近におけるモミガラクンタンによるそ菜の養液育苗法. 農業及び園芸, 43 : 51-56.
- 7) 池田英男, 2002. 第1章養液栽培の発展と現状. 社団法人・日本施設園芸協会編. 養液栽培の新マニュアル. 1-11, 誠文堂新光社, 東京.
- 8) 岩崎泰永, 2003. 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. 宮城県農業・園芸総合研究所研究報告, 71 : 1-64.
- 9) Jones, J. Benton. 2005. Chapter5 The essential elements, Hydroponics a practical guide for the soilless grower second edition. 29-61, CRC press, New York.
- 10) 籠橋悟・狩野広美・景山美葵陽, 1981. 養分吸収制限が秋作及び春作における温室メロンの生育及び果実に及ぼす影響について. 園芸学会雑誌, 50 : 306-316.
- 11) 狩野広美・籠橋悟・景山美葵陽, 1981. 温室メロンの各器官の生育過程と窒素の蓄積について. 園芸学会雑誌, 50 : 317-325.
- 12) 加藤俊博, 2002. 第2章培地の種類・特性. 3培地の物理的, 化学的, 生物的特性. 社団法人・日本施設園芸協会編. 養液栽培の新マニュアル. 16-17, 誠文堂新光社, 東京.
- 13) Masui, M., A. Nukaya and A. Ishida. 1982. Effects of nitrogen form on growth of muskmelons. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 50:475-480.
- 14) 松田眞一郎, 2009. 栽培装置およびこれを用いた植物の栽培方法. 公開特許公報 2009-261274.
- 15) 農林水産省. 2007. 園芸用ガラス室, ハウス等の設置状況.
- 16) 中林和重・山崎邦典, 1989. マスクメロンのロックウール栽培における定植床の種類と窒素の供給制限が果実品質に及ぼす影響. 日本土壤肥料学会雑誌, 61 : 369-375.
- 17) 農林水産省. 平成20年生産農業所得統計.
- 18) 農林水産省. 平成20年耕地及び作付面積統計.
- 19) 大塩裕陸・仁井文夫・浪岡日左雄. 1981. 養液栽培用培地としてのモミガラくん炭の特性. 園芸学会雑誌, 50 : 231-238.
- 20) 坂本有加・渡邊慎一・岡野邦夫・巽二郎, 2001. 保水シート耕方式の養液栽培における根域の気相/液相部比率がトマトの生育・収量に及ぼす影響. 園芸学会雑誌, 70 : 622-628.
- 21) 佐々木皓二, 1989. 養液栽培での生育と技術. キュウリ. 農業技術体系野菜編12 養液栽培. 99-103, 農山漁村文化協会, 東京.
- 22) 鈴木隆志・柳瀬関三, 2005. 夏秋トマト雨よけ栽培における放射状裂果の発生に及ぼす灌水お

よび整枝の影響. 園芸学研究, 4 : 75-79.

- 23) 丹原一寛・近藤武由・栗原肇・宮本豊博, 1973.  
 籾殻燻炭利用によるそ菜の養液栽培 (第1報)  
 キュウリの栽培試験. 日本土壤肥料学会雑誌,  
 44 : 421-427.
- 24) 塚越覚, 2002. 第4章用水と培養液の調整・管理.  
 2培養液の調整・管理. 3pH. 社団法人・日本  
 施設園芸協会編. 養液栽培の新マニュアル.  
 180-183, 誠文堂新光社, 東京.
- 25) 宇田川雄二・萩原佐太郎, 1984. Nutrient Film  
 Technique の日本における実用化に関する研究  
 第1報 NFTにおけるトマト栽培の給液法. 千葉  
 農試研報, 25 : 113~126.
- 26) 山崎肯哉, 1982. 養液栽培全編. 34-36, 博友  
 社, 東京.

## Summary

A simple nutriculture system was developed for use in vegetable production by making the best of greenhouses not in use after raising rice seedlings. The system comprises two stacked rice seedling trays, the upper serving as a chamber for a porous medium filled with carbonized rice husk, and the lower as a reservoir of surplus nutrient solution for reuse. It can be introduced at a reasonable cost of 170,000 yen for a 7.5'50 square meter greenhouse, and is easy to set up and remove. Stacked tray culture using this system (STC) and soil culture were compared in terms of crop growth and yield, as well as fruit weight and other quality parameters in tomatoes, cucumbers and melons. Overall growth did not significantly differ between STC and soil culture in tomatoes, and was significantly greater in STC than in soil culture in cucumbers and melons. Regarding marketable yield, STC surpassed soil culture in tomatoes, and no major difference was observed between the two plots in cucumbers. As for melon fruit weight, significantly heavier fruits were obtained in STC than in soil culture, and there was no difference in fruit sugar content between the two plots. Examination of melon fruit surface netting showed that denser nets were formed in STC, although the degree of net elevation was lower than in soil culture. The reservoir nutrient solution had a pH exceeding 9 just after transplantation in STC for all three crops, no mineral deficiency due to the high pH levels was observed. The electric conductivity of the reservoir nutrient solution was constantly higher than that of the supplied solution. Although the ratio of K was initially highest among all measured elements in the collected solution, it decreased gradually during cultivation. The ratios of Mg, Ca and NO<sub>3</sub>-N increased, but no physiological disorders were observed. Judging from these findings, it can be concluded that Stacked tray culture using the newly developed simple nutriculture system is suitable for use in vegetable fruit production in greenhouses after raising rice seedlings.