

## 養液栽培における根の研究の意味

野菜・茶業試験場 施設生産部  
栽培システム研究室 坂本有加  
E-mail yuka88@nivot-pc.affrc.go.jp

### 1. 養液栽培の現状

養液栽培(Hydroponics)とは、別名を無土壌栽培(Soilless culture)ともいい、植物生育に必須な無機栄養素を培養液のかたちで、固形培地、液または気中にある根に与えて栽培する方式をいいます。土壌病害の回避、作業の省力化、生産物の清浄さ、栽培の大規模化等の面からの利点が注目され、設置面積は増加していますが、全施設面積に対する占有割合はわずか1.5% (1995年統計)にとどまっています。普及が遅い原因は、初期投資の大きさなど経営上の要因にあります。その他培養液管理の難しさなどが挙げられます。

現在、国内で市販されている養液栽培方式は50種類を超え、湛液水耕、NFT(Nutrient Film Technique)、固形培地耕、毛管水耕などに分類されます。湛液水耕は、ベッド内に一定水位で培養液を保持し、タンクとベッド間またはベッド間相互で培養液を循環させる方式です。NFTは少量の培養液を勾配のついた栽培ベッドに浅い水深(5mmくらい)で流し、空气中に露出した根から直接酸素を吸収させます。固形培地耕はロックウール、れき、ヤシガラ、もみがらくん炭などの固形培地に培養液を含浸・保持させて栽培する方式です。毛管水耕(保水シート耕)は、繊維資材の毛管吸引力を利用して根に培養液を供給し、根を空气中にさらすことで酸素供給のための装置を省く方式です。したがって、それぞれの方式で、培地や酸素の供給方法などの根圏環境条件が異なり、その結果として、作物の生育状態に差がみられます。これは異なった根圏環境下で形成される根系の形態および機能の差異に起因すると考えられます。

そこで、養液栽培における根圏環境と作物の根系形態及び機能の相互関係を調べることにより、それぞれの養液栽培方式の特性を明らかにすることができ、その結果から、作物別の最適な養液栽培方式を提示できると考え、研究を進めています。

### 2. 養液栽培の根に関する知見

実用レベルの養液栽培系において根の形態や活性まで調べた報告はほとんどありません。比較試験の多くは地上部の生育が指標となっています。

#### (1) 土耕の根と養液栽培の根

景山ら(1998)は土耕と湛液水耕でトマトの根の形態を比較し、湛液水耕では根数は少ないが1本当たりの根の機能は高いと考察しています。また、固形培地耕では根圏をある程度小さく制限しても培養液管理によって必要な養水分の吸収が可能であり(田中、1996)、根の生長に使われるエネルギーを最小限に抑えることで、根系のひとつの理想型を求めることができると考えられます。

#### (2) 湿気中根と水中根

湿気中の根は根毛が良く発達し(山崎、1981)、また、水中の根に比べて酸素吸収速度が2~3倍高いと報告されています(位田、1953)。根の好適温度範囲幅も水中あるいは土中では±2~5℃と狭いのに対し、湿気中では±10~15℃と大きくなることや、根圏有用微生物による病原菌の抑制が行われるなどの利点があるといえます(山崎、1982)。しかし、具体的なデータは少なく、湿気中根が発達しやすい毛管水耕(保水シート耕)と呼ばれるシステムの開発が先行しているのが現状です。

#### (3) 培養液に対する酸素供給及び液の流動

湛液水耕では、培養液への酸素の供給が作物の生育を大きく左右し、また液の流動速度が根の酸素や養分吸収速度に影響を与えます。十分な流速があれば、根表面への酸素やイオンの拡散が十分に行われると考えられています。生育不良や収量低下が起こる溶存酸素レベルはトマトで2~3 ppm (郭ら, 1997)、キュウリでは1 ppm 以下 (Gislerod, 1983) とされています。また、根表面近傍の溶存酸素濃度は培養液中よりかなり低い可能性があります、液の流動速度に関する検討はほとんどされていません。

### 3. 湛液水耕 (水中根) と保水シート耕 (湿気中根) との比較

毛管水耕 (保水シート耕) は、山崎氏の提唱した浮き根式水耕がもとになっており、最近保水性に優れた新資材が養液栽培に取り入れられ、開発が盛んになっています。命名の由来となった毛管吸引力が培養液の主な供給方法ではない場合が多いため、著者らは保水性のシートを培地として利用した固形培地耕の一種とみなして保水シート耕と呼んでいます。保水シート耕では、根は湿ったシート上に伸長し、水ストレスの付与を安定的かつ容易に行うことができます。不織布と防根透水シートを組み合わせるにより、資材の再利用も可能となります。

#### (1) キクの生長及び切り花品質

保水シート耕、湛液水耕および土耕でキクを栽培し、生育や切り花品質を比較しました (図1)。その結果、保水シート耕で培養液をかけ流したキクが、生育及び品質において最も優れ、土耕のものに匹敵しました。湛液水耕で培養液を循環させた区では、生育中期に伸長抑制や下葉の黄化が見られ、収穫時の植物体重も小さく、軟弱な茎となり日持ち性が劣りました (表1)。湛液水耕で培養液を間欠的に循環させた区では外観上の生育異常は見られませんでした、同様に日もちが劣りました (表2)。湛液水耕で生育や日もちが劣った原因としては、培養液中の溶存酸素濃度の低下ではなく、液温上昇が考えられました (図2)。一方、保水シート耕でも根圏温度は30℃を超え、生育に不適な温度となりましたが、目立った悪影響は見られませんでした。

この実験から、保水シート耕で形成される湿気中根は、湛液水耕での水中根に比べて根圏の温度上昇に耐性があることが示唆されました。また、養水分を潤沢に与える湛液水耕方式よりも、いわゆる“水切り”の可能な保水シート耕方式の方が日もちのよいキクを生産するのに適していると考えられました。

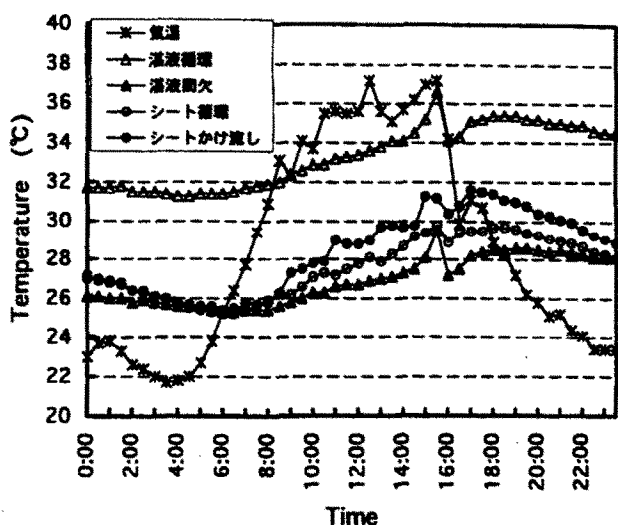
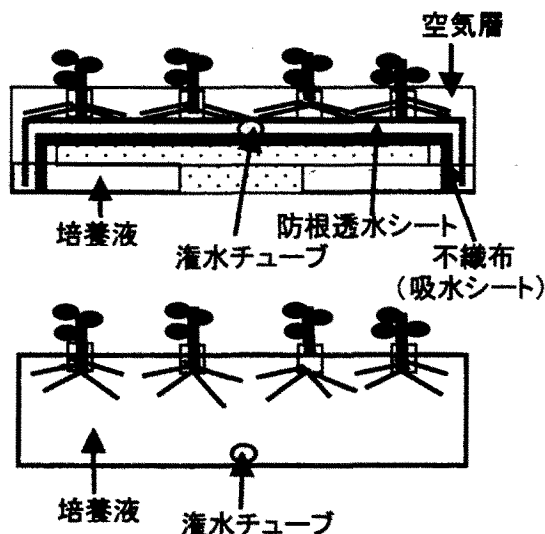


図1 保水シート耕(上)及び湛液水耕(下)の模式図 図2 気温および各養液栽培方式の液温の日変化

表1 土耕および各養液栽培方式で栽培したキクの切り花品質

栽培方式	草丈 (cm)	葉数 (枚)	花首茎径 (mm)	切花重 (g)	90cm以上 切り花重 (g)	根乾 物重 (g)	茎の下垂 角度 (°)
土耕	126 x	58	61	86	67	4.3	4
湛液間欠	121	62	67	111	91	3.8	5
湛液循環	77	50	58	64	---	4.0	10
シートかけ流し	126	62	66	102	79	4.5	5
シート循環	109	56	67	90	80	4.0	4
LSD 0.05	5	3	4	14	12	N.S.	2

x データは10本の平均値  
LSD 0.05 危険率5%での最小有意差。

表2 土耕および各養液栽培方式で栽培したキクの日もち

栽培方式	葉のし おれ	葉の枯れ 上がり	花のし おれ	日もち (日)	満開時花径 (cm)
土耕	3.9	2.4	2.1	23.8	11.1
湛液間欠	4.5	2.6	2.2	23.9	12.4
湛液循環	4.6	2.7	2.8	23.4	10.3
シートかけ流し	3.3	2.4	2.1	23.5	11.9
シート循環	3.6	2.3	2.1	23.7	11.9
LSD 0.05	0.5	0.3	0.3	N.S.	0.7

葉のしおれ、花のしおれ程度：1；しおれなし、3；全体の1/2しおれ、5；全体しおれ  
葉の枯れ上がり：茎長を5等分したうちの枯れ上がった部位の割合

(2) トマトの生育と根の呼吸速度

培養液を常時循環し、液温を25℃に保った場合、トマトの生育は保水シート耕が湛液水耕より優れていました。そこで、これらの方式で栽培したトマトの根系について、O<sub>2</sub>アップテスターを用いて呼吸特性を比較検討しました。O<sub>2</sub>アップテスターは、密閉された反応容器(500ml)中の根が消費する酸素の量を、容器内のガス圧の変化量から測定する装置です(図3)。湛液、保水シート両方式の根の呼吸速度を液相および気相条件下で測定したところ、液相より気相でやや高い傾向があるものの、位田(1953)が報告しているような2~3倍もの差は認められませんでした。単位乾物当たり根の呼吸速度は両方式でほぼ等しく、根系全体では根量の多い保水シート耕で大きくなりました。また、根の高温耐性を切断後の加温処理による呼吸速度の変化で比較したところ、液相および気相条件ともに40℃以上の高温処理では呼吸速度が著しく低下しましたが、液相よりも気相条件下で呼吸速度が高く維持されました。また、いずれの温度処理でも、湛液水耕より保水シート耕の根の呼吸速度が高くなりました。

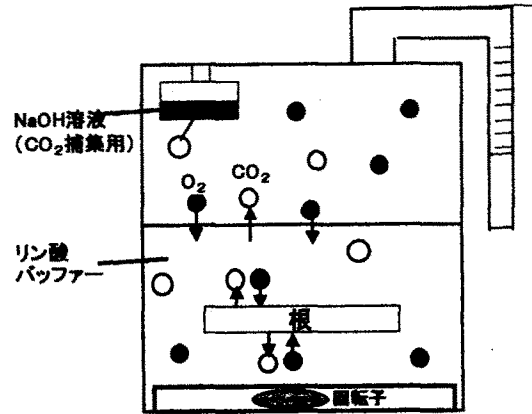


図3 O<sub>2</sub> up tester の測定原理

この結果から、キクと同様にトマトでも、保水シート耕で形成された湿気中根が湛液水耕での水中根よりも高温耐性があることが確認できました。また、従来、根の呼吸速度は水中よりも湿気中で大きいといわれていたのですが、本実験では両者に差は見られませんでした。位田(1953)の報告では、水中及び湿気中に静置した根について呼吸速度を求めているので、液の攪拌の有無が異なった結果をもたらしたと考えられました。

(3) トマトの根の形態

保水シート耕と湛液水耕で形成されるトマト根系の形態を幼植物で調査しました。採取根は FAA で固定後、CBB 染色を行い、イメージスキャナで画像を取り込みました。画像解析ソフト NIHImage を用いて根投影面積と根長を計測し、表面積を求めたところ、両方式で生育したトマトの根系形態は明らかに異なっていました。保水シート耕の根は太くて高次根を分岐する 1 次側根を少数もち、総根長は短いが新鮮重は大きくなりました。一方、湛液水耕の根は分岐の少ない 1 次側根を多数発達させ、総根長は長く新鮮重は小さくなりました。根系の表面積は両方式でほぼ等しく、養水分吸収面積の点から地上部の生育差を説明することはできませんでした。

#### 4. 培養液の流動速度と根の養水分吸収

培養液の流動速度が根表面への酸素や無機イオンの拡散速度を変化させ、養水分の吸収に影響を与えることは、葉の光合成速度と風速の関係からも推察されます。実験では、模擬的に容器内でスターの回転速度を変えることにより液の攪拌速度を変えて、12 時間日長、25℃恒温条件下でトマト幼植物の養水分の吸収速度を測定しました。その結果、硝酸、カリウム、リン、カルシウムなどの無機イオン及び水の吸収速度が攪拌により促進されました。

現在、実際の栽培ベッドで培養液の流動速度を変えて、生育に差が生ずるかどうかなの実験をおこなっています。

#### 5. おわりに

理想的根系とは、①地上部を固定し、②最小限の代謝物質の消費によって養水分を吸収し、③地上部へ生長調節物質を供給して、最高の光合成速度を実現するとともに、④遺伝的要素を最大限に発揮して、最高生産能力をもたらす根系であるといえます(田中、1996)。土壌中では、限られた水と無機養分を獲得するための根系拡大に多くのエネルギーが費やされます。その結果、土壌条件に応じた多種多様な根系が形成されます。しかし、養水分が十分に供給される養液栽培では、根域拡大の必要性やストレス耐性増大の意義は少なく、形成される根系はある種の理想型に近づく予想されます。こうした根系像は、土耕栽培作物で求められている根系の理想型のモデルとして、有力な手がかりを与えるのではないかと思います。

#### 引用文献

Gislerod, H. R. and R. J. Kempton. 1983. The oxygen content of flowing nutrient solutions used for cucumber and tomato culture. *Sci. Hort.* 20 : 23-33.

郭世榮・橋昌司、1997. トマトおよびキュウリ幼植物の生長と無機栄養に及ぼす培養液の溶存酸素濃度の影響. *園学雑* 66 : 331-337.

位田藤久太郎、1953. そ菜の根の生理に関する研究(第1報)そ菜の根の酸素要求に就いて. *園学雑* 21 : 202-207.

景山詳弘・益田忠雄、1979. 水耕トマトの生育段階および栽植方式による栽培ベッド内の溶存酸素濃度と培養液の流れの変化. *生物環境調節* 17 : 11-16.

坂本有加・中島武彦・岡野邦夫、1998. 異なる養液栽培システムにおけるキクの生長及び切り花品質. *生物環境調節* 36 : 77-84.

田中和夫、1996. 培地容量がトマトの生育・収量に及ぼす影響. 平成7年度野菜・茶業試験場久留米支場研究年報 : 99-101.

田中典幸、1996. 作物における理想的根系. 植物根系の理想型. 博友社、東京 35-56.

山崎肯哉、1981. 養液栽培(水耕)における培養液管理. *農業及び園芸* 56 : 563-568.

山崎肯哉、1982. 養液栽培全編. 博友社、東京 233-234.

The significance of research on the root system in hydroponics  
Yuka SAKAMOTO