

環境に優しい養液栽培開発への課題

篠原 温

千葉大学園芸学部

日本の養液栽培の現状を概観し、環境に優しい養液栽培の開発とその発展の必要性を述べた。最も参考となるオランダの事情をもとに、わが国の技術開発の課題を列挙し、それらを解説した。それらは、栽培施設に関しては、①温室の構造、②被覆資材、③空調方法、④病害虫防除法、⑤植物残さの処理、⑥育苗方法の改善、などの技術開発が考えられ、養液栽培に関しては、①培地、②閉鎖循環型栽培方法、③培養液の殺菌、④栽培手法、などが考えられる。それらを解説した。

Yutaka SHINOHARA: Assignments for the development of environmentally sound soilless culture in Japan

1. はじめに

日本の養液栽培の施設面積は、年々順調に増加し2001年統計で約1300haとなっている（第1図）。現在では約1500haになっているであろう。しかしながら、日本の施設園芸の総面積約50,000haに占める養液栽培の割合は未だ約2%強にすぎない。したがって、養液栽培が引き起こす可能性のある環境汚染は、全体からみれば微々たるものである。栽培施設も分散していることから、あまり神経質になる必要もないと思われる。一方、狭い地域に集中的に施設園芸、特に養液栽培が発達しているオランダにおいては、栽培による環境の汚染が実際に緊急な問題とされ、2000年を目標に様々な取り組みが行われてきた。しかも、露地・施設栽培、有機・無機栽培、あるいは畜産（飼料作物栽培など）をも含めた農業全般の問題とされている。日本と異なるこの観点は、私に公平な感じを抱かせる。すなわち、投入した肥料成分の一切を圃場外に漏出しては行けないことになっており、違反者に対しては罰金の制度（税金の増額）が適用されている。

日本国においても、持続型農業、減肥料栽培への研究が進められてきている。マスコミを中心に資源循環型農業に世間の注目が集まるあまり、有機栽培に対しては、そのプラスイメージを強調したいがためか、環境負荷の問題はさほど問題視されていない。逆に水や化学肥料をふんだんに使っている（本当は典型的な節水・節肥料なのだが）というマイナスイメージの強い養液栽培は、誤った認識から特に異端者扱いされているくらいすら見られる。土づくり・物質循環と環境負荷の問題は、別次元の問題として明確に区別して認識してもらいたいものである。環境負荷軽減技術は、有機栽培・無機栽培共通の責務であり、その達成に向けて相携えて進むべきものである。その芽を摘むような感情的な動きに対しては、科学的な根拠をもとに議論すべきであると強く主張したい。

また、最近園芸製品の輸入が急速に増加し、野菜については、自給率80%を切るのも時間の問題と言われており、野菜園芸という産業は戦後最大の曲がり角にさしかかっている。家族労働を前提とし、経営規模もあまり大きくなく、

さらに農業者の平均年齢が65才を越えた日本の農業をいかに維持発展させていくかは、我々関係者にとっても最大の課題となっている。冷凍加工を含めた野菜の輸入は、FTA（自由貿易協定）の後押しもあり、国内との価格差によってこれからも増加していくと思われるので、ある程度の淘汰がおきるのは致し方ないことであろう。対応策としては、国際競争力のある価格で、より安全な生鮮野菜を作ることが必要であり、また一方では、付加価値の高い商品を作りだし、価格は高いが消費者はそれらを支えるというような構造が必要であろう。政治的な配慮としては、野菜生産の海外との生産分業体制を含め、平和で新しい時代に対応した国際的な野菜の生産体制を協議していく必要もあろう（これに対しては評価できる動きも見られてはいる）。

このような状況の中で日本の野菜生産のとるべき方向は二つに大きく分けられ、一つは、規模の拡大あるいは設備投資・機械化などによる生産の効率化・省力化によって、生産コストを抑え国際競争力をつけていく方向であり、もう一つは、経営規模は小さくとも、輸入あるいは一般的な生産物と明確に差別化できる高品質野菜の生産ではあると筆者は考えている。養液栽培はこの両方について貢献できる技術の一つであり、しかも生産に関しては、衛生管理に配慮した安全な生産物を消費者に届けられるという有利な点も持ち合わせていると思われる。もちろん環境負荷を最小限に押さえることも可能な技術である。したがって、養液栽培の健全な発展は、わが国の野菜園芸にとって不可欠であるとさえ思われるのである。今や色々な意味から、養液栽培の技術開発への期待が高まらざるを得ない。

本稿では、以上のような観点を踏まえ、わが

国の養液栽培における「環境に配慮した栽培」のポイントなどを考えてみたい。

2. オランダの養液栽培

オランダにおける野菜、花卉の温室設置面積は約10,000haで、ここ10年くらいほとんど増減はない。しかし野菜に関しては、南ヨーロッパや北アフリカから安価な野菜が大量に輸入されるに至り、経営を圧迫された野菜栽培農家の多くは、育種などの力で他国に対して圧倒的優位な位置を保っている花卉栽培へ転換している。一戸あたりの経営規模もおよそ3.5haと大規模化し、種々の合理化によってやっと採算を保っているという状態である。

オランダでは、1980年頃からロックウール栽培が導入され急速に普及したが、その背景には、①化学薬品（臭化メチル等）による土壌消毒の規制がきびしくなったこと、②土耕に比較して収量が増加すること、および自動化・省力化の効果が大いこと、③産地が集中し気象条件がほぼ同一で、年間温度格差が比較的小さく、大規模農家が多いため、コンピュータを利用した温室管理および養液栽培の導入によるメリットが大きいこと、などが挙げられる。

排水規制についてであるが、ナールドワイクを中心とするウエストランド地方は、国土面積の0.3%を占めるに過ぎない小さな地域であるが、全温室面積の30%以上がここに集中し、ナールドワイクでは園芸用の耕地の90%近くが温室で占められている。「ガラスの国」と呼ばれる由縁である。この様な状況下で、掛け流し方式によるロックウール栽培が普及し、給液の約30～50%の培養液が廃棄されていた。狭い地域に大規模な栽培が集中していたため、環境への影響は大きく、オランダ政府は西暦2000年からは、

土耕栽培も含めて、すべての肥料の系外への排出を規制する方針を打ち出したのである。このため各試験場では、土耕栽培（有機栽培）も含めて排水をださない栽培方法を集中的に研究している。養液栽培では、循環式にすると掛け流し式に対して、窒素57%、リン73%、カリ68%、カルシウム44%、マグネシウム47%に減少させることができ、1 ha当り窒素824kg、リン103kg、カリ781kg、カルシウム748kg、マグネシウム198kgの節約が可能となるというデータがある。基本的な考え方は、排水率を20%程度に押さえ、排水を殺菌処理したうえで、給液ラインに混入されて循環するというものが多い。また、殺菌処理済みの排水を原液で10倍程度に希釈したうえで、原液として利用する方法も採られている。このように、オランダでは国をあげて環境汚染を極力抑える温室栽培を、経営への圧迫と戦いながら追求している（図2）。

オランダ、ベルギーでは養液栽培の研究にキャッチフレーズを掲げてきた。すなわち、ベルギーでは「環境に優しい」「健全な経営」「人間工学的な機械化・省力技術」の3つであり、オランダでは、「持続的」「安全性」「競争力」の3つである。また、お隣の韓国でも、「親環境」という言葉で環境に優しい農業の実現を図っている。いずれも、環境の保全を目的の筆頭にかかげ、自動化・省力・安全性・高品質・低価格化を狙ったものである。

現代は「マニフェスト」の時代だそうで、上記のような抽象的なスローガンだけではなく、「プロジェクトX」のように、何年何月までにいくらかこの性能を持った製品をつくるというような、具体的数値目標を掲げて進み、定期的に自己・外部の評価を加える方法論が求められている。今回のテーマである「環境に優しい」

という面から見れば、肥料や植物残さなどのゼロエミッション化と、CO₂ 排出量の低減が最も重要な課題ではないだろうか。

3. 必要な研究開発

ここでは、環境に優しい養液栽培の確立にとって必要な技術開発について考えてみたい。

まず、栽培施設に関しては、①温室の構造、②被覆資材、③空調方法、④病害虫防除法、⑤植物残さの処理、⑥育苗方法、などの技術開発が考えられ、養液栽培に関しては、①培地、②閉鎖循環型栽培方法、③培養液の殺菌、④栽培手法、などが考えられる。いずれにせよ、研究すべき課題は多く残されているということである。これらの課題について以下述べる。

1) 栽培施設に関して、

① 温室の構造などの改良

室内環境の改善のための高軒高ハウスは大型施設を中心に一般化してきている。これはこれとして、環境面からは、断熱性と放熱性の向上という矛盾した二面性の改善が最も重要な課題であろう。保温に関してはカーテンの利用が最も一般的であるが、施設を視察してみるとカーテンの断熱性が十分に活かされていない（隙間が多く見られる）ケースが非常に多い。また、夏期の高温を防ぐ目的で遮光カーテンも設置されている場合も多いが、この場合遮光はできて内部の熱の放出ができない（遮光+保温）資材を用いて、しかも密閉してしまうような使い方も多く見られる。夏期の場合は、室温上昇を抑える効果が大きいことが分かっている遮光資材の屋根外張りをぜひ考えたい。室内の通気を良くすることによって、細霧冷房の効率もあがり、植物に

も作業者にも快適な環境が生まれる可能性が高い。

② 被覆資材

多層構造を持ち、寿命の長い高性能な様々なフィルムが開発されており、それらの使用も一般化してきている。10年以上保つとすれば、十分環境に優しい資材といえるのではないだろうか。もはや農ビフィルムの使用を大幅に制限する規制措置がとられても良いのではないだろうか。もちろん、長寿命フィルムの使用後の適正な処理も含めてである。そのような強制的な措置がとられることで、より環境に優しい資材への使用転換が加速される可能性がある。良くも悪くも、東京都などがとったディーゼル車の運行禁止条例などもその例であろう。

③ 空調方法

空調で注目されるのは、ヨーロッパではかなり普及しているが、コ・ジェネレーションではないだろうか？ 燃焼によってエンジンまたはタービンを回し、発電するとともに余熱を熱交換して暖房・冷房に使い、同時に排出されるCO₂を植物育成に用いるものである。オランダの例では、エネルギーの利用効率は90%以上とすることができるそうである。環境に優しい究極の技術とも言えよう。日本では、電気の売買に制限があることや、このシステムの晩春・夏・初秋の利用に限界があるため、現時点ではさほど興味を引いていないが、冷房エネルギーとして利用する道、例えば、養液の冷却、育苗施設の空調、栽培施設の夜間冷房などには応用が可能であり、研究する価値は十分にあるものと考えられる。

高温期のCO₂の施用に関しても、養液栽培に関してはさらに研究する余地があるものと思われる。光合成が盛んに行われる日中の作物群落中の濃度は、転送が開いていても200ppmを切ることも珍しくなく、このような状況で効率よくCO₂の施用ができれば、かなりの効果が期待できる。しかし、天窓や測窓が開いているため、CO₂の施用は無駄になると考えられているため、施用されないのが普通である。しかし、群落内の濃度を外気濃度と同じ350ppmに設定してやれば、CO₂の内外分圧は等しくなるため、天窓・測窓を通じた異動は起こらないはずである。したがって施用の効果は大いに期待できるということになる。もちろん、葉面境界層の破壊のための微風の必要性なども考慮に入れる必要はあるが、研究の価値は十分あると言えよう。

④ 病虫害防除法

オランダでは、最大の使用量であった1984-1988年に対して、2000年には35%まで減少させた。このように具体的数値が上げられると無理やり実行せざるを得ないのである。現場で実施される3つのチェック(1.2週間毎の天敵使用の記録、2.2種類以上の天敵の使用、3.薬剤による土壌消毒をしていないこと)に合格した生産者の出荷箱には、安全性を保証するチョウチヨのマークを印刷して出荷する。この認証は政府によるものではなく、第三者認証によるものである。

政府による認証を当てにしている時間も時間がかかる場合が多いので(特に日本の場合)、出荷・販売団体(JA、市場、量販店など)が個別に認証して消費者に安心を届ける独自の表示を考えても良いと思われる。「特別栽培農産物」のガイドラインからは、養液栽培によるものは除外

されてしまった。養液栽培に携わるものとしては実に憤懣やるかたないわけである。「土を育てない農業はこの範疇に入れない」、「無農薬」という表示の印象は、有機栽培という表示より強いのでこの範疇に入れない」など、およそ食の安全・安心の観点からはほど遠い、非現実的な議論が行われ、このようなガイドラインとなったのである。関係者の科学的根拠に基づく正しい認識を強く要請したい。事実は事実なのである。無農薬という言葉は一般に流通している言葉である。だから、私見としては、かえって印象が強いことを利用し、「養液栽培、無農薬」と表示して出荷すればよいと思うのである。感情的な（信仰にも似た）判断で、○とか×とかをつけることは厳に慎むべきである。話はそれだが、有機も無機も相携えて前進するべきだというのが私の主張であり、お互いに科学的なアプローチによる客観的なデータの集積を図るべきだと思われる。

⑤ 植物残さの利用

果菜類では、栽培途中および終了時に大量の植物残さがでる。これらの残さは健康に栽培されていれば、適当な割合で肥料成分を含んでいるはずである（果実として出荷した分は除外されるが）。これまで、残さは掘られた穴に埋められたり、乾燥して燃やされていたが、残さから肥料成分の抽出が可能ならば、これを利用しない手はない。水分の調節や温度管理が必要であろうが、発酵・分解させれば抽出も可能になるのではないだろうか。野菜茶業研究所では、トウモロコシからデンプンをとる際に副産物として産出される、コーンステーパーリカーを用いて有機養液栽培の試験が行われており、未利用資材の有効利用法として注目されるが、栽培

している植物体自体の有効利用こそ、究極の未利用資材として研究を進めるべきであろう。

2) 養液栽培に関して

① 培地

養液栽培に利用される培地は、無機系・有機系と多彩である。オランダでは、栽培地域が密集しているため、RWの消毒・再利用などもまとめて実行されやすいが、日本では回収一つをとっても非常に困難であり、コストもかかってしまう。RWに関しては、水田の代かきの時に粉砕したRWを鋤込めば、ケイ酸カルシウム肥料としても有効に使えることは分かっており、このように利用している生産者も多いが、使用済みのRWが温室の脇に野積みになっていたりすることも多い。このため、畑地にも還元可能な有機培地を用いる方法の模索が続いている。特に最近栽培面積が増加して来ているイチゴの高設栽培システムではこの傾向が強いようである。材料としては、ココピート、モミガラ、杉皮繊維、ピートモス、バークなどが用いられるが、筆者は炭化素材の利用ももっと考えるべきではないかと考える。炭は光合成によって生産されたバイオマスを炭素として半永久的に固定したものである。今やどんな有機物でも炭化する技術が開発されており、前述の植物残さ、ピーナツ殻、サトウキビのバガスなども素材として利用ができる。しかも、炭化物は無菌であり、活性炭としての化学性も期待できる。しかし、イオンの吸着特性や溶出特性は原材料によってかなり異なるので、使用に関しては事前の研究が必要である。

② 閉鎖型栽培技術へのアプローチ

我が国はもともと礫耕栽培や湛液式水耕栽培など、循環式の養液栽培から出発しており、培養液をふんだんに循環するという方法に違和感はなかった。しかし、循環するうちに培養液の濃度が増えるため、EC値によって濃度を元に戻す管理方法がとられた。礫耕時代にはこれでも管理は十分であったが、水耕になると栽培中の組成のアンバランスの影響が大きく、それまで使っていた園試処方培養液では不都合が多く、作物別に違う処方を作る必要が生じた。山崎は植物の肥料成分吸収特性を独自の手法によって測定し（n/w、エヌ・ダブリュ法）、培養液が減少してもその濃度や組成の変化を少なくする処方を提唱した。これがいわゆる山崎処方と呼ばれるものであり、環境に優しい培養液の処方の開発だったと言える。それでも栽培中に培養液の組成・濃度はアンバランスとなってしまう事が多いため、生育にへんかが見られた時点で、培養液の全更新（すなわち廃棄）が行われているのが現状である。

その後、RWのかけ流し栽培などが普及すると、トマトを中心として養液栽培の面積は急激に増加したが、オランダなどの事情、肥料の系外排出に対する批判、などからわが国においても閉鎖型の栽培技術の開発へ移行が進んでいる。かけ流しは常に新たな無菌培養液が供給でき、給液量の20~30%を排液とすることによって、培地内の化学的な環境を安定させることができる。コストも安く、作りやすいという大きなメリットを保っている。しかし、オランダでは、閉鎖型栽培への移行に伴って、排液の回収が容易で、他にもメリットをもつハイガター（つり下げベッド）システムが急速に普及した。廃液は殺菌され再利用される（そのまま給液ラインに混入

しても、肥料組成への影響はほとんど10%以内に収まる。さらに排液を10倍位に希釈して原水に混合すれば、その影響はほとんど無視できる）。この技術は、日本でもかけ流し方式には応用が容易であるが、培養液をふんだんに循環する湛液やNFT方式では、別の方法が必要となる。したがって、培養液の組成・濃度を安定させる方法と殺菌方法の開発が望まれるわけである。千葉大学、京都府立大学、野菜茶業研究所などが研究している、肥料の量的管理法は、一つの新しいアイデアを提供しているものと評価される。

③ 養液の殺菌

前述のように、循環式の養液栽培では、病害の蔓延が心配されるため、培養液の消毒が必須であるとされている。殺菌法については、加熱、紫外線（UV）、オゾン、酸化剤、砂フィルター等を利用する方法があり、オランダでは紫外線や緩速濾過を用いる方法が多く用いられている。NFTや湛液水耕では、UVとオゾンが有効とされてはいるものの、確実性は乏しいため、培養液に添加できる形のもの望ましく、銀イオンやヨウ素の利用なども期待されている。

④ 葉菜類の硝酸含量の低減

葉菜類の種類によって多少異なるが、冬季（10-4月）でおよそ3,500ppm、夏季で2,500ppm以下としなければならない。養液栽培では、すでに硝酸低減化の技術は開発されており、栽培システムも商品化されているが、最近千葉大学で研究されている低濃度培養液による栽培にも希望が持てる。すなわち、根の表面に形成される肥料成分の境界層を破壊してやる（すなわち培養液と根との接触機会を格段に増やす）と、従来考えられていた濃度より遙かに低い濃度で

も、植物は順調に肥料の吸収ができるというものである。千葉県で水質汚染の進んでいる手賀沼の水は、窒素濃度は3ppm程度であり、培養液濃度からすると1/100に近いごく薄い濃度であるが、NFTや流動湛液水耕を行えば、何ら養分欠乏を起こすことなく植物は生育ができる（むしろ窒素以外の要素も低濃度ながらバランスがとれているからでもある）。実験ではエンサイを供試して湖の水質を浄化しながら、遊休水田で野菜を生産する方法を研究している。この栽培方法が確立すれば葉菜類の硝酸含量は、常識より遙かに低いものとする事ができるし、環境を浄化することすら可能となる。

4. 今後の展望

最初にも述べたように、いまや環境に優しい養液栽培は守らざるを得ない問題として我々の目前に存在している。同じように環境に優しい土耕(有

機)栽培も、科学的なアプローチで実現しなければならない。

これまで養液栽培を中心とする様々な研究課題について述べてきたが、必要な課題は無尽蔵に近く存在していると言っても過言ではない。そのためにも、一つ一つの具体的な目標を設定し、養液栽培が健全な発展を遂げるよう、産官学が相たずさえて開発研究をしなければならないと思われる。

参考文献

1. 日本施設園芸協会編(2002). 養液栽培の新マニュアル. 誠文堂新光社
2. 養液栽培研究会編(1997). 養液栽培マニュアル2 1. 誠文堂新光社

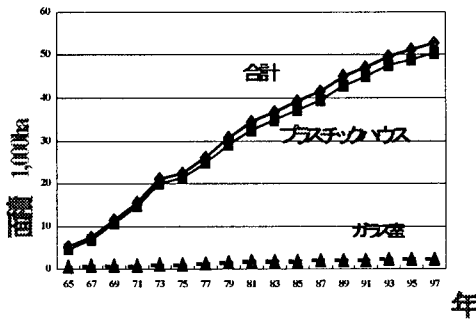


図1-1. 日本の温室設置面積の年次変化

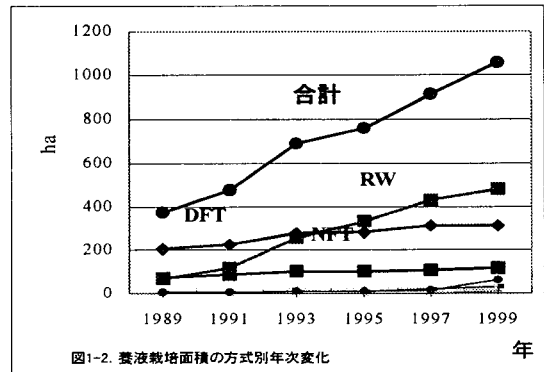


図1-2. 養液栽培面積の方式別年次変化

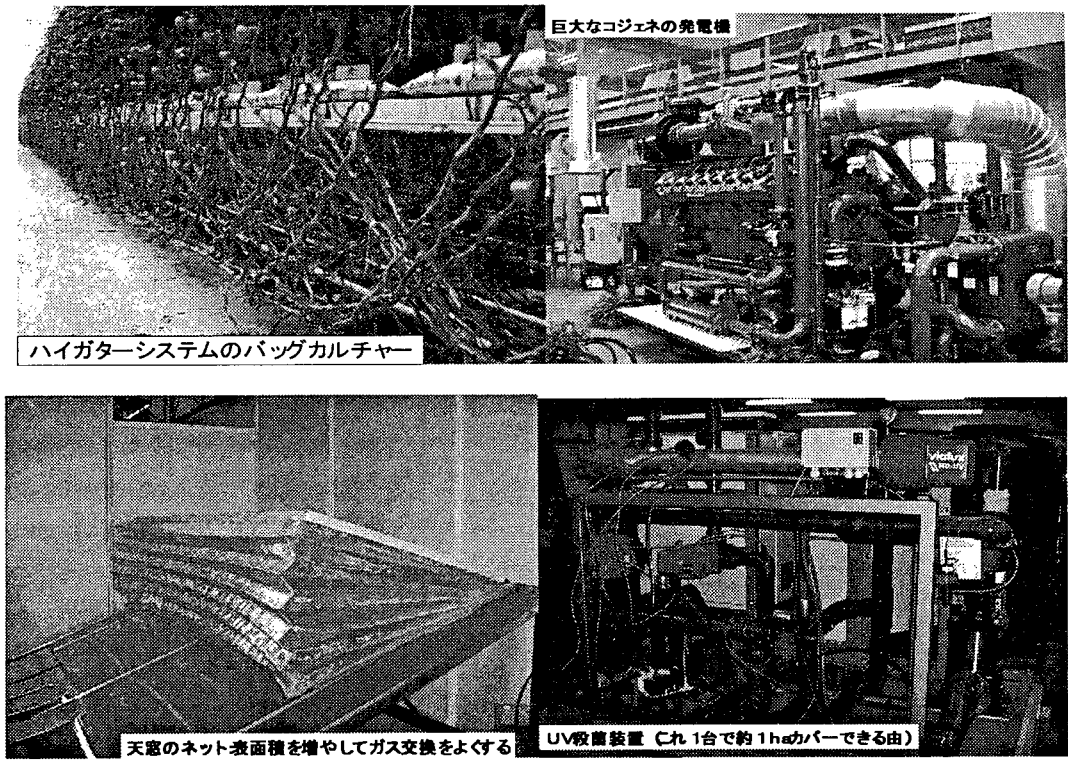


図3. オランダにおける様々な試み

친환경적인 양액재배 개발의 과제

篠原 温(Yutaka SHINOHARA)

千葉大學園芸學部

(Assignments for the development of environmentally sound soilless culture in Japan)

일본의 양액재배 현황을 살펴보고, 친환경적인 양액재배의 개발과 그 발전의 필요성을 서술하였다. 가장 참고가 되는 네덜란드의 현황을 토대로, 일본의 기술개발 과제를 열거하고 이를 기술하였다. 이러한 재배시설에 대해서는 ①온실의 구조 ②피복 자재 ③공조 방법 ④병해충 방제법 ⑤식물잔존물 처리 ⑥육묘 방법 개선 등의 기술 개발을 생각할 수 있고, 양액재배에 관해서는 ①배지 ②폐쇄 순환형 재배 방법 ③배양액의 살균, ④재배 방법 등을 생각할 수 있다. 이에 대하여 기술하였다.

1. 머리말

일본의 양액재배 시설면적은 매년 순조롭게 증가하여, 2001년의 통계로 약 1,300ha에 달하고 있다(그림 1). 현재는 약 1,500ha로 추정하고 있다. 그렇지만 일본의 시설원예 총면적 약 50,000ha 중 양액재배의 비율은 아직도 약 2%정도에 지나지 않는다. 따라서 양액재배가 환경오염을 발생시킬 가능성은 전체로 보면 미미한 것이다. 재배시설도 분산되어 있으므로 그다지 과민 반응을 할 필요가 없을 것으로 생각된다. 한편, 좁은 지역에 집중적으로 시설 원예, 특히 양액재배가 발달되어 있는 네덜란드에서는 재배에 따른 환경오염이 실제로 긴급한 문제가 되어 2000년을 목표로 다양한 대처를 해왔다. 여기에 노지·시설 재배, 유기·무기재배, 또는 축산(사료작물 재배 등)까지도 포함한 농업 전반의 문제로 되어 있다. 일본과 다른 이러한 관점은 나로서는 공평한 느낌을 갖게 한다. 즉, 투입한 비료 성분의 일체를 재배포장외로 누출해서는 안 되는 것으로 하고 위반자에 대해서는 벌금 제도(세금 증액)가 적용되고 있다.

일본에서도 지속형농업, 감 비료 재배의 연구가 진행되고 있다. 매스컴을 중심으로 자원순환형농업에 세상의 시선이 집중된 나머지, 유기재배에 대해서는 그 플러스 이

미지를 강조하고 싶은 때문인지 환경 부하의 문제는 그다지 문제시 되어 있지 않고 있다. 역으로 물이나 화학비료를 보통으로 사용하고 있다. (사실은 전형적인 절수·절비료이지만) 마이너스 이미지가 강한 양액재배는 잘못된 인식으로부터 특히 이단자로 취급되고 있는 차별조차도 볼 수 있다. 흙살리기·물질순환 및 환경부하의 문제는 다른 차원의 문제로써 명확하게 구별하여 인식 해 주기를 바라는 것이다. 환경부하 경감기술은 유기재배, 무기재배 공통의 책무이며, 그 달성을 위해서 협력해서 진행되어야 할 것이다. 그 싹을 잘라버리는 감정적인 움직임에 대해서는 과학적인 근거를 바탕으로 논의되어야 한다고 강하게 주장하고 싶다.

또한 최근 원예농산물의 수입이 급속히 증가되어 채소는 자급률 80%를 밑도는 것도 시간의 문제라고 일컬어져 채소원예라고 하는 산업은 전후 최대의 분기점에 접어들고 있다. 가족노동을 전제로 하고 경영규모도 별로 크지 않으며, 더욱이 농업인의 평균 연령이 65세를 넘은 일본의 농업을 어떻게 유지 발전시켜야 할 것인가 등 농업 관계자로서도 최대의 과제가 되고 있다. 냉동가공을 포함한 채소 수입은 FTA(자유무역협정)의 협상도 타결되어, 국내의 가격차에 따라 앞으로도 증가해 갈 것으로 생각되므로 어느 정도의 도태가 발생하는 것은 어쩔 수 없는 일일 것이다. 대응책으로서는 국제 경쟁력이 있는 가격으로 보다 안전한 신선 채소를 만드는 것이 필요하고, 또 한편으로는 부가가치가 높은 상품을 만들어서 가격은 비싸지만 소비자의 구매 욕구를 유발시키는 구조가 필요할 것이다. 정치적인 배려로서는 채소 생산에 있어서 해외와 생산분업 체제를 포함한 평화롭고 새로운 시대에 대응한 국제적인 채소의 생산 체제를 협의해 나갈 필요도 있을 것이다. (이것에 대해서는 평가할 수 있는 움직임도 나타나고 있다.)

이러한 상황 속에서 일본의 채소 생산이 취해야 할 방향은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째, 규모의 확대 또는 설비투자, 기계화 등에 의한 생산의 효율화·생력화에 의해서 생산 코스트를 억제하여 국제 경쟁력을 갖추어 가는 방향이다. 둘째, 경영규모는 작아도 수입 또는 일반적인 생산물과 명확하게 차별화할 수 있는 고품질 채소의 생산이라고 필자는 생각한다. 양액재배는 이 두 가지 모두에 대해 공헌할 수 있는 기술의 하나이며, 게다가 생산에 대해서는 위생관리를 배려한 안전한 생산물을 소비자에게 제공한다는 유리한 점도 가지고 있다고 생각된다. 물론 환경부하를 최소한으로 억제하는 것도 가능한 기술이다. 따라서 양액재배의 건전한 발전은 일본의 채소원예에 있어서 불가결하다고 생각되는 것이다. 지금은 다양한 의미로 양액재배 기술개발의 기대가 높아지지 않을 수 없다.

본고에서는 이와 같은 관점에 입각해서 일본의 양액재배에 있어서 "환경을 배려한 재배"의 포인트 등을 생각해 보기로 한다.

2. 네덜란드의 양액재배

네덜란드에 있어서 채소, 화훼의 온실 설치 면적은 약 10,000ha로써 최근 10년 정도 거의 증감이 없다. 그러나 채소에 대해서는 남유럽이나 북아프리카로부터 저렴한 채소가 대량으로 수입되어, 경영을 압박 받은 채소재배 농가의 상당수는 육종 등의 경쟁으로 타국에 대해서 압도적 우위의 위치를 유지하고 있는 화훼재배로 전환하고 있다. 1호당 경영규모도 대략 3.5ha로 대규모화 하는 등 여러 가지 경영 합리화를 통해서 겨우 채산을 유지하고 있는 상태이다.

네덜란드는 1980년경부터 암면 재배가 도입되어 급속히 보급되었으나 그 배경에는 ①화학 약품(브롬화메틸 등)에 의한 토양소독의 규제가 강화된 것 ②토경과 비교해서 수량의 증가 및 자동화, 생력화의 효과가 큰 것 ③산지가 집중되어 기상 조건이 거의 동일하고, 연간 온도 격차가 비교적 작고 대규모 농가가 많기 때문에 컴퓨터를 이용한 온실관리 및 양액재배 도입에 의한 장점이 큰 것 등을 들 수 있다.

배액규제에 대해서는 나르드와이크를 중심으로 하는 웨스트 랜드 지방은 국토 면적의 0.3%를 차지하는 것에 지나지 않는 작은 지역이지만, 전온실 면적의 30% 이상이 여기에 집중되어 나르드와이크에서는 원예용 경지의 90%가 온실을 차지하고 있다. "유리의 나라"라고 불리는 연유이다. 이와 같은 상황 하에서 사용하고 흘려버리는 방식에 의한 암면 재배가 보급되어 금액의 약 30~50%의 배양액이 폐기되고 있었다. 좁은 지역에 대규모 재배가 집중되어 있기 때문에 환경에의 영향이 커서 네덜란드 정부는 2000년부터 토경재배를 포함해서 모든 비료의 재배포장외로 배출을 규제할 방침을 내세웠던 것이다. 이 때문에 각 시험장에서는 토경재배(유기재배)를 포함해서 배액을 배출하지 않는 재배 방법을 집중적으로 연구하고 있다. 양액재배에서는 순환식으로 하면 사용하고 흘려버리는 방식에 대해서 질소 57%, 인 73%, 칼리 68%, 칼슘 44%, 마그네슘 47%를 감소시킬 수 있고, 1 ha당 질소 824kg, 인 103kg, 칼리 781kg, 칼슘 748kg, 마그네슘 198kg의 절약이 가능하다는 데이터가 있다. 기본적인 생각은 배액을 20% 정도로 억제하고 배액을 살균처리 한 후에 금액 라인에 혼입되어 순환하는 것이 많다. 또한 살균 처리가 끝난 배액을 원액으로 10배 정도로 희석한 후 원액으로 이용하는 방법도 취하고 있다. 이와 같이 네덜란드에서는 거국적으로 환경오염을 최대한 억제하는 온실 재배를 하면서 경영 압박과도 싸우면서 생산활동을 하고 있다(그림 2).

네덜란드, 벨기에에서는 양액재배의 연구에 캐치프레이즈를 내걸어 왔다. 즉, 벨기에에서는 "환경 친화적인" "건전한 경영" "인간공학적인 기계화·생력 기술"의 3개이며,

네덜란드에서는 "지속적" "안전성" "경쟁력"의 3개이다. 또한, 인접국인 한국에서도 "친환경"이라는 말로 환경에 친화적인 농업의 실현을 도모하고 있다. 모두다 환경 보전을 목적의 필두로 내걸고 자동화·생력·안전성·고품질·저가격화를 노린 것이다.

현대는 "Manifest"의 시대라고 하는데 위와 같은 추상적인 슬로건만이 아니고 "프로젝트 X" 처럼 몇 년 몇 월까지 얼마에 이 성능을 가진 제품을 만든다고 하는 것처럼 구체적 수치 목표를 내걸고 진행하여 정기적으로 자체·외부의 평가를 추진하는 방법론이 요구되고 있다. 이번 주제인 "환경 친화적인"이라고 하는 면에서 보면, 비료나 식물잔존물 등의 Zero Emission화 및 CO₂ 배출량의 감소가 가장 중요한 과제는 아닐까?

3. 필요한 연구 개발

여기서는 환경 친화적인 양액재배 확립에 있어서 필요한 기술개발에 대해서 생각해 보고 싶다. 우선, 재배시설에 대해서는 ①온실의 구조 ②피복 자재 ③공조 방법 ④병해충 방제법 ⑤식물잔존물의 처리 ⑥육묘 방법 등의 기술개발을 생각할 수 있고, 양액재배에 대해서는 ①배지 ②폐쇄 순환형 재배 방법 ③배양액의 살균 ④재배 방법 등을 생각할 수 있다. 어쨌든 연구해야 할 과제는 많이 남아 있는 것이다. 이러한 과제에 대해 아래에서 서술한다.

1) 재배 시설에 대해서

① 온실의 구조 등의 개량

실내 환경의 개선을 위한 하우스(측고 높음)는 대형 시설을 중심으로 일반화되고 있다. 이것은 이것으로서 환경면에서는 단열성과 방열성의 향상이라는 모순된 이면성의 개선이 가장 중요한 과제일 것이다. 보온은 커튼의 이용이 가장 일반적이지만 시설을 시찰해 보면 커튼의 단열성이 충분히 살려지지 않은(틈새를 많이 볼 수 있음) 경우가 매우 많다. 또한, 여름철 고온을 막을 목적으로 차광 커튼도 설치되어 있는 경우도 많으나 이 경우 차광은 할 수 있어도 내부 열을 방출할 수 없는(차광+보온 자재를 이용하여 밀폐해 버리는 것)구조의 사용법도 많이 볼 수 있다. 여름철의 경우는 실온 상승을 억제하는 효과가 큰 것으로 알려져 있는 차광 자재의 지붕바깥쪽에 치는 것을 꼭 생각하기 바란다. 실내의 환기를 잘 함으로써 세무냉방의 효율도 올라가고, 식물에도 작업자도 쾌적한 환경이 조성될 가능성이 높다.

② 피복 자재

다층 구조를 갖고 수명이 긴 고성능인 여러 가지 필름이 개발되어 있으며 이것들의 사용도 일반화되고 있다. 10년 이상 유지된다고 하면 충분히 친환경 자재라고 말할 수 있는 것은 아닐까? 이제 농업용 비닐의 사용을 큰 폭으로 제한하는 규제 조치가 취하여져도 좋은 것은 아닐까? 물론, 장수 비닐의 사용 후 적절한 처리도 포함해서다. 이러한 강제적인 조치가 취해짐으로써 보다 친환경적인 자재 사용으로 전환이 가속될 가능성이 있다. 좋은 싫든 동경도 등이 취한 디젤차의 운행금지조례 등도 그 예가 될 것이다.

③ 공조 방법

공조로 주목 받는 것은 유럽에서는 상당히 보급되었지만 코·제너레이션은 아닐까? 연소에 의해 엔진 또는 터빈을 돌려서 발전함과 동시에 여열을 열 교환하여 난방·냉방으로 사용하고 동시에 배출되는 CO₂를 식물 재배에 이용하는 것이다. 네덜란드의 예로는 에너지 이용 효율은 90% 이상 할 수 있다고 한다. 친환경적인 궁극의 기술이라고도 말할 수 있을 것이다. 일본에서는 전기 매매에 제한이 있으므로 이 시스템의 늦봄·여름·초가을 이용에 한계가 있기 때문에 현지점에서는 그다지 흥미를 갖지 않지만 냉방 에너지로 이용하는 방법, 예를 들면, 양액의 냉각, 육묘 시설의 공조, 재배 시설의 야간 냉방 등에는 응용이 가능하며, 연구할 가치는 충분히 있는 것으로 생각할 수 있다.

고온기 CO₂의 사용에 대해서도 양액재배는 한층 더 연구할 여지가 있을 것으로 생각된다. 광합성이 활발히 이루어지는 일종의 작물 군락 중 농도는 기공이 열려 있어도 200ppm를 넘는 경우도 드물지 않으며, 이러한 상황에서 효율적으로 CO₂ 사용을 할 수 있으면 상당한 효과를 기대할 수 있다. 그러나 천창이나 측창이 열려 있기 때문에 CO₂의 사용은 소용없게 된다고 생각하고 있기 때문에 사용하지 않는 것이 보통이다. 그러나 군락내의 농도를 바깥 공기 농도와 같은 350 ppm로 설정해 주면, CO₂의 내외 분압은 동일해지기 때문에 천창·측창을 통한 이동은 일어나지 않을 것이다. 따라서 사용의 효과는 많이 기대할 수 있다. 물론, 엽면 경계층의 파괴를 위한 미풍의 필요성 등도 고려할 필요는 있으며 연구의 가치는 충분히 있다고 말할 수 있다.

④ 병해충 방제법

네덜란드는 최대의 사용량이었던 1984~1988년에 대해서 2000년에는 35%까지

감소시켰다. 이와 같이 구체적 수치가 나오면 억지라도 실행 하지 않을 수 없는 것이다. 현장에서 실시되는 3개의 체크(① 2주간 마다 천적 사용 기록 ② 2종류 이상의 천적의 사용 ③ 약제에 의한 토양 소독을 하고 있지 않는 것)에 합격한 생산자의 출하상자에는 안전성을 보증하는 나비 마크를 인쇄해 출하한다. 이 인증은 정부에 의하는 것이 아니고, 제3자 인증에 의하는 것이다.

정부의 인증을 목표로 하고 있어도 시간이 걸리는 경우가 많기 때문에(특히 일본의 경우) 출하·판매 단체(JA, 시장, 양판점 등)가 개별적으로 인증해 소비자에게 안심을 파는 독자적인 표시를 하는 것도 좋다고 생각된다. "특별재배농산물"의 가이드라인에서는 양액재배는 제외되었다. 양액재배에 종사하는 사람으로서는 실로 분을 풀길이 없는 것이다. "흙살리기를 하지 않는 농업은 이 범주에 넣지 않는다.", "무농약 표시의 이미지는 유기재배 표시보다 강하기 때문에 이 범주에 넣지 않는다." 등, 대략 식품의 안전·안심의 관점에는 걸맞지 않는 비현실적인 논의를 하여 이러한 가이드라인이 되었던 것이다. 관계자의 과학적 근거에 의한 올바른 인식을 강하게 요청하고 싶다. 사실은 사실인 것이다. 무농약이란 말은 일반적으로 사용하고 있는 말이다. 그러니까, 사견으로는 오히려 인상이 강한 것을 이용하여 "양액재배, 무농약"으로 표시하여 출하하면 좋다고 생각된다. 감정적인(신앙으로도 비슷한) 판단으로 ○이라든지 ×라든지 표시하는 것은 대단히 조심해야만 한다. 이야기는 빗나갔지만, 유기도 무기도 제휴해서 추진되어야 한다는 것이 나의 주장이며, 서로가 과학적인 접근에 의한 객관적인 데이터의 집적을 도모해야 한다고 생각된다.

⑤ 식물잔존물의 이용

과채류는 재배 도중 및 종료 시에 대량의 식물잔존물이 나온다. 이러한 잔존물은 건강하게 재배되고 있으면 적당한 비율로 비료 성분을 포함하고 있을 것이다(과실로 출하한 만큼은 제외되지만). 지금까지 잔존물은 구멍을 파서 묻거나 건조시켜 태웠으나 잔존물 등 비료 성분의 추출이 가능하면 이것을 이용하지 않는 경우는 없었을 것이다. 수분 조절이나 온도 관리가 필요하지만 발효·분해시키면 추출도 가능하게 되는 것은 아닐까? 채소다업연구소에서는 옥수수에서 전분을 취할 때에 부산물로 산출된 콘스티프리카를 이용해서 유기양액재배 시험을 수행하고 있고, 미 이용 자재의 유효 이용법으로 주목 받지만 재배하고 있는 식물체 자체의 유효 이용이야말로 궁극의 미 이용 자재로서 연구를 진행시켜야 할 것이다.

2) 양액재배에 대해서

① 배지

양액재배에 이용되는 배지는 무기계·유기계로 다양하다. 네덜란드에서는 재배지역이 밀집되어 있기 때문에 RW의 소득·재이용 등을 하기는 쉽지만 일본에서는 회사 하나를 보더라도 매우 곤란하고 비용도 들게 된다. RW에 대해서는 논을 경운할 때에 분쇄한 RW를 넣어주면 구산칼슘 비료로도 유효하게 사용할 수 있고, 이와 같이 이용하고 있는 생산자도 많지만, 사용이 끝난 RW가 온실 옆에 야적이 되어 있는 경우도 많다. 이 때문에 밭에도 환원 가능한 유기배지를 이용하는 방법 모색이 계속되고 있다. 특히 최근 재배 면적이 증가하고 있는 딸기의 고설재배 시스템에서는 이 경향이 강한 것 같다. 재료는 코코피트, 왕겨, 삼나무껍질섬유, 비트모스, 수피 등이 이용되지만, 필자는 탄화 소재의 이용도 더 생각해야 하는 것이 아닐까 생각한다. 숲은 광합성에 의해서 생산된 바이오매스를 탄소로서 반영구적으로 고정하는 것이다. 지금은 어떤 유기물이라도 탄화한 기술이 개발되고 있고 전술한 식물잔존물, 땅콩껍질, 사탕수수 찌꺼기 등도 소재로 이용을 할 수 있다. 게다가, 탄화물은 무균이며, 활성탄으로서 화학성도 기대할 수 있다. 그러나 이온의 흡착 특성이나 용출특성은 원재료에 따라 꽤 다르므로 사용에 대해서는 사전 연구가 필요하다.

② 폐쇄형 재배 기술로의 접근

일본은 원래 역경재배나 담액식 수경재배 등 순환식 양액재배에서 출발하였고 배양액을 보통으로 순환하는 방법에 위화감은 없었다. 그러나 순환할 때에 배양액의 농도가 변화하기 때문에 EC값에 따라 농도를 원래대로 되돌리는 관리 방법이 취해졌다. 역경재배시에는 이것만으로도 관리는 충분했지만, 수경이 되면 재배시 조성의 불균형 영향이 크고, 지금까지 사용하고 있던 원시처방 배양액에서는 부적당이 많아, 작물별로 다른 처방을 만들 필요가 생겼다. 야마자키는 식물의 비료성분흡수 특성을 독자적인 방법에 따라 측정하고 (n/w, NW법), 배양액이 감소하더라도 그 농도나 조성 변화를 줄이는 처방을 제창하였다. 이것이 이른바 야마자키 처방으로 불리는 것이고 환경에 친화적인 배양액 처방의 개발이었다고 말할 수 있다. 그런데도 재배시에 배양액의 조성·농도는 불균형이 되어 버리는 것이 많기 때문에 생육에 이상이 보인 시점에서 배양액의 교환(즉 폐기)이 이루어지고 것이 현실이다.

그 후 RW의 흘려보내기 재배 등이 보급되면서 토마토를 중심으로 양액재배의 면적은 급격하게 증가했지만 네덜란드 등의 사정, 비료의 역외 배출에 대한 비판 등

으로부터 일본에서도 폐쇄형 재배 기술의 개발로 이행이 진행되고 있다. 흘러버림식 방법은 항상 새로운 무균배양액을 공급할 수 있고, 급액량의 20~30%를 배액으로 함으로써 배지내의 화학적인 환경을 안정시킬 수 있다. 비용도 싸고, 만들기 쉬운 큰 장점을 가지고 있다. 그러나 네덜란드에서는 폐쇄형재배로의 이행에 따라 배액의 회수가 용이하고 그 밖에도 장점을 있는 높은 통로(하경사 배트) 시스템이 급속히 보급되었다. 폐수는 살균되어 재이용되어도(그대로 급액라인에 혼입하더라도 비료 조성의 영향은 거의 10% 이내로 끝난다. 게다가 배액을 10배 정도로 희석해서 원수에 혼합하면 그 영향은 거의 무시할 수 있다). 이 기술은 일본에서도 흘러버림식 방법에는 응용이 용이하지만 배양액을 보통으로 순환하는 담액이나 NFT 방식에서는 다른 방법이 필요하다. 따라서 배양액의 조성·농도를 안정시키는 방법과 살균 방법의 개발이 바람직한 것이다. 치바 대학, 교토부립 대학, 채소다업연구소 등에서 연구하고 있는 비료의 양적 관리법은 하나의 새로운 아이디어를 제공하고 있는 것으로 평가된다.

③ 양액의 살균

서술하는 것처럼 순환식의 양액재배에서는 병해의 만연이 걱정되기 때문에 배양액의 소독이 필수로 되어 있다. 살균법에 대해서는 가열, 자외선(UV), 오존, 산화제, 모래 필터 등을 이용하는 방법이 있고 네덜란드에서는 자외선이나 완속여과를 이용하는 방법이 많이 이용되고 있다. NFT나 담액수경에서는 UV와 오존이 유효하다고 되어 있지만 확실성은 부족하기 때문에 배양액에 첨가할 수 있는 형태의 것이 바람직하고 은이온이나 요소의 이용 등도 기대되고 있다.

④ 엽채류의 초산 함량의 저감

엽채류의 종류에 따라서 다소 다르지만 동계(10~4월)에 대략 3,500ppm, 하계에 2,500ppm 이하로 해야 한다. 양액재배에서는 이미 초산 저감화의 기술은 개발되었고 재배 시스템도 상품화되었지만, 최근 치바 대학에서 연구하고 있는 저농도 배양액에 의한 재배도 희망을 가질 수 있다. 즉, 뿌리의 표면에 형성되는 비료 성분의 경계층을 파괴해 주면(즉 배양액과 뿌리와의 접촉 기회를 현격히 늘린다) 종래 생각하였던 농도보다 아주 낮은 농도에서도 식물은 순조롭게 비료의 흡수를 할 수 있다고 하는 것이다. 치바현에서 수질오염이 진행되고 있는 데가누마의 물의 질소 농도는 3ppm 정도이며, 배양액 농도로는 1/100에 가까운 극히 얇은 농도이지만 NFT나 유동담액 수경을 실시하면 어떤 양분 결핍을 일으키지 않고 식물은 생육을 할 수 있다(물론 질소

이외의 요소도 저농도이면서 균형이 취해지고 있기 때문이기도 하다). 실험에서는 앤사이(공심채)를 공시하여 호수의 수질을 정화하면서 휴경 논에서 채소를 생산하는 방법을 연구하고 있다. 이 재배 방법이 확립되면 엽채류의 초산 함량은 상식보다 아주 낮게 할 수 있고 환경을 정화하는 것조차 가능해진다.

4. 향후 전망

처음부터 말한 것처럼 지금은 환경에 친화적인 양액재배를 하지 않을 수 없는 상황으로 우리들의 눈앞에 존재하고 있다. 똑같이 환경에 친화적인 토경(유기) 재배도 과학적인 접근으로 실현하지 않으면 안 된다.

지금까지 양액재배를 중심으로 한 다양한 연구과제에 대해 언급하였지만 필요한 과제는 우리 주변에 대단히 많이 존재하고 있다고 해도 과언은 아니다. 이를 위해서도 하나하나의 구체적인 목표를 설정하여 양액재배가 건전한 발전이 이루어지도록 산관학이 서로 협력하여 연구개발을 하지 않으면 안 된다고 생각한다.

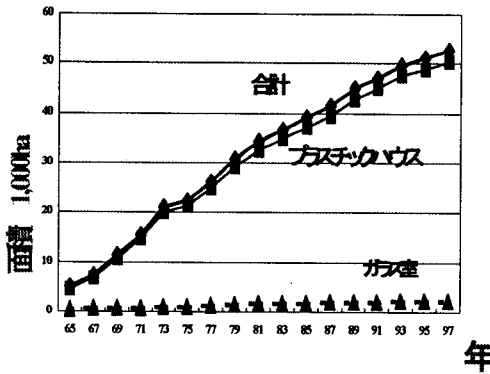


圖1-1. 日本の温室設置面積の年次変化

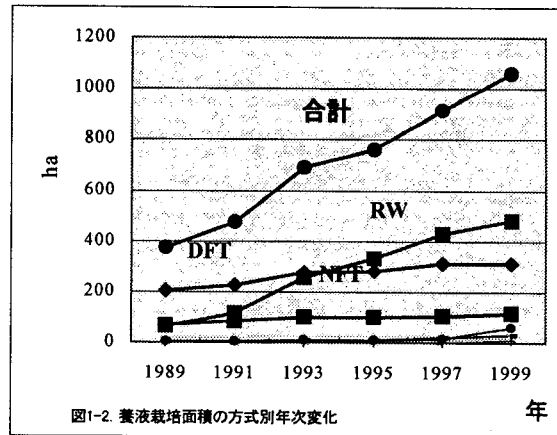


圖1-2. 養液栽培面積の方式別年次変化

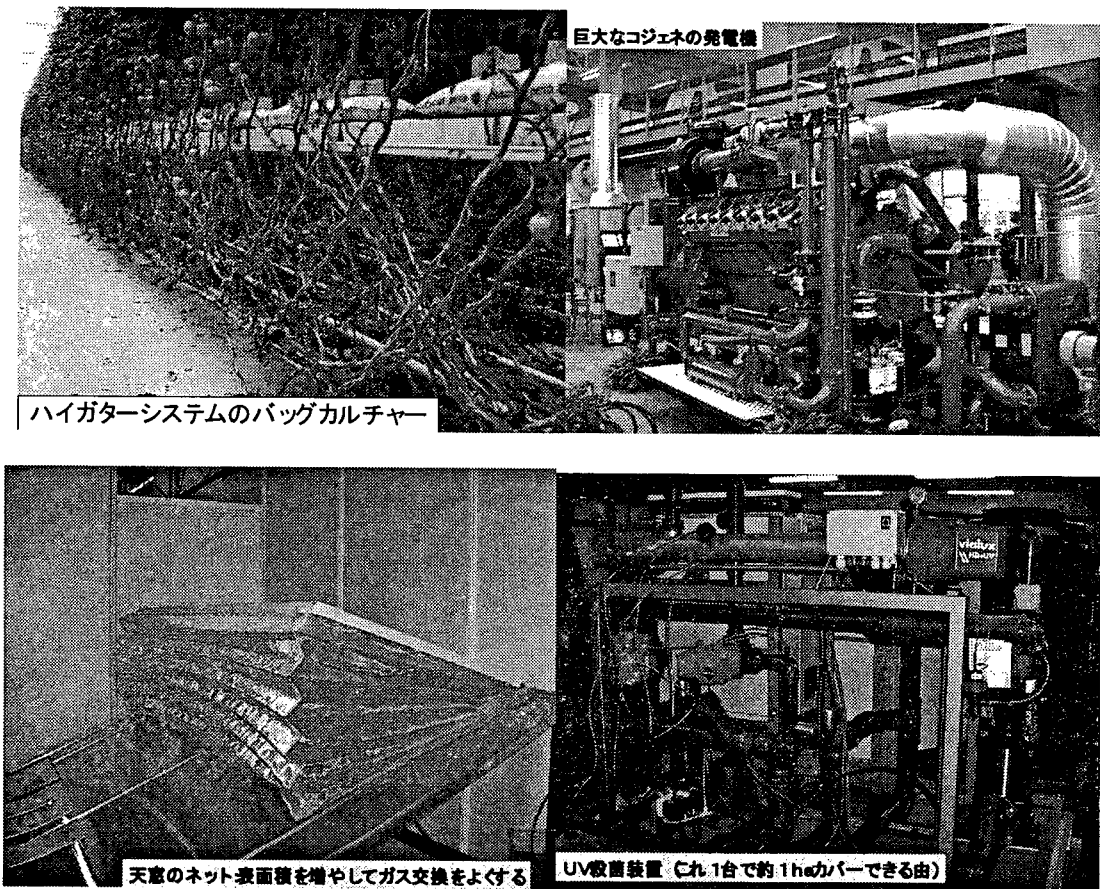


그림3. 네덜란드에 있어서 다양한 시도

■ 참고 문헌

1. 日本施設園芸協會編(2002). 養液栽培の新マニュアル. 誠文堂新光社
2. 養液栽培研究會編(1997). 養液栽培マニュアル2 1. 誠文堂新光社