

## 移動式養液栽培装置の開発と実用化に関する研究（第1報）

### — 栽培装置の試作 —

土屋恭一 田中富士雄\*\* 成松次郎 城所俊夫 林 英明

Studies on the Development and Practical Application  
of the Plant with Movable Hydroponic Bed (No.1)

— On the Trial of the Plant —

Kyoichi TSUCHIYA, Fujio TANAKA, Jiro NARIMATSU, Toshio  
KIDOKORO and Hideaki HAYASHI

#### 緒 言

神奈川県におけるハウレンソウの年間作付面積<sup>1)</sup>は820ha（1988年）で、生産地が消費地に近いという有利性を生かして新鮮なものを周年的に市場出荷している。

現在、神奈川県のハウレンソウ生産はすべて土耕栽培で行われており、作業時間の70～85%を占める収穫調製作業が人力のため労働生産性は低い。また、同一圃場での連続作付けは連作障害を起こすため、圃場の高度利用を困難にしている。

そうした中で、養液栽培は連作障害が回避でき、収穫・調製作業の合理化の余地が大きいためから高能率生産方式として注目されている。しかし、我が国で、現在、一般農家に普及している葉菜用の養液栽培装置は、固定栽培槽方式のため、施設利用率が低く、養液温度や溶存酸素の制御が不十分なことから、ハウレンソウに適した装置とはいえない。

一方、太陽光を必要としない完全制御型の野菜工場の研究も盛んで<sup>2)</sup>、静岡県の三浦農場など既に実用化事例<sup>3)</sup>も報告されている。これらの生産システムでは移動式連続栽培装置が導入され、施設の高度利用が行われるとともに、完全な温度制御の下で、ハウレンソウの周年生産

も可能になっているが、電力等のエネルギーを多く必要とすることからコスト高<sup>4)</sup>になっている。

本研究はハウレンソウの周年生産が可能な低コスト・高能率生産システムの開発を目標に、神奈川県科学技術政策推進委員会が1988年から5年計画で実施している施設園芸技術高度化共同研究事業の一環として行ったものである。本報では筆者らが考案・試作した簡易なベンチ式の葉菜類専用の移動式養液栽培装置について、その構造・仕様と性能を報告する。

この研究の推進にあたり、県企画部政策調整室科学技術政策担当の赤羽根日出夫専任主幹、水田豊人主任主事には研究条件の整備に御尽力頂いた。また、試作装置の製作にあたり、渡辺パイプK.K.の片岡文人研究員には御協力・御助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

#### 試作装置及び試験方法

##### 1 移動式養液栽培装置の試作

###### (1) 栽培装置開発の経過とねらい

装置は施設費が安価で、養液管理の容易な、しかも施工が簡単なNFT水耕<sup>5)</sup>（Nutrient Film Technique：薄膜水耕）をもとに連続栽培のできる移動方式を検討した。

NFT水耕の養液給液方式は一般に勾配1/80～1/100をもつ栽培槽の短辺（1～2m）に給液し、自然流下方式が取られているため、栽培槽の長さは20mが限度とされ、施設面積の利用率は60%程度である。また、現在

\* 本報告の一部は第9回神奈川県試験研究機関共同研究成果発表会で発表した。

\*\* 神奈川県工業試験所

開発されているNFT水耕の移動装置は架台をコロ等で移動する方式がとられているが普及はされていない。

本試験では施設面積利用率の向上を図るため、栽培槽の長さを20m以上延長できるように、養液の給液を従来方式の逆にして、長辺から短辺に流下する方式とした。

また、連続的な栽培を行うには、栽培槽の移動が必要で、従来の固定式から移動式とし、栽培槽と架台を分離した。栽培槽は作業上取り扱いやすい大きさに小分割し、架台に養液の給排水装置及び移動レールを設置し、栽培槽を架台上で連結・移動できる構造とした。

移動は人力により、一方から栽培槽を押し入れ、他端から取り出す方式で、定植と収穫作業が定位置で行えるようにした。

#### (2) 試作装置の構造と仕様

試作装置は架台、栽培槽及び給液装置で構成されている。各々の仕様は次のとおりである。

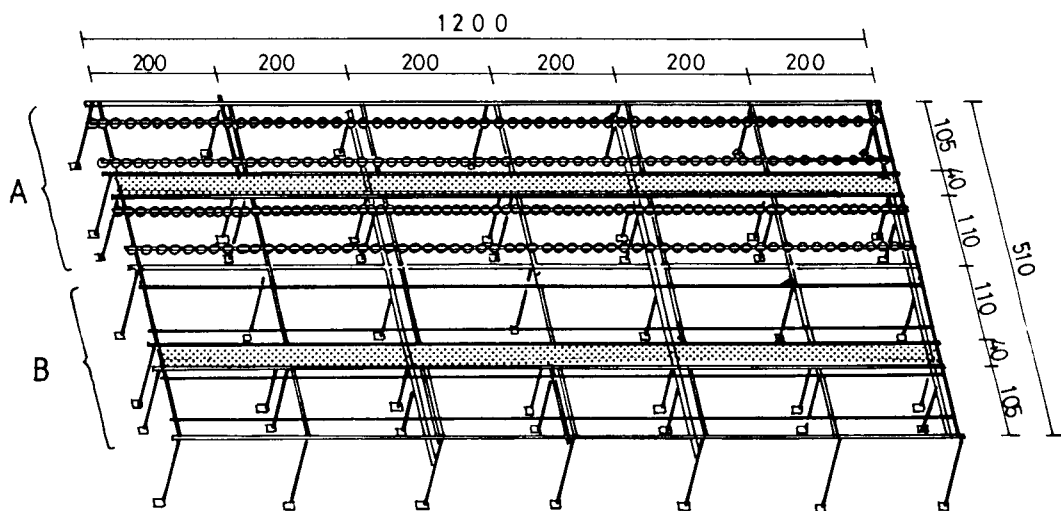
#### (ア) 架台

試作架台の全体図を第1図に示した。架台用資材は現場施工の容易な建設工事用鉄製48mmパイプを使用した。設置場所での基礎工事は行わず、脚部に固定ベースを付けた簡易施工とした。

栽培槽の移動用には、架台に①ホイールコンベヤ方式ではホイールコンベヤ（単列、ホイール：直径30mm、幅20mm、樹脂製 フレーム：スチール製、ピッチ：50mm）②トロッコ方式では鉄パイプ（直径28mm）を取り付けた。

#### (イ) 栽培槽

栽培槽は鋼板製の槽と定植パネルから成っている。槽はL型鋼（幅30mm、厚さ2mm）で第2図に示す骨組み（1.2m×0.7m）を作り、角波型ガルバリウム鋼板（厚さ0.35mm、上端120mm、下端90mm、山幅30mm、深さ15mm）を張ったものである。



(A) ホイールコンベヤ方式

(B) トロッコ方式

第1図 試作架台（全体図）

移動方式は第2図に示すように、①ホイールコンベヤ方式では槽の底に2本のL型鋼（幅50mm、厚さ2mm）を取り付け、ホイールの軌道とした。②トロック方式では帯鋼（幅50mm、厚さ5mm）を槽に溶接し、その上に滑車（車輪：直径30mm、ダブル式、材質：鋼鉄製）をボルトで固定した。

栽培槽の中には、10cm間隔で直径20mmの穴をあけた厚さ18mmの発砲スチロール製の定植パネルを置き、移植苗の固定を行った。

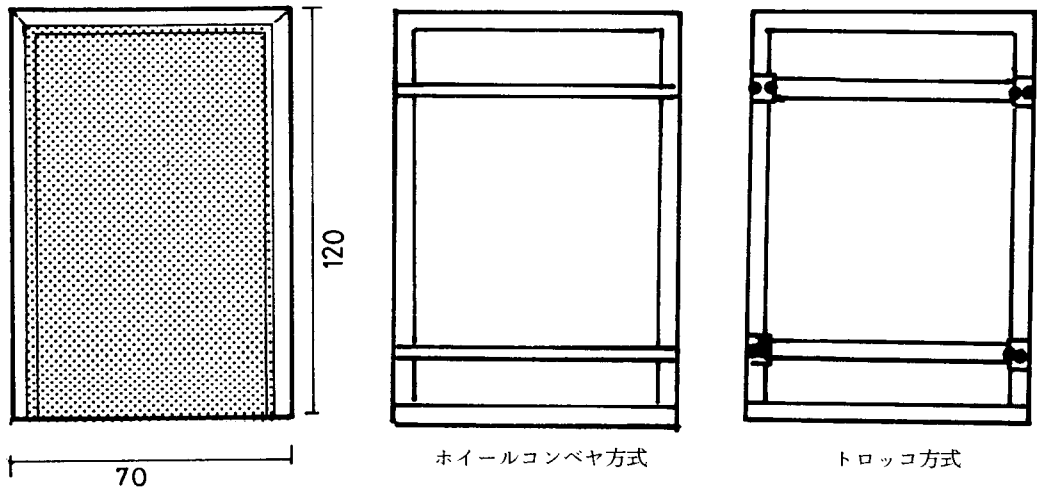
(ウ) 給液・送液装置

培養液の栽培槽への給液と、栽培槽から流出した培養液を培養液槽に返送する送液の概要を第3図に示した。

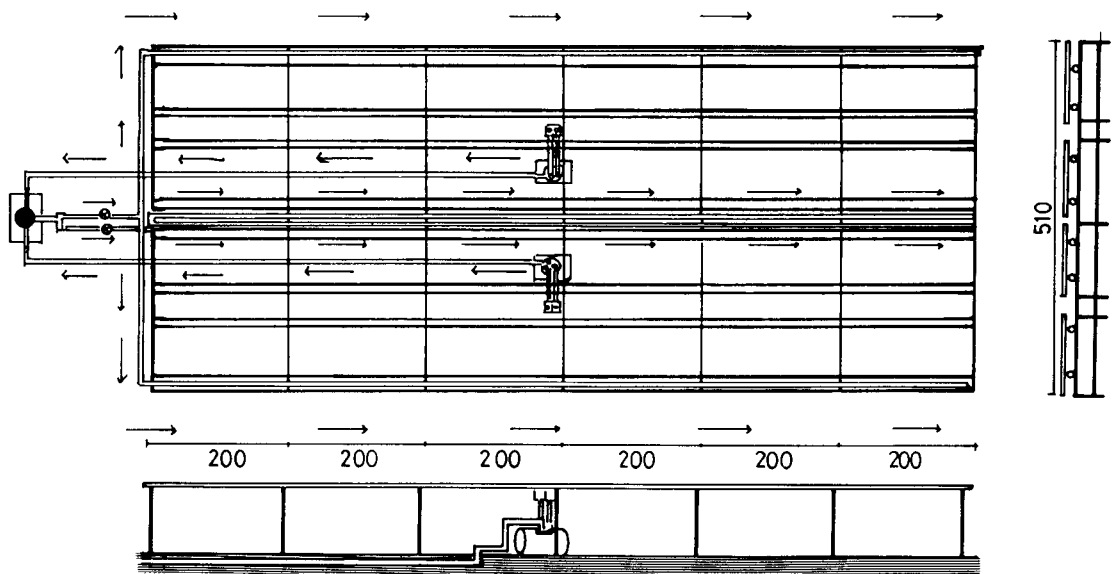
給液は栽培槽の上端部5cm上に12cm間隔で3mmφの穴をあけた漕水管（耐熱管：HTパイプ16mmφ）を栽培槽の移動方向に1本設置した。

培養液の供給は培養液槽(1mg)から水中ポンプ(0.75kw)で圧送し、給液制御はタイマーにより電磁弁の開閉とポンプの始動を同時に制御した。またリレー回路を設け、間断給液を行った。

栽培槽から流出した培養液は集水トイから栽培槽中央に埋設してある集水槽(200l)に入り、フロートなしスイッチにより培養液槽に自動返送する方式である。



第2図 栽培槽



- ① 培養液タンク（1000L）給液 リレー制御
- ② 電磁弁
- ③ 集水タンク（200L）返送 レベルスイッチ

第3図 給液方法（平面図・側面図）

## 2 試作装置によるハウレンソウの栽培試験

試作装置を農業総合研究所のガラス温室(施設面積10a, 3連棟)に設置し, 1989年6月~1990年5月に連続してハウレンソウの栽培を行った。供試品種は6~8月まきが'マジック', 9~5月まき'リード'である。

### (1) 作業手順

栽培概況は第4図に示したとおりで, 次の手順で作業を行った。

- ①栽培槽への防根シート(ポリエステル繊維)敷き
- ②定植パネルの準備と定植
- ③栽培槽の架台乗せ
- ④栽培槽の架台からの取り出しと収穫
- ⑤栽培槽の洗浄と残根処理

### (2) 材料及び方法

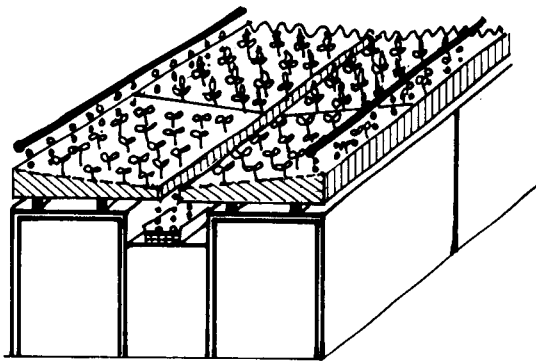
#### ア 育苗

育苗培地には35mm(高さ)×17mm×17mmの角柱型のポリエステル・ビニロン繊維培地を使用した。水稲育苗箱に培地を入れて1チップに5~6粒を播種して, 育苗装置で10~13日間育成した。

#### イ 培養液

培養液組成はNFT標準<sup>9)</sup>に準じ, 水道水1t当たり, 大塚ハウス肥料1号 1.5kg, 2号 1kgの混合液を用いた。

本培養液の多量要素濃度(m・e/ℓ)はTotal-N 18.2(NO<sub>3</sub>-N 15.5, NH<sub>4</sub>-N 1.6, Urea-N 0.35), P 5.1, K 7.6, Ca 8.2, Mg 3.8 微量元素(mg/ℓ)はEDTA-Fe 2.7, Mn 1.5, B 1.5であり, 多量要素は園試処法均衡培養液1単位に等しい。



第4図 栽培概図

#### ウ 培養液管理方法

蒸発散によりタンク容量の50%~80%が減少した時点でPH, EC値を点検し, 所定濃度の培養液を追加した。なお, 夏期及び冬期の温度調整は行わなかった。

給液は間断方式で行い, AM6:00~PM6:00の間は1時間に2回, 1回当たり7分の割合で供給した。1回当たりの給液量は栽培槽1㎡当たり24ℓである。

#### エ 栽培槽の移動に要する力の測定

栽培槽を人力で押し出し, 動き始める最大の力を瞬間の力, 動いてから移動する時に必要な力を平均の力として測定した。測定方法は次のとおりである。

歪ゲージを取り付けた片持バリの一点を加重点と定め, あらかじめ5~20kg重の加重をかけ, 負荷量(kg)と電位差の関係(校正値/mm)を求めておく。

この片持バリを栽培槽の人力で押し出す位置に金具で固定し, 加重点をプラスドライバーを使って人力で押し出す。動き始めから移動するまでの歪ゲージの電位変化を自記記録計に記録して, 動き始める時の最大ピーク値を瞬間の力, 移動時の平均値を平均の力としてチャートから求め, それぞれ校正値(kg/mm)を乗じ, 瞬間の力, 平均の力を算出した。測定条件は第1表に示したとおりである。

試験ではハウレンソウを栽培している17枚の栽培槽(合計長さ11.7m)に新しい栽培槽を押し入れる時の力をホイールコンベヤ方式, トロッコ方式について測定した。

なお, 人力による加重は個人差を考慮にいれ, 5名で行い, 最大値, 最小値を除いた3名の平均値で求めた。

第1表 移動に要する力の測定条件

歪ゲージ	型式 FLA-5-11 (東京測器研究所) ゲージ長 5mm 抵抗 120±0.3Ω ゲージ率 2.12
レコーダ	型式 CDR-12SB (東亜電波製) 電位差・計式 自動平衡形 レンジ ±1~±100V 10レンジ 有効記録幅 110mm, 総合精度 フルスパン1% 平衡速度 500mm
片持バリ	鋼板製(長さ300mm×巾20mm×厚さ3mm) 支点とゲージ間の距離 50mm 支点と加重間の距離 80mm

## 試験結果

### 1 移動式養液栽培装置の性能

#### (1) 栽培槽の移動性能

試作した栽培槽（70cm×120cm）の1槽当たりの重量はホイールコンベヤ方式 9.5kg、トロッコ方式 12kgであり、トロッコ方式は鉄製の滑車及びそれを支持する帯鋼（厚さ5mm）を溶接するため重かった。試作費は1槽当たりホイールコンベヤ方式 4,000円、トロッコ方式 5,600円とトロッコ方式はホイールコンベヤ方式の40%程割高になった。

試作架台の上に栽培槽を17枚（移動、距離で11.9m）連結して乗せて、一端から力を加えたところ、両方式とも、人力の1人作業で容易に移動できた。すべての栽培槽でハウレンソウを栽培している状態で、一端から新たに1槽の栽培槽を押し入れるために必要な最小の力を測定し、結果を第2表に示した。ホイールコンベヤ方式は瞬間の力 10.7kg、平均の力 8.3kg、トロッコ方式では瞬間の力 5.5kg、平均の力 4.4kgで移動性からトロッコ方式が優れていた。

試験結果から人力移動で栽培槽の延長距離を試算すると、瞬間の力 20kg重のときはホイールコンベヤ方式で22m、トロッコ方式で43m、瞬間の力30kg重ではホイールコンベヤ方式 33m、トロッコ方式で64mであった。したがって、現在、国内で普及している栽培施設に本方式を導入する場合、栽培槽の移動は人力で対応できることが試算された。

#### (2) 培養液の給液性能

試作装置では0.4kwの水中ポンプで11.7mの灌水間2本を同時に給液した。その結果、灌水穴1口当たりの給液量は平均値468ml/分、標準偏差 86ml、変異係数18%であった。

灌水管の穴あけはハンドドリルで行ったため、穴の大きさ及び方向にむらが生じ、灌水精度は、高くなかった。

特に灌水管中央部では水圧不足も加わって給液量が少なくなる傾向が認められた。なお、灌水管の目づまりが懸念されたが、目づまりの頻度は少なく、目づまりをしても架台の下をくぐってその場所に行き、迅速に直すことができた。

しかし、灌水管は耐熱管（HTパイプ）を使用しても、1年後には一部に湾曲を生じ、これらの資材については今後検討が必要であった。

培養液の給液はリレー制御により間断給液を行ったが、運転期間中のトラブルはなく、安定した制御ができた。

### 2 培養液の変動及びハウレンソウの生育

#### (1) 培養液

培養液はpH、EC値により管理・点検を行った。補給時の分析値は第3表のとおりで、試験期間中の平均値でもpH  $6.1 \pm 0.2$ 、変異係数3%、EC  $2.47 \pm 0.41 \text{ mS/cm}$ 、変異係数16%と水質は安定していた。

これは水道水で作成した所定濃度培養液、pH 5.8~6.3、EC 2.0~2.1mS/cmと比較しても濃度変化が少なく、水の蒸発散量と肥料の吸収量のバランスが良好であった。

なお、培養液はpH、EC値からみて、試験期間をとおして、常にハウレンソウに敵した範囲（pH5~6、EC2~3mS/cm）にあたため、濃度調製は行わなかった。

本試験では培養液の調整はタンク容量の50~80%が（500~800mg）減少した時点で、その都度所定濃度を追加補給した。培養液の全量更新は立枯病の発生した7月、9月、11月に各1回ずつ行った。それ以外は連続使用を行ったが、連用による障害は発生しなかった。また、集水槽、培養液槽、集水トイの消毒・清掃は行わなかったが、特に問題はなく、装置の連続使用ができた。

また、1日の蒸発散量はリーク分を含め、年間を通してみると100~200ℓであり、栽培面積1㎡当たりに換算すると1.2~2.4ℓであった。

第2表 栽培槽の移動作業に要する力の測定結果

移動方式	栽培槽全重量*(kg)	移動に必要な力(kg)	
		瞬間の力	平均の力
トロッコ方式	195	5.5	4.4
ホイール方式	178	10.7	8.3

注) \*：栽培中のハウレンソウ、培地等の重量を含まず。

この結果から、本方式で10a規模の栽培装置を製作する時の培養液槽設計容量は滞留日数3日、施設有効利用率80%とすると6㎡が適正容量と試算された。

### (2) ホウレンソウの生育

試作装置による周年栽培を行った。結果は第4表のとおりである。

定植してから収穫までの養液栽培装置による栽培日数を月別の平均値でみると、6月～7月上旬どりは26日、10月どり22日、11月33日、12月45日、1月65日、2月55日、3月40日、4月27日、5月23日であった。

12月～2月どりは無加温栽培のため生育は遅かったが、

その他の時期は定植後23～30日で収穫期に達した。

収穫量は栽培槽1㎡当たり7月どりが商品規格のM規格収穫で1.7kg、10月～5月どりはL規格で2.4～3.3kgであった。

収穫したホウレンソウの葉は土耕栽培に比較して軟弱な傾向が認められたが、下葉の黄化がないため調製作業は容易であった。

しかし、7月下旬～9月上旬は培養液温度が30～32℃まで上昇したため生育が抑制されて、立枯病も発生し、ほとんど収穫できなかった。

第3表 補給時の培養液の性状（月平均値）

年 月	項 目	温 度 (°C)	P H	E C (mS/cm)
89. 6		21	6.2	2.48
7		25	6.2	2.76
8		28	6.4	3.67
9		27	6.5	3.34
10		21	6.5	2.67
11		19	6.1	2.73
12		14	5.9	2.33
90. 1		13	6.3	1.66
2		13	5.9	1.85
3		17	5.8	1.86
4		18	6.0	2.12
5		21	5.8	2.19
平 均 値		20	6.1	2.47

第4表 収穫期と栽培期間

収穫時期 (年.月.旬)	定植時期 (月.旬)	装置栽培日数 (平均)	育苗日数 (日)	収穫量*(出荷規格)** (kg/㎡)
89. 7 .上～中	6 .上～中	26	10	1.7 (M)
10. 上～下	9 .上～下	22	10	2.0 (M)
11. 上～下	10. 上～中	33	10	2.7 (L)
12. 上～下	10. 下～11. 上	45	13	2.4 (L)
90. 1 .上～下	11. 中～下	65	13	2.6 (L)
2 .上～下	12. 上～下	55	18	3.1 (L)
3 .上～下	1 .中～2 .中	40	20	3.1 (L)
4 .上～下	3 .上～下	27	22	4.2 (LL)
5 .上～下	4 .上～下	23	10	3.3 (L)

注) \* : 収穫回数 2～4回/月、月当たりの平均値である。

\*\* : M規格 草丈20～28cm未満, L規格 草丈28～31cm未満, LL規格 草丈31cm以上

## 考 察

現在、我が国で考案されている移動式養液栽培装置は①固定式栽培槽・植物移動方式<sup>例えば<sup>8)</sup></sup>、②立体水耕方式<sup>例えば<sup>9)</sup></sup>、③栽培槽水平移動方式<sup>例えば<sup>10)</sup></sup>の3つに大別される。本研究で試作した装置は③に属するが、連続栽培が可能なNFT方式の栽培装置という点で他の③に属する方式と明確に区別できる<sup>11)</sup>。

試作装置では、栽培槽を70cm×120cmの小型にして、架台の上を前後に移動できる方式とした。そのため定植作業と収穫作業をそれぞれ架台の端で行うことができるようになり、作業員の移動が不要になる分、作業能率の向上が可能になった。また、従来の水耕装置では栽培槽と栽培槽の間に通路を設ける必要があるため、施設面積の利用率は60%程度であったが、試作装置は架台の両端と周囲の一部を除いて全面に栽培槽を設置できるので利用率を80%ぐらいまで高めることが可能と考えられる。しかし、試作装置では灌水管の湾曲や灌水むら等の欠点認められるので、管の材質や穿孔法、水圧調節法等について検討する必要がある。

試作装置を用いた栽培試験で、盛夏期を除いて、商品価値のあるホウレンソウを収穫できることが確認され、定植から収穫まで日数は冬期が45～65日でその他の時期は22～40日であった。この試験では無暖房・無冷却でホウレンソウを栽培したため、冬期の生育期間が長くなり、盛夏期は栽培できなかった。栽培装置に培養液の冷暖房装置を組み込むことによって、高温期の栽培が可能になって、冬期の生育日数はより短縮できるものと考えられる。

暖房については、これまでに果菜類の栽培等でデータが多数集積されていることから比較的容易に実現できると考えられるが、冷房については経験が少なく、新しい技術を開発する必要がある。冷房の実用化で最も問題になるのはコストの低減である。現在、この研究に関連したもう一つの研究チームでホウレンソウの温度・光反応も研究中であるが、その結果を踏まえて可能なかぎり低コストの冷房法を開発する必要がある。

## 摘 要

ホウレンソウの養液栽培における作業改善及び施設面積の高率利用を図るため、移動式養液栽培装置を考案・試作し、その実用性を検討した。

1 試作装置はNFT水耕の栽培槽を移動式にしたもので、

小さな栽培槽を数多く作り、それを給排水装置をもつ栽培架台に連続して設置する。移動は架台の端の栽培槽を手で押し、一連の栽培槽を移動させる方式である。

2 移動方式はトロック方式、ホイールコンベヤ方式について検討した。栽培槽を人力で20kgの力で押し出せる連結の長さはトロック方式 43m、ホイールコンベヤ方式 23mであった。

3 試作装置により周年的に栽培を行ったところ、高温期を除き安定した栽培ができ、収穫量は栽培面積1㎡当たり、夏期(M規格)1.7kg、その他時期はL規格で2.4kg～3.3kgであった。

4 商品規格に達するまでの本装置での栽培日数は月別にみると12月～2月どりは45～65日、10月～11月及び3月～7月どりは23日～30日で、年間の装置稼働日数は無暖房・無冷房で9回転と高率利用ができ、実用性が認められた。

5 栽培期間中の装置及び定植苗の管理作業はほとんどなく、連続して設置すれば施設面積利用率は80%程度が可能である。

6 試作装置は定植・収穫を定位置で行うため、従来のNFT方式に比較して施設内での労働は少なくなる。また、ベンチ式であるため作業姿勢が楽であった。

## 引用文献

- 1) 神奈川県農林漁業動向年報(平成2年)神奈川県
- 2) 小林 實(1989)『野菜工場 いま…これから』東京電気大学出版局(東京), PP24～74
- 3) 高辻正基編(1987)『植物工場システム総合技術』シーエムシー(東京), PP68～85
- 4) 伊東 正(1984)『昭和51年秋・園芸学会研究発表要旨』: 260～261
- 5) H・M・Resh(1978)〔並木隆和訳, 1981〕『野菜の水耕栽培』養賢堂(東京), PP68～85
- 6) 『養液栽培の新技術「農業及園芸」別冊(1986)』養賢堂(東京), PP125～131
- 7) 辻 博美・山田貴義(1978)『大阪府農業技術センター研究報告, No15: 17～24』
- 8) 原 周作・浦田敏茂・大森芳道ほか(1977)『大阪府農業技術センター研究報告, Vol 14: 71～75』
- 9) 松井範義・石田 薫・水田 進(1980)『神戸大学農研報, Vol 14: 71～75』
- 10) 倉田 勇・市川友彦・猪之奥康治(1982)『農業機械化研究所報告, Vol 17: 15～49』
- 11) 神奈川県 日特願 平1—299685

## SUMMARY

In order to improve working conditions and high-rate use of protected area of hydroponics of spinach, we have worked out new plant system of movable hydroponic bed and examined practical use.

1. The trial equipment was designed on the bases of the NFT system, but modified movement system of hydroponic bed.

Many hydroponic beds (1.2m × 0.7m in size) were lined on the culture stand equipped with nutrient solution supply and drainage system. Movement is done by human strength, that is pushing by hand one side of hydroponic beds.

2. The movement method was examined both Truck system and Wheel conveyer system. The results were obtained that the maximum length of hydroponic beds that was moved by human strength at 20kg was 43m by Truck system, and 23m by Wheel conveyer system.

3. By using trial equipment, we have carried out spinach cultivation of years round culture, and met with good results except the time of a high temperature.

The yield per cultivation area (1m<sup>2</sup>) was 1.7kg in summer time (commercial size M) and 2.4~3.3kg in other seasons (commercial size L)

4. The days of cultivation from setting at the hydroponic bed to growing to commercial size (plant height about 25cm) were 45~65 days from Dec. to Feb. 23~30 days from Mar. to Jul. and from Oct. to Nov.

Consequently, the rotation of hydroponic bed became 9 times per year, and annual yield achieved 25kg per 1m<sup>2</sup>. So high-rate use of equipment and practical value were achieved.

5. The maintenance after setting is not necessary during the cultivation experiments. So trial equipment is able to set up continuously, 80% of coefficient of utilization of protected area is possible.

6. As working of setting and harvesting is done at both sides of trial equipment, the working is comfortable compared with habitual NFT system.

These results show us that the trial equipment can improve the work system.