

養液栽培における野菜生産のシステム化

誌名	農林水産技術研究ジャーナル
ISSN	03879240
著者	中島, 武彦
巻/号	12巻11号
掲載ページ	p. 11-18
発行年月	1989年11月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



養液栽培における野菜生産のシステム化

中島 武彦

昭和30年代に普及しはじめた養液栽培は高度成長、石油ショックなど国家経済の動きに連動しながら増加や停滞を繰り返し、現在は世界でも有数な養液栽培普及国となっている。養液栽培における生産のシステム化は、養液栽培プラントとそれに付随する培養液管理のシステム化と栽培方式のシステム化に区分でき、前者はプラントの変更があるもののシステム化はほぼ完了している。一方、後者については従来からの慣例とか、篤農技術など科学的な根拠で裏付けできない事例が多く、普遍的な養液栽培技術の確立は立ち遅れ、高品質、省力化などを目的としたシステム化の構築が急がれている。

1. はじめに

野菜の養液栽培は昭和62年現在、300haほどが設置され、この数値から見る限り、わが国はオランダに次ぐ、世界有数の養液栽培普及国になっている。養液栽培は最近、マスコミなどで大々的に取り上げられ、野菜生産にかなりのシェアを占めていると錯覚されがちであるが、実態はハウス面積の1%程度に過ぎない。

養液栽培はこれまで順風に乗って増加したのではなく、国家経済の動向と密接に連動し、増加と停滞を繰り返してきた。実用的な養液栽培の導入は戦後、東京の調布市と滋賀県大津市に在日米軍の生鮮野菜供給基地として礫（れき、直径2mm～2cmの小石）を培地とした礫耕栽培施設が建設されたことに始まる。この施設はハイドロポニック・ファームと呼ばれ、

セロリーなどを生産して注目を集めたが、採算を度外視した経営のため、農家には普及しなかった。その後、わが国では表1に示すごとく多種の養液栽培プラントが開発されている。まず、昭和30年代には農林省園芸試験場興津支場を中心に礫耕栽培が検討され、これは主にハウス栽培の急増に伴って深刻となった連作障害の回避や施設管理の合理化を図る手段として、かなりのスピードで農家に普及したが、良質の礫の入手が困難になったこと、収穫後の残根の摘除が煩雑で連作障害が蔓延しやすいことなどの影響で、以後は漸減しているようである。昭和40年代後半には、現在も活躍中の水耕プラントメーカーが水を培地とする各種のプラスチック製規格品を開発、それが高度生長で急速に普及し、昭和54年の面積は昭和48年の4～5倍にまで拡大した。しかし、第二次石油ショック（昭和54年）が設備投資額の大きい養液栽培に大打撃を与え、50年代後半は横這いかむしろ縮小する傾向を示した。最近はNFT水耕(Nutrient Fil-

Takehiko NAKASHI MA: Development of a hydroponic farming system

表1 わが国における養液栽培方式と発表年次 (板木)

考案開発者	方式・名称	発表・市販年次*
農林省園試興津支場	礫耕 (併列切替給液)	昭和35年
農林省園試久留米支場	循環式水耕	39
神奈川園試三浦分場	噴霧耕・噴霧水耕	39
鹿児島農試	噴霧水耕	40
神奈川園試	礫・水耕折衷方式	41
高知大農学部 (角田)	噴霧耕	41
千葉農試	くん炭鉢水耕	42
佐賀農試	くん炭あみ鉢水耕	42
九州電力佐賀農電試	礫あみ鉢水耕	43
久保田鉄工(株)	クボタプラント	43
協和(株)	水気耕ハイポニカ**	44
(株)M式水耕研究所	M式水耕**	44
愛媛大学農学部	津野式くん炭耕	45
(株)四国製作所	くん炭耕	45
東罐工業(株)・中外貿易(株)	ダンブラV型くん炭耕	46
住友電気工業(株)	サンドボニックス (砂耕) **	46
大阪農技センター	段流型水耕	47
東京教育大学	教育大立体式水耕	47
神奈川園試	神園式水耕**	48
竹原産業開発(株)	せせらぎ型水耕	48
積水化学(株)	セキスイ段流型水耕	49
京都農研山城分場	京都改良型水耕**	51
(株)サンスイ	サンスイ水耕プラント**	53
新和プラスチック(株)	等量交換式水耕**	54
山崎肯哉氏	浮き根水耕	54
住友セメント(株)	スミセ式れき耕**	55
(株)みかど育種農場	みかどNFT水耕**	57
(株)M式水耕研究所	MFT「さか」**	57
筑波大学 (渋谷)	ロックファイバー栽培**	58
シーアイ化成(株)	SS水耕プラント (NFT) **	58
(株)日本スイコー研究所	NS式水耕プラント	59
(株)誠和	ロックウール栽培システム**	60

注 * ……正式発表, 試販, 販売開始等があり, 同一条件とはいいいきれない。
 ** ……現在市販中のもの

m Technic) やロックウール栽培などの新技術
 が西欧から導入され, 再び増加する傾向にある

ようである。

本題, 養液栽培における野菜生産のシステム

化は養液栽培を利用した野菜生産体系、すなわち栽培方式のシステム化のほかに、養液栽培プラントとそれに伴う培養液管理についてのシステム化も検討しなければならないので、これらを簡単に紹介してみたい。

2. 主要な養液栽培プラント

わが国における養液栽培プラントは図1に示

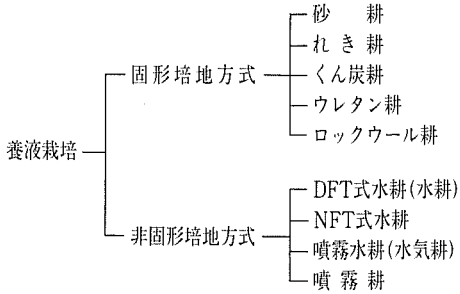


図1 養液栽培方式の区分

すごとく多岐にわたるが、これらは砂や礫、ロックウールなど土壌の一部またはそれ以外の固形物を培地とする方式、水（肥料を含む）を培地とする方式、噴霧耕など培地を使用しない方式などに区分できる。これまでに普及した、または今後普及する可能性が高い養液栽培プラントについて以下に述べる。

「水気耕ハイポニカ」

本方式は図2に示すごとく栽培ベッド、給液ポンプ、培養液タンク、空気混入器、水位調節器などで構成され、これまで実用化された水耕プラントの中で最もオーソドックスな方式である。本方式は給液ポンプによってタンクから栽培ベッドへ培養液を補給し、ベッドの余剰液は水位調節器から再びタンクへ戻る仕組みになっている。栽培ベッドの水位は後述するNFT方式より深く、8cm程度とする。また、本方式はタンクを地下に埋設するため、高温障害や低温障害の回避にも効果がある。昭和44年にハイポ

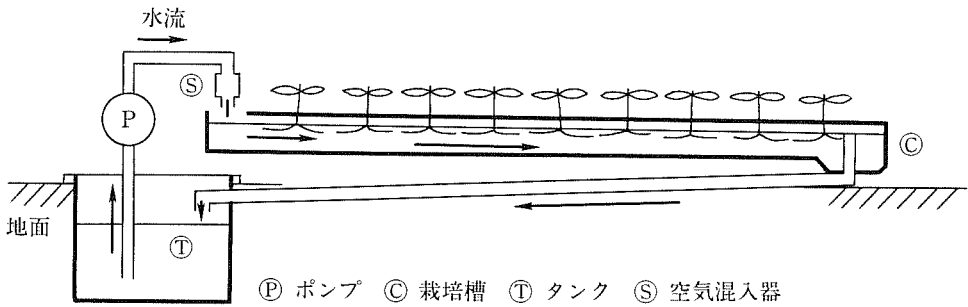


図2 水気耕ハイポニカの簡略図

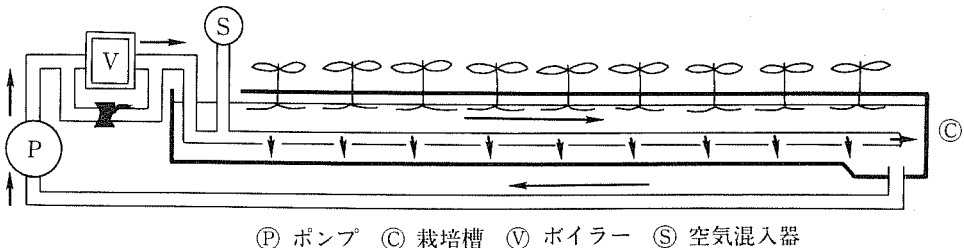


図3 M式水耕の簡略図

ニカA型、55年に同C型そして59年に同D型を
発表、主にトマトやキュウリなど果菜類の栽培
に用いられている。販売実績は最も大きい。

「M式水耕」

本方式は、図3に示すごとく栽培ベッドの培
養液量を多くして培養液タンクを省略した点に
特徴があり、培養液が栽培ベッドから給液ポン
プ、空気混入器の順に通過して栽培ベッドに戻
る仕組みとなっている。培養液温は断熱性の高
い発泡スチロール製の栽培ベッドを用いるので、
低温期はボイラーや温水で加熱する方式、高温
期は地下水や冷凍機で冷却する方式によってコ
ントロールすることもできる。昭和44年に開発

され、葉菜類、特にミツバ、葉ネギなど軟弱野
菜栽培に普及しており、販売実績は水気耕ハイ
ポニカに次ぐと推測される。

「新しい方式」

NFT水耕とロックウール栽培は西欧で開発
された新方式である(図4)。これらの方式は
わが国に導入されて日も浅いが、実用的な規格
品も開発されつつある。

NFT水耕は培養液の給液回数が多く、栽培
ベッドの液量が少ないことで他の方式と区別で
きる。また、特殊な器材を用いず設置も簡単な
ため、投下資本が比較的少なくて済むこと、そ
のほかにも土壌消毒、培養液交換などの管理作業

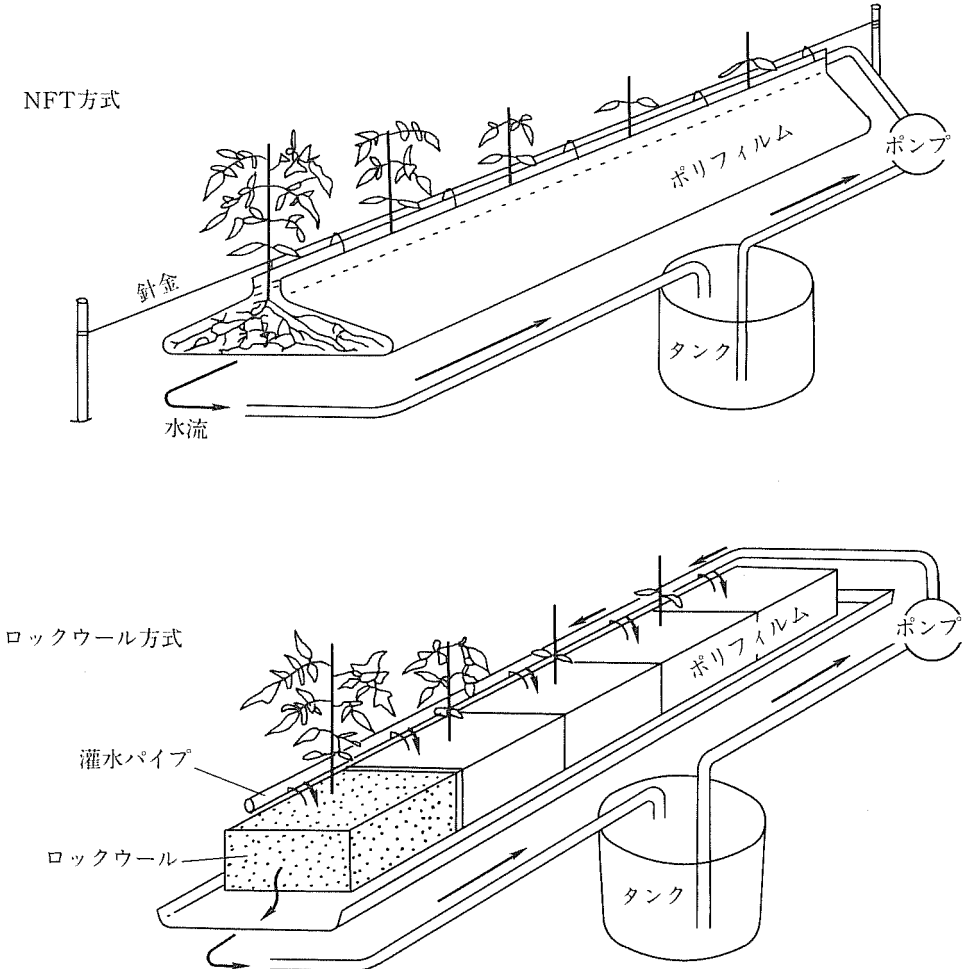


図4 新しい養液栽培方式

が簡略化できること、培養液が少なく無駄がないこと、生育時期別の肥培管理も比較的簡単にできることなどは長所として列挙できるであろう。短所としては栽培ベッドを決められた勾配（80分の1程度）に維持しなければならないこと、短時間の停電や機器の故障でも生育障害が発生することなどがある。本方式は培養液が比較的低温でも旺盛に生育するイチゴ、トマトなどで普及しつつある。

オランダで爆発的に急増したロックウール栽培は培地のロックウールマット（岩石を高熱で溶かして繊維状のマットとしたもの）に培養液を供給して栽培する方式である。栽培ベッドに

相当するマットは藻類の繁茂を押さえるため、遮光資材などで光を遮断する。また、マットは通気性に富み、培養液を多量に蓄積するため、マットの容積は土壌の数分の一で充分と言われている。本方式は培養液の余剰分を再びタンクに戻す循環式とタンクに戻さない非循環式とがあり、最近では後者が培養液を分析しなくてよいこと、連作障害の回避にも有効であることなどから有望視されている。しかし、ロックウール方式はマットの寿命延長（2～3年と短い）、使用済みマットの廃棄方法などが依然として残されており、これらの問題解決が急がれている。

表2 園試処方培養液の作り方

加える 順 序	肥 料	使用量 (培養液1,000 ℓ分)	
①	硫 酸 マ グ ネ シ ウ ム	MgSO ₄ ·7H ₂ O	500 g
②	硝 酸 石 灰	Ca(NO ₃) ₂ H ₂ O	950 g
③	硝 酸 カ リ	KNO ₃	810 g
④	第 一 リ ン 酸 ア ン モ ン	NH ₄ H ₂ PO ₄	155 g
⑤	鉄 キ レ ー ト	Fe-EDTA	25 g
⑥	微 量 要 素 原 液		100ml

微量要素原液の作り方

温 水 5 ℓ に :			
①	ホ ウ 酸	H ₃ BO ₃	300 g
②	濃 硫 酸	H ₂ SO ₄	250ml
③	硫 酸 亜 鉛	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	22 g
④	硫 酸 マ ン ガ ン	MnSO ₄ ·4H ₂ O	200 g
⑤	硫 酸 銅	CuSO ₄ ·5H ₂ O	5 g
⑥	モ リ ブ デ ン 酸 ソ ー ダ	Na ₂ MoO ₄	2 g

以上を加えて水を加え10 ℓ 定容とする。

3. 培養液管理

培養液は水のほかに野菜の生育に必要な養分(肥料要素)が吸収可能な形態でバランスよく含まれていなければならない。培養液の肥料要素は多量要素と微量要素に区分され、多量要素としてはN(窒素)、P(リン)、K(カリウム)、Ca(カルシウム)、Mg(マグネシウム)、S(硫黄)及びFe(鉄)が、微量要素としてはB(ホウ素)、Mn(マンガン)、Cu(銅)、Mo(モリブデン)、Zn(亜鉛)がある。また、培養液の組成は考案者、作物の種類や地域によって若干異なるが、野菜については園試処方の培養液(表2参照)が広く用いられている。なお、微量要素は水道水などにかなり含まれるので、通常は微量要素の欠乏症状はほとんど発生しない。

養液栽培を実施する場合、最も重要なのは培養液調整である。野菜は生育するに伴って水のほかに肥料要素も吸収する。根に吸収される肥料要素の組成や濃度が培養液と同一であれば、不足した分を補給するだけで管理できる。しかし、生育時期、生育状態、施設環境、培養液の状態(pH、水温)などによって選択吸収も行われるので、培養液は更新時とは異なった組成となる。

培養液を更新時の状態に戻すためには種々の調整を行わなければならない。各肥料要素濃度を測定し、不足した分を補充するのが最も望ましいが、個々の測定が繁雑となるため、通常は簡便なEC(電気伝導度)測定を行っている。なお、ECの測定値と一部の肥料要素濃度との間に正の相関があるが、相関のない肥料要素も多いので、更新時の状態にはほとんど戻らないであろう。また、使用中の培養液を廃棄して更新する方法は調整手続きが簡単であるが、損失(水道料金、肥料代など)の大きいこと、施設外の環境汚染に関係することなど短所が多く、得策ではない。

培養液調節で最も頻繁に行うのがpH(水素

イオン濃度)調節である。pHは6程度の弱酸性を目標とし、pHが4以下の酸性、9以上のアルカリ性では根の細胞膜の破壊や細胞液中のイオン交換などによって生育は阻害されるという。pHが4~5や7~9の範囲では一部の肥料要素が吸収不能となり、生育遅延や生育障害の原因となる。pHの変化は肥料要素の選択吸収、根から有機酸の放出、炭酸の混入などによって発生すると考えられ、緊急の場合は稀釈した硫酸や苛性ソーダなどを加えて調整する。

さて、養液栽培プラントを購入し、培養液を規定どおり管理すれば、野菜が自動的に生産できると錯覚しがちであるが、現実には野菜栽培に精通した農家でも養液栽培に失敗している。これは農家が養液栽培プラントに内蔵されたメカに弱く、操作に失敗した例もあるが、そのプラントに適した栽培方式「システム化」が確立されていない現状で導入したことにも原因があらうと考えられる。

4. 栽培方式のシステム化

養液栽培の栽培方法については未知の分野が多く、農家によって栽培方式が異なるため、共通項のピックアップは極めて難しい。本文では、栽培面積の大きいトマトとそれに次ぐミツバについて、養液栽培農家の事例から栽培方式のシステム化を検索する。

「トマト」

愛知県のK氏はトマトの長期多段穫り栽培一筋に30余年のベテラン栽培者である。土耕栽培から昭和51年に養液栽培へ転換したが、その転機となった原因は当時も連作障害として猛威をふるっていた「根腐れ萎ちょう症」を回避するためであった。

トマト栽培には培養液タンクの設置が必須と考え、水気耕ハイポニカを導入した。培養液タンクを土中に埋めれば、液温の変動幅が小さく、夏冬の栽培安定化に是非とも必要であった。さらに、予備タンクも増設したが、これは培養液

の更新や追加の際に重要な役割を果たしている。培養液の更新時は予備タンクに基準値より濃い培養液を準備し、十日以上かけて少しずつ交換する。要するに、トマトの栽培期間中は培養液濃度を急激に変えないのがコツであるとしている。なお、K氏の施設の目と鼻の先にM式水耕の本社があり、これを導入することは何かにつけて便利であったが、培養液タンクが付かないので断念したという。

また、培養液濃度は生育時期や生育速度に応じて多少変えている。例えば、若苗の時期（9月頃まで）は圃試処方³の30～40%の薄い培養液で、生育が進むにつれて徐々に高くし、収穫が最盛期になる冬場は70～80%で、晴天の続く場合は曇天日より少し薄めで、生育を促進する場合や果実が赤みを増す時期も若干高めで、それぞれ管理している。

栽培型は年一作（7月20日頃播種、翌年の7月終了）である。品種は当初“TVR-2号”であったが、果実が小さく商品性が劣るので、大果系の“ファースト”に変更した。品種については大果系統が望ましく、抑えながら作るのもコツである。水耕は土耕より生育旺盛となり、人によって商品性が劣ると言うが、抑えて作れば味は良好、果皮も硬いので日持ちも良くなるという。

「生育はトマトに任せ、人間はそれを補助する脇役に徹すること、絶対にトマトの生育をコントロールしてはいけない」と主張している。なお、トマトの場合は環境調節も重要であり、冬場は午後9時まで10℃、それ以後は6～8℃とし、翌朝6時半から炭酸ガスを施用しながら14℃にまで昇温している。

「ミツバ」

名古屋市に住むW氏も野菜栽培30余年のベテランである。昭和47年からハイポニカの水耕栽培を始め、今年で17年になる。8年前に農地の一部を売却し、郊外（豊田市の北）に農地を購入し、M式水耕プラントによるミツバの水耕栽培を開始した。郊外の農地までは毎日1時間半

のトラック通勤。朝は市内の施設に立ち寄り、帰りは生産物を載せて名古屋の野菜市場へ直行している。

ミツバは茎葉繁茂のみ、年8作の短期栽培であるので、技術としては長期栽培のトマトに比して簡単と思いがちであるが、短いがゆえに問題も多い。例えば、発芽を揃えることは並大抵ではない。まず、播きむらを小さくすること、厚播きは種子の無駄使いになり、間引きもしなければならぬこと、発芽揃いの良い種子を常に確保しておくことなど大変である。また、夏は遮光用資材、冬は保温用の内張りフィルムを懸けなければならない。特に、夏は培養液を冷却機（チラー）で冷却するが、騒音で昼は停止するため、液温が上昇して栽培が難しくなることもある。なお、培養液は生育促進時に濃度を若干高めるが、通常は生育時期に関係なく、自動制御で同一濃度としている。

W氏は郊外の施設には朝11時頃の出勤、日没後に帰宅するため、夜間及び翌朝の施設管理はまったくできない。不在中は天窓、換気扇や培養液の循環装置などは自動にセットする。過去には夏の夜に集中豪雨や雷雨で天窓が閉じた状態で停電したり、循環装置の弁が作動せずに栽培ベッドから培養液が溢れたり、時にはベッドの培養液が無くなったりして大きな被害を被ることもあった。最近では定植や収穫など単純作業のパートを施設管理まで受け持たせたため、トラブルは以前より少なくなったという。

事例でも明らかなように、栽培方式をシステム化するには施設構造、野菜の種類、養液栽培プラントの型式の違いなど、システムの構築を阻害する障壁は多いが、野菜の生育時期や生育速度に応じた培養液管理はただちにシステム化に利用できると思われる。

5. 将来展望

最近、オランダにおいて養液栽培、特にロックウール栽培が急増し、1987年現在、施設面積

の約40%に相当する3500haほど設置されている。急増した原因は連作障害防止のために使用される土壌消毒剤が禁止されたことにあるが、それ以上にロックウールのメーカーが栽培方式のシステム化を構築し、それを普及させたことにあると推察される。

一方、わが国の養液栽培の栽培方式についてはシステム化が著しく遅れている。その理由としては、プラントがメーカー主導型で普及され、研究機関の後押しがなかったこと、養液栽培農

家同志の横の交流、特に栽培方法に関する情報交換が行われなかったことなどを挙げることができる。事例の多くは篤農技術とも呼ばれる領域であるが、これを養液栽培農家全体が実践する栽培システムとすることこそ肝要であろう。数年前に養液栽培農家をも含めた「養液栽培研究会」が発足し、農家同志の横の交流や研究者との交流を深めつつあり、栽培システムの構築についても期待されている。

(野菜・茶業試験場 栽培システム研究室長)

稲と米—品質を活かす

農林水産省農業研究センター 編
生物系特定産業技術研究推進機構

A5判 194頁 定価1,750円(本体1,700円) 千260円

今までに出版された、「稲と米—生産から食卓まで—」及び「稲と米—品質を巡って—」につづくシリーズ3冊目の出版です。

その内容は栽培・収穫・貯蔵・流通を通して品質を高める技術について追求した良著です。

農業経営者から消費者まで幅広い層の方々々に極めて有益な本と思いますので、広く活用されるようお褒めいたします。

〔主な内容〕 米品質の一考察(農業研究センター主任研究官 今井徹)、稲から飯までの微細構造(茨城大学助教授 松田智明)、稲の栽培条件と品質(新潟県農試専門研究員 佐々木康之)、米のミネラル成分と食味(中国農試主任研究官 堀野俊郎)、米の乾燥と品質保持(生研機構研究第2部長 伴敏三)、米の調質と貯蔵(京都大学教授 山下律也)、精米加工と品質保持(財団日本精米工業会常務理事 柳瀬肇)

発行所

社団法人 農林水産技術情報協会

〒103 東京都中央区日本橋兜町15-6 (製粉会館内)

電話 03 (667) 8931(代) 振替 東京1-71476