

農業と科学

1985
2

CHISSO-ASAHI FERTILIZER CO. LTD

野菜工場の現状と

今後の展望

(株) 海洋牧場中央研究所所長

農学博士 吉野 実

はじめに

大消費地を背景として市域内に野菜工場を建てて、品質の良い野菜を一年中安定して生産しようとする考えは、今や世界的な動向である。野菜類の工場生産では、

- ① 四季を通じて大量生産ができる。
- ② 狭い土地を立体的に有効利用できる。
- ③ 寒冷または極寒地帯でも栽培が可能である。
- ④ 病害虫と完全に隔離することによって、無農薬で高品質野菜が作れる。
- ⑤ 連作障害が起こらない。
- ⑥ コンピュータや産業用ロボットを導入して著しく省力化ができる。

このように多くの利点があるので、わが国でも各企業をはじめ水耕農家など、野菜工場に対する関心が非常に高い。

しかしながら、いざ工場を建てようとするとも高度の専門知識や栽培体験が必要なほか、資金や経営の面で尻込みしてしまうのが実情であろう。

紙面の都合で、各項目とも浅薄のそしりを免れないが次の順にその概要を紹介したい。

- 1 水耕試験法から養液培養技術への変遷
- 2 NFT栽培について
- 3 光質と光作用
- 4 世界の野菜工場
- 5 海洋牧場のカイワレ大根生産
- 6 野菜工場の今後の展望

1 水耕試験法から養液栽培技術への変遷

まず冒頭に「従来から、試験研究手法の一つとして用いられている水耕栽培試験法は、高い収益をあげることが目的とした養液栽培法とは全く違ったものである」と

いうことを強調したい。すなわち、水耕試験法は、各種元素の必須性、生理作用、吸収パターンなどを究明するための植物生理学における研究手法の一つである。したがって、これまで広く行われている水耕試験法は、農作物が、水田や畑で養水分を吸っている自然の姿をそのまま再現させたものでなければならない。一般には、なるべく希薄な培養液を用いて完全循環培養を行うのが望ましい。

これに対して、いわゆる水耕農家が実際に行っている野菜の水耕栽培は、高品質・多収が目的なので、各要素の吸収パターンを必ずしも自然条件下のパターンと一致させる必要は全くない。この考え方は光や培養液の濃度、pHなど、種々の栽培条件についても同様に当てはめられる。

一般に生産技術としての養液栽培では、水耕試験法と異なり比較的高濃度の養液が間欠的にリズミカルに供給されている。また、これは水耕栽培全般について言える

本号の内容

§ 野菜工場の現状と今後の展望……………(1)

(株) 海洋牧場中央研究所所長

農学博士 吉野 実

§ 野菜の栽培条件とビタミンC含量……………(5)

(その1) トマトにおける栽培条件と
果実のビタミンC含量

筑波大学農林学系 篠原 温

§ 水稲(コシヒカリ)の早期栽培における
LPコート(くみあい被覆尿素)の肥効……………(7)

富嶺県総合農業試験場 牧 慧
化学部土壌肥料科主任研究員

ことであるが、土耕栽培(圃場やポット)でみられるようなアルミニウムの被害は全く考慮する必要がない。むしろ、鉄、カルシウム、マグネシウム、その他の重金属類の可溶化を促進してやるような配慮が大切である。例えば、水耕栽培ではpHはおおむね5.8~6.0程度に調整したほうが一般に良い成績がえられる(表1参照)。

表1 準培養液の各成分濃度比較(単位ppm)

| 化学成分 研究者 | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | CaO | MgO | B ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | Mn | Zn | Cu |
|-------------|-------|-------------------------------|------------------|-------|------|-------------------------------|--------------------------------|-----|-------|-------|
| K n o p | 205.5 | 252.5 | 405.4 | 341.6 | 41.7 | | | | | |
| 春日井 | 40.1 | 40.0 | 81.0 | 40.0 | 40.8 | 0.11 | 0.1~5.0 | 1.3 | 0.002 | 0.002 |
| 吉野 | 10.1 | 50.4 | 43.1 | 11.6 | 9.3 | 2.0 | 4.6 | 2.6 | | |
| M式 | 260.0 | 120.0 | 345.0 | 230.0 | 60.0 | 1.5 | 7.7 | 1.5 | - | - |

備考：M式以外は試験研究用組成(主に畑作物を対象)で、概して昔ほど濃い培養液が用いられた。作物の種類、生育ステージなどによってNH₄-N、NO₃-Nの比率、微量要素の添加(表示以外にMo、Ni、Coなど)にも十分な配慮が必要。また、マメ科作物ではNの減量やCaの増量に留意する。

2 NFT栽培について

10年ほどまえ、わが国の養液栽培面積は約72haで、その内訳は水耕46ha、れき耕23ha、くん炭耕2haであった(1973統計)。その後、とくに水耕栽培面積の伸びは目覚しく、1981統計によれば施設園芸総面積の約1%・268haに達している。

わが国における野菜工場の設立とその発展は今後の課題であるが、当面、野菜工場へのワンステップと考えられるNFT栽培について述べよう。さて、わが国で、従来の水耕法からNFT方式に至るまでの経緯をみると表2のとおりである。

表2 水耕栽培方式の開発経過

| 水耕方式 | 開発者及び発表年次 |
|---------|-----------------|
| れき耕栽培 | 園芸試験場興津支場 1961 |
| 循環式水耕栽培 | " 久留米支場 1964 |
| くん炭培養 | 千葉県農業試験場 1967 |
| ハイポニカ | 協和化学 1968 |
| M式水耕栽培 | 村井邦彦 1969 |
| 新和式等量交換 | 新和プラスチック 1977 |
| NFT | 千葉大学園芸学部 1979導入 |

(新農業システム総合技術, 1984)

NFT栽培は、Dr. H.M. Resh 著、Hydroponic food production (1978) にみられるように Nutrient Film Technique の略称である。NFTは100分の1程度の勾配のある畝状ベッドで、一種の養液栽培である。根もとがポリエチレンフィルムで包まれるようになっており、培養液は根の底部にだけ流れる。NFTの利点と二・三の問題点をあげると次のようである。

①施肥管理が適確にできる。②培養液を加温することによって根部が適温に保持される。③循環方式なので培養液の無駄がない。④根の一部が大気中に露出しているので特に通気する必要がない。⑤土壌消毒の必要がな

い。⑥1作から次作への交代が早く、収益性が高い。⑦設置や管理作業が容易である。このようにメリットも多いが、下記のような問題点にも留意されたい。

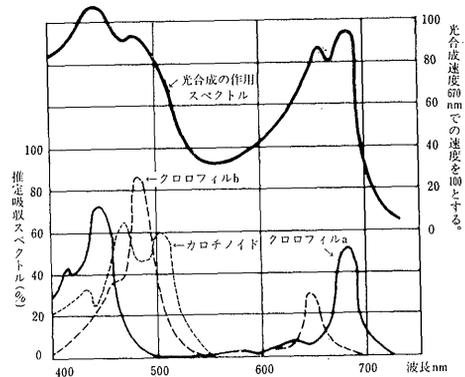
培養液が過多になると深水となり、ルートマットが酸素欠乏に陥る。とりわけ、トマト栽培では十分な配慮が必要で、最近における園芸用ロックウール*などの応用は

その効果が期待される。また、夏期における培養液温の上昇による障害も問題の一つである。NFTは少量培養液による循環方式なので、培養液の温度や濃度が大幅に変動しやすい。夏期の高温は野菜栽培の大敵である。

3] 光質と光利用

太陽エネルギー(日射)は紫外線エネルギー(380nm以下)が数%、可視光線エネルギー(380~760nm)が45~50%、残りが赤外線エネルギー(760nm以上)である。したがって、日射の中で植物の光合成に役立つ部分(400~700nm)は全エネルギーの半分以下で、残り半分は赤外線である。つまり、光合成作用に直接役立つ光は約50%以下に過ぎないことになる(図1参照)。

図1 光合成色素の吸収スペクトルおよび光合成の作用スペクトル(堀)



一般にトマト、キュウリなどの果菜類やイチゴ、メロンなどのフルーツ栽培は、葉菜類栽培と異なり、光合成作用とともに光形態形成作用(光形成作用ともいう)について十分な配慮が必要である。種子の発芽、葉の展開、花芽の分化と形成、休眠などの光周性、屈光性は主として光形成作用によって支配されている。太陽光利用型野菜工場は光周性などに支配されない葉菜類の栽培に限定されている。したがって、果菜類栽培を野菜工場として企業的に成功させるためには太陽光を完全に遮断して人工光源を自在にコントロールできる完全制御型の導入が

* 1971年頃、オランダの花木試験場で挿木用として供試されたもの。育苗用の標準密度は60~80kg/m²、またGrodanの育苗用標準規格は7.5cm×7.5cm×6.5cmである。

どうしても必要である。

4 世界の野菜工場

世界の野菜工場はおおまかに太陽光利用型と完全制御型に大別される。わが国では完全制御型はほとんどみられないが、世界的にも特定の企業にみられるに過ぎない。また、完全制御型といえども本格的な実用化には今一步というのが実情で、いずれも研究開発中または一度実用化されたものが再び開発段階に逆戻りした例もある。例えば、General Food 社では実用段階の完全制御型から、太陽光と人工光併用のハイブリッド型への開発研究に転換した。

トマト、キュウリなどの果菜類やカーネーション、バラ、ランなどの花き類のように光形成作用が重要な作目では、栽培環境条件、とくに光条件を厳密に制御することが大切で、この場合は完全制御型が主流となる。これに対してクレス、セルリー、レタス、ミツバ、カイワレ大根、ホウレンソウなどの葉菜類、軟弱野菜、芽菜類などと呼ばれるものは太陽光を中心とし、必要に応じて人工光と併用するのが経営上得策である。

世界の主な野菜工場をあげると表3のとおりである。本表以外にもアメリカのキャッスル&ーク社(マッシュルーム)、ハイドロカルチャー社(野菜、牧草、花き)などがあげられる。また、わが国では国公立研究をはじめ北里、小糸、タキイ等で、野菜工場を指向した開発的研究が行われている。実用化されている野菜工場における主な野菜類は、Christensen 農場のクレス、Whittaker 社のサラダナ、サニーレタス、海洋牧場のカイワレ大根など、現時点では葉菜類の生産に限られている。

Christensen 農場：デンマークのコペンハーゲン郊外

にある世界最初の野菜工場として知られる。栽培作物はクレスという芽菜類だけで、播種から収穫までわずか6日間という短期栽培、肥料も主成分だけというきわめて簡単な管理内容である。クレスはカラシナの一種で特有の苦味があり、名物のスミアボードに使用されている。栽培温度は発芽室28℃、育成室15~17℃で、湿度とともに常時コントロールされている。

この野菜工場は太陽光利用型で、冬期だけナトリウムランプで補光する。この型式は太陽光を有効に利用しようとするため、太陽熱も同時に取込まれ、夏期は室温が著しく上昇する。しかし、当地は夏期は冷涼で冷房しなくても遮光だけで済む。これが太陽光利用型野菜工場として成功した大きな理由であろう。

Ruthner 社：完全制御型野菜工場を目指してすでに20年以上も研究開発が進められている。円形の立体回転移動式タワーである。作目はトマトを主体にレタス、サラダナなどの葉菜類から花き、牧草、苗木など実に広範である。代表作目であるトマトについて、その栽培条件をみると、株間1m、作物と光源の距離0.5m。湿度は昼27℃、夜、17℃。CO₂濃度は育苗時400ppm、生育期間1400ppm。光周期は昼8時間、夜4時間。播種から収穫までの日数は約75日間といわれている(日立中央研、高辻)。光条件は各作目ごとにそれぞれ適合した分光特性をもつ同社開発のルカロックスランプを使用している。

完全制御型野菜工場では施設および運転に莫大な費用がかかる。これら乗り越えて野菜工場として成功するには、安定計画、生産はもちろん、形状、味、色つや、ビタミンC含量などが露地やハウスものに比べて数段も

表3 世界における野菜工場の概要

| 開発企業 | 生産方式 | 栽培作物 | 実用段階 | 特徴 | 備考 |
|-----------------------------------|-------|----------------------------------|---------------------|---------------------------|--|
| Christensen農場 (デンマーク) | 太陽光利用 | クレス(カイワレ大根に似た芽菜類) | 実用化(世界最初の野菜工場として有名) | 葉菜類の短期生産 | 栽培管理は冬7日、夏5日、平均6日間。肥料は主成分のみ。 |
| Ruthner社 (オーストリア) | 完全制御 | レタス、サラダナ、トマト(花き、牧草、葉草、苗木) | 研究開発 | 立体回転、移動栽培 | 設備システムが割高。照明は同社開発のルカロックスランプ(照度19klx) |
| General Electric社 GE (アメリカ) | " | レタス、トマト、キュウリ | " | 立体静止栽培 | 電気料が生産費の約50%。年間収穫回数はトマト7回、キュウリ4回、レタス16回。 |
| General Mills社 GM (アメリカ) | " | レタス、サラダナ、ホウレンソウ | " | 株間移動栽培 | 電気料が割高 |
| Whittaker社 (アメリカ) | 太陽光利用 | サラダナ、サニーレタス(キュウリ、ピーマン、ホウレンソウの試作) | 実用化 | プラスチックカバーの半円筒形施設。多段栽培(5段) | 一種のNFT栽培で、バミュキュライトをつめたポット栽培。 |
| 海洋牧場 (日本) | " | カイワレ大根 | " | 発泡スチロール製育苗箱による特殊な水耕栽培 | 健康食品としての野菜生産が目的で、完全な無農薬栽培。 |

優れていることが必須条件である。

5 海洋牧場のカイワレ大根生産

マリンゴルドの製造を主軸とした当社が健康野菜としてカイワレ大根の栽培を始めたのは、わずか数年前のこと。現在、北海道から九州まで18工場を有し、さらに1983年ペンシルベニア州ヘイズルトンに「スーパーグリーン」を設立し、野菜工場の米国上陸として注目されている。

当社の特徴はたんに新鮮野菜としてのカイワレ大根ではなく、健康食品としてのカイワレ大根の創造に大きな努力が払われてきた点である。完全な無農薬栽培技術の確立、ミネラル・ビタミンの驚異的高含量はその成果である。商品名も他社と区別する意味で「妻味菜」、*"2-Mamina"*と呼ばれる。全国18工場の中で、産業用ロボットを導入をはじめ最も自動化の進んだ焼津工場は、まさに野菜工場の名にふさわしい。

焼津工場は自然立地条件に非常に恵まれた工場であるといえる。すなわち、

- ①豊富な湧水、
- ②養鰻跡地の利用がそれである。

広大な富士山麓を擁する当地帯の湧水は良質で、水量も無限大に近い。この湧水は培養液として、冷暖房用として、また浮力と流れを利用したウォーターコンベア（緑化室プールで育苗箱の運搬用ベルトコンベアの代役を果）は當場だけにみられる特典であろう。一方、養鰻業の衰退に伴って多くの養鰻池が休業状態のまま放置されており、その跡地利用が深刻な問題になっている。上述の有利性はきわめて大きく、どこでも誰でも当地のようにうまくゆくとは限らない。さて、栽培管理の一端を紹介することにする。

カイワレ大根とは：通常、大阪四十日大根のことをいう。子葉が大きく、生長が早いので、その幼植物は高級軟弱野菜として古くから珍重され、特有の辛味と相まって広く賞味されている。長日性・冬作物、栽培適温（昼23～25℃、夜18～19℃）などからわかるように夏期の室内栽培は困難である。播種は日本でも一部の地域で行われているが、大部分を輸入に仰ぎ、90%以上がアメリカ西海岸産である。

播種から収穫まで：常温で数時間、種子を水につける→温度25℃、湿度70%の催芽室に一夜放置→発泡スチロール製育苗箱に播種し、所定量のミネラルイオン水を点滴かん水する→5段に積み重ねて2日間暗所に放置し、双葉を展開させる。昼夜間を通じて蛍光灯ホモルク



緑化ハウスの湧水プールで日光浴をする「カイワレ大根＝海洋牧場焼津工場

スで補光→双葉が完全に展開した後、2～3日間湧水プールに浮べて太陽光下で緑化。この間、必要に応じてホモルクスで補光→全工程6～7日間で収穫。工程中の諸作業はほとんど自動化されており、温湿度などコンピュータで制御される。なお、CO₂は施設内CO₂濃度を随時測定し、必要に応じてCO₂ボンベで施用する。

6 野菜工場の今後の展望

農業における野菜生産をどう考えるかによって今後の展望は大きく異なる場所である。農業は土に立脚した産業であるという概念と同時に、農業は太陽を収穫する産業であるという考え方も定着しつつあるようだ。生産方式のいかんを問わず、野菜工場の重要性は季節や天候に左右されず、きわめて高品質の野菜類を常時・安定・多収できることである。季節に左右されないため極寒地や寒冷地でも計画生産が可能であるということは高緯度地域の各国にとって大きな福音である。また、狭小な土地面積を最大限に駆使して土地生産性を驚異的にアップしうる可能性も魅力である。

しかしながら、上記諸事項を満足させるための建設費、ランニングコストはかなりの額に達するだろうと考えられる。植物栽培技術の向上と諸経費軽減のための先端技術の開発が、野菜工場発展の将来を占う鍵を握っているといえよう。野菜工場での生産物をたんに葉菜類だけにとどめず果菜類、花き、きのこ類、さらに新品種の育成とその生産の場とするためにバイオテクノロジー技術の開発とその応用はもちろん、当面、植物ホルモン、磁場等の応用や光質の高度利用（太陽光はもちろん、光ファイバー、人工光を含む）など、研究すべき課題はあまりにも多い。