

排水を再利用する場合の
**傾斜地用養液栽培装置
給液管理マニュアル**



独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構

近畿中国四国農業研究センター

「傾斜地特性野菜」マニュアルシリーズNo.11
傾斜地用養液栽培装置給液管理マニュアル

目次

I. 排液の発生を抑制する給液管理法.....	1
1. 給液管理の原理	
2. 培地に必要な保水力	
3. 自動制御装置	
4. 給液管理の手順	
II. 排液を再利用する場合の培養液濃度および組成の管理方法.....	6
1. 培養液濃度管理の原理	
2. 培養液濃度管理の手順	
III. 付録.....	7
1. 高設培養液タンクへの培養液充填について	
2. 施設内で一斉に定植できない場合の対処法	
3. 後かたづけのコツ	
4. 培養液・排液の殺菌について	
おわりに.....	8
補足資料：理論解析について.....	9
1. 作物が必要とする養分量を吸収させるには	
2. 排液を再利用する場合の培養液濃度	
3. 従来法に対する批判	

養液栽培の排水を再利用する場合の培養液管理法

動力ポンプを用いずに排水を培養液に混入して再利用する傾斜地用の養液栽培装置では、作物に供給される培養液に対する排水の割合（排水率）を2割以下に抑制すれば原理的には排水を完全に再利用できる。すなわち、系外（施設の外）に排水を排出しない一種の閉鎖式養液栽培装置となる。一般に排水率を低く保つにはコントローラを使用した日射比例制御など精密な制御、あるいは生育状態や天候に応じたこまめな給液量の調節を行うなど経験が必要とされているが、ここでは簡単な制御装置を用いて排水の発生を抑制する給液管理の手順を紹介する。また、閉鎖式養液栽培では培養液組成に大きな狂いが生じないように培養液の分析やそれに基づいた成分の調整が必要と考えられているが、排水のEC（電気伝導度）測定のみで培養液濃度を管理する方法を示す。使用する養液栽培装置は高設培養液タンクを用いる方式（図1）を推奨する。なお、ここで対象とする作物はトマトである。

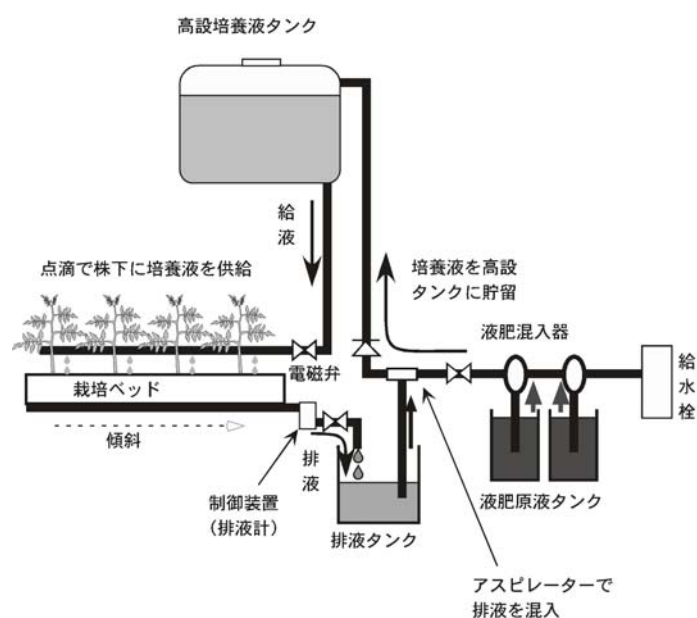


図1 高設培養液タンクを用いた養液栽培装置の基本構成

1. 排水の発生を抑制する給液管理方法

1. 給液管理の原理

傾斜地用養液栽培装置は、固形培地に植えた作物の株下に、タイマで設定した時刻に培養液を供給（給液）する方式である（固形培地耕）。作物は給液時刻にだけ培養液を吸収（以下「吸水」）しているのではなく、通常は培地に保持されている培養液を吸収している。養液栽培では、吸水による培地中培養液の減少分を、決まった時刻に点滴給液により補われていると考えることができる。つまり排水とは、作物が吸水した以上に過剰に供給されて、培地が保持しきれなくなった培養液と見なせる。このことから、排水の発生があれば、培地が培養液で飽和していると判断できる。一旦培地が培養液で飽和したのち次回以降の給液を休む（給液をスキップする）制御を行えば、新たに培養液を保持する余地が培地にできる。このような制御により、培地に培養液を保持する余地をできるだけ持たせるようにすることで、排水の発生を抑制することは可能である。

また、最低1日か2日に1回は排水が発生するように1日の給液回数を設定すれば、培地が培養液で飽和するため培養液不足となる危険を避けることができる。

2. 培地に必要な保水力

極端な場合、1日に1回しか給液を行わないならば、培地には最低でも作物の1日分の培養液を保持することのできる保水力が必要であることは明白であるが、作物の吸水パターンに合わせて吸水量の多い時間帯は頻繁に、少ない時間帯には少ない頻度で給液をおこなうように給液時刻を設定すれば、必要な保水力はこれより小さくてもよい。設定した時刻と、実際の吸水量の日変動とのずれを考慮して、培地には1日分の吸水量の半分程度の保水力が必要である。また、給液をスキップする制御を行う場合、培地にはさらに大きな保水力が必要で、スキップしても培養液不足とならないように、やはり1日分の吸水量の半分程度の保水力が必要となる。結局、両者を併せて、作物の1日分の吸水量に相当する保水力が培地には必要である。トマトの場合、1日の吸水量は最大2L程度であるから、培地にはおよそ2L程度の保水力が必要である。

3. 自動制御装置

バケツ、サブタイマ、液面センサ、電磁弁を用いて自動制御装置は容易に自作できる。給液自動制御装置の構成と動作の概略を図2、配線を図3に示す。装置は排水計を兼ねているので以降、この装置を排水計とも呼ぶ。

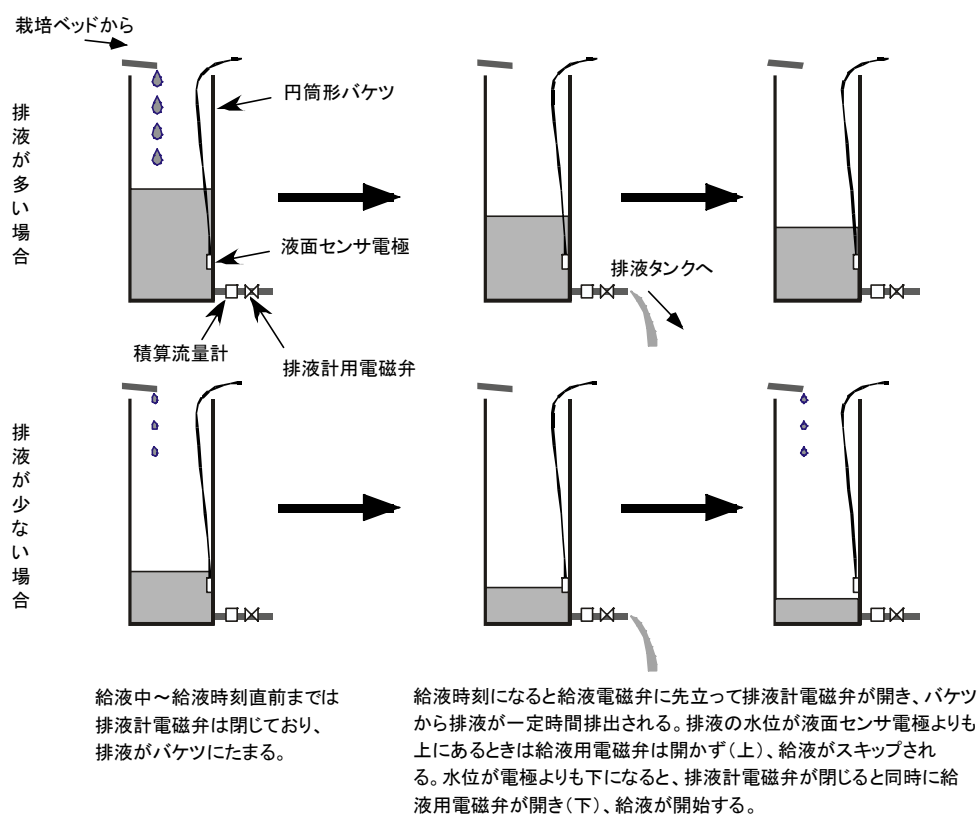


図2 制御装置（排水計）の概略と動作

なお、養液栽培装置の規模が大きくなる場合には、小型の排水計を栽培ベッドの一部に取り付けて全体を制御することも可能である。規模に応じてバケツの容量を大きくしても良いが、給液後、

排液が発生するまでの時間差（タイムラグ）が大きくなり、制御が不正確になる危険がある。ここで紹介するのは40株で制御を行う装置である。

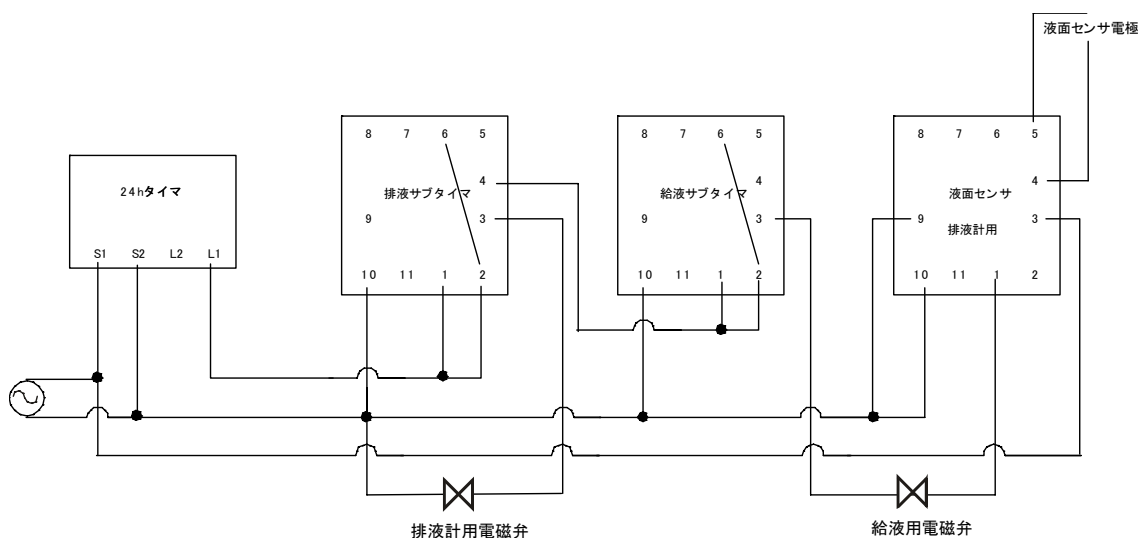


図3 制御装置の配線

給液時刻設定用の24時間タイマは松下電工製タイムスイッチTB36109を用いる。給液用のサブタイマと排液計用のサブタイマはオムロン製H3CR-Aを使用し、あらかじめ「C mode」に設定して[2]と[6]を短絡しておく。液面センサはオムロン製フロートなしスイッチ61F-GP-Nを使用、液面センサ用電極は2極形電極PH-2を用いる。排液計用の電磁弁（CDK社製ADK11-20A）は通常は閉じており、栽培ベッドから出てきた排液は一旦バケツ（大和プラスチック製花桶F-5、容量13.0L）に溜まるようになっている（図2左）。バケツの底面近くには液面センサ電極が取り付けられている。給液時刻になると、24時間タイマの[S1][L1]が通電して排液計用のサブタイマの電源が入り、同時に[1][3]が接続して通電する。すると給液開始に先立って排液計の電磁弁が開き、バケツに溜まっている排液の排出が始まる（図2中）。サブタイマで設定した一定時間経過後、排液計用サブタイマ[1][3]の接続が切れ、排液計の電磁弁が閉じて排出は停止する（図2右）。それと同時に排液計用サブタイマ[1][4]が接続、給液用サブタイマに通電して、給液用サブタイマ[1][3]が接続する。排液の水位が液面センサ電極より上にあるときは液面センサ[1][10]が接続せず、給液用電磁弁は開くことなく給液がスキップされる（図2右上）。これに対して排液の水位が液面センサ電極よりも下にあるときは液面センサ[1][10]が接続しており、給液用サブタイマで設定した時間、給液用電磁弁が開く（図2右下）。なお、24時間タイマ[S1][S2]、サブタイマ[2][10]、液面センサ[9][3]は電源入力である。

液面センサ電極の高さは、バケツの排出口から電極までの容積を1回あたりの給液量の1/6となるように調節する（トマト40株の規模で1回、1株あたりの給液量が0.15Lの場合には1Lになる）。バケツに1回あたり給液量の2/6の水を入れたとき1回の電磁弁の開閉でちょうど電極の高さまで排出されるように、排液計用サブタイマの時間を設定する（電磁弁や、バケツの規格に依存する。この装置の場合は10秒、電磁弁にCDK社製APK11-20Aを用いると5秒）。

以上のように設定した装置で制御を行うと排液が多いほどスキップ回数が多くなる。作物の生育や培地の保水力にバラツキがあるため排液が発生したからといって必ずしも培地全体が飽和

しているとは限らないが、1回の給液について供給した培養液と同じ量の排液が発生すれば疑いなく培地は飽和しており、逆に全く排液が発生していなければ培地は間違いなく飽和していない。このように培地が培養液で飽和しているか否かの判断は確率的なものと考えることができる。つまり、本装置を用いることで、培地が飽和している確率が高いほど給液のスキップ回数が増えるという制御を行うことができる。一見複雑に見える給液制御をコンピュータや排液量の正確な計測なしに行えることが本装置を用いる利点である。使用するバケツが円筒形であれば、理論上最大で4回のスキップである。また、1回あたりの給液量を増やした場合、最初の設定給液量の1.5倍までは最大スキップ回数は4回のみである。

4. 給液管理の手順

生育に伴ってトマトの吸水量が増加していくときの給液管理手順の流れを図4に示す。

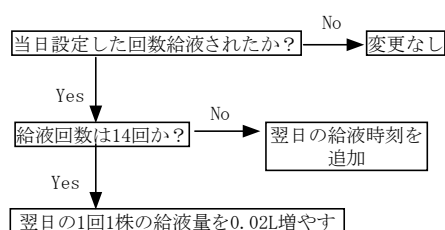


図4 給液管理手順の概略

固形培地を利用した養液栽培で培地の保水力を生かすには、培地全体に作物の根が充分に広がっている必要がある。どのように管理すればよいか諸説あるようだが、ここでは2〜3葉のトマトのセル成型苗を固形培地に直接定植する方法を示す。養液栽培装置には新しく調製する培養液の量と作物に供給する培養液の量が測定できるように積算流量計を2つ取り付けておく。

(1) 栽培期間中の最終的な1日給液回数は余裕を見込んで最大13回から14回とする。トマトの場合、夏季の1日の最大吸水量が株当たり2L程度であることから1回の給液量の目安は1株あたり0.15Lである(最大で1日につき合計2.0Lから2.1L)。吐出量 3 L hr^{-1} のドリッパーを2株に1つ用いた場合には給液時間は6分間になる。

(2) あらかじめ固形培地に水を充分に与えて湿らせておく。固形培地に穴をあけ、本葉が2〜3枚程度展開したトマトのセル成型苗を穴にさし込んで定植する。0.5倍濃度の大塚SC処方の培養液を1株につき0.5L与える。

(3) 培地にはあらかじめ充分に水分を含ませてから定植するので、給液しなくてもしばらくは培養液不足にはならない。定植の1週間〜10日後から、1日の給液回数を1回に設定して給液を開始する。これにより、最低でも5日に1回は給液が行われる。この制御装置を用いた場合、給液回数が多いほど排液が増えるため、少ない給液回数から徐々に回数を増やすという手順にする。

(4) 毎日時刻を決めて、その日の給液量を確認し、実際に給液されたか否かを調べる。5日以上連続でスキップされることなく給液がなされたら、1日の給液回数を2回にする。翌日以降、毎日給液回数を計算して3日間連続でスキップされることなく給液がなされたら、給液回数を3回にする。同様に2日間連続でスキップされることなく給液がなされたら、給液回数を4回にする。

(5) 給液回数が1日4回に達した後、1日に1回も給液がスキップされていない場合に、翌日

の給液回数を1回増やす。これまでの段階で、給液管に漏れなどがないか確認、必要ならば補修すると同時に、1回あたりの給液量を実測、算出しておく。設計した量とずれがあった場合には給液用サブタイマの給液時間を微調整する。サブタイマ、ドリッパー、積算流量計の誤差を合わせて、実測流量と設計流量には10%程度の差はある。

(6) 最終的に給液回数は1日13回に達すると想定される。太陽の南中時刻を中心に、朝夕は少なく、昼前後は多くの回数給液することが給液時刻設定の基本である(表1)。

(7) 給液13回の設定で1日に一度もスキップがなされなかったら、さらに給液回数を増やして14回にするか、1回の給液量を1株あたり0.02Lずつ増やす。1回あたりの給液量を増やす場合には、給液スキップ回数の上限を4回としたとき、最初の想定1.5倍すなわち1株あたり1回0.23Lまで増やすことが可能である。

(8) 晴天、高温など吸水量が多い条件にもかかわらず1日に2回以上スキップされる日が続くのであれば、給液回数を減らす。夏から秋にかけて、あるいは秋から冬にかけて1日の吸水量の減少が明らかな季節にこの操作を行う。

表1 夏秋期トマトの場合の給液時刻の設定順序

時刻	追加順	削減順	時刻	追加順	削減順
3:00	11	1	12:30	8	5
6:00	9	3	13:00	13	7
7:30	1	8	13:30	5	
9:00	6		14:00	14	2
10:30	4		15:00	7	
11:30	12	6	16:30	3	9
12:00	2		18:00	10	4

上記の手順(5)以降は、最低1日1回は給液がスキップされるように給液回数が設定される。この管理手順により、少なくとも2日に1回は培地が飽和して培養液不足となる危険を避けることができる。培地が一旦飽和すると最大で連続4回まで給液が自動でスキップされ、培地に培養液を保持する余地が生まれる。

この給液管理方法に必要な作業は、1日の給液回数の確認と、最小限の給液回数の設定変更のみである。自動制御のための日射や温度など環境計測、あるいは作物の生長予測を必要とせず、また、作物の状態を見ながら天候に応じて給液量調整を行うといった手動の給液管理のような経験も必要としない。一方、給液管理方法の設計段階で栽培期間中の最大の吸水量を仮定する必要がある。ただし、培地の保水力に余裕があれば、実際の吸水量が仮定した吸水量の1.5倍であった場合まで対応可能である。もし、培地の保水力の不足により、培養液不足となりそうな場合には制御装置の排液計用サブタイマの設定時間を長くして給液スキップ回数の上限を減らせばよい。なお、1回あたりの給液量が最初の設定通りであれば、制御用の株のうち1/3が欠株となった場合でも、理論上制御装置の設定変更の必要はない。

11. 排水を再利用する場合の培養液濃度および組成の管理方法

1. 培養液濃度管理の原理

養液栽培（固形培地耕）では、排水中の養分のうち、作物に吸収されやすいものは相対的に濃度が低く、吸収されにくいものは濃度が高い。培養液への排水の混入を繰り返すと、培養液中の養分のうち吸収されにくいものの濃度は徐々に高くなる。濃度の高い成分は多く、濃度の低い成分は少なく作物に吸収されるため、排水の再利用を繰り返すと培養液の濃度は、やがて一定の組成に収束する。

排水を完全に再利用する場合には、系外に養分も水分も排出されないのであるから、作物が吸収する養分を培養液として新たに調製して補う。トマトの場合、吸収する養分と水分の量から概算した結果、新たに調製する培養液の組成は0.3～0.6倍濃度の大塚SC処方になる。

また、もし作物が利用する以上に養分が供給されると、吸収しきれない養分の濃度は徐々に高くなっていくことになり、高塩濃度障害が発生する危険がある。一方、供給する養分が必要な養分量に足りない場合には、逆に作物に供給される培養液の濃度はどんどん低下し、収量の低下を招くことになる。このため閉鎖式の養液栽培では培養液濃度の精密な制御が必要と一般に考えられているようであるが、ネットロンなど無動力液肥混入器は精密制御には不向きである。ここでは液肥原液の混入率を精密に制御する代わりに混入率を大塚SC処方の0.5倍濃度となるように固定しておき、排水のECを確認して、一定値以上であれば液肥原液の混入を1日置きに、一定値未満であれば混入を毎日行うこととする。このように管理することで、数日単位で見ると、作物に供給される養分量は0.25～0.5倍の大塚SC処方で微調整されたのと同様となる。

2. 培養液濃度管理の手順

培養液濃度管理手順の流れを図5に示す。

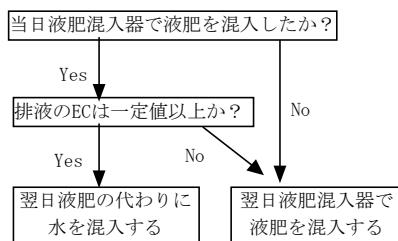


図5 培養液濃度管理手順

(1) 大塚S1号 30 kg (3袋) を水に溶かして 200 L、大塚2号 20 kg (2袋) を水に溶かして 200 L にして2種類の100倍濃度の液肥原液を調製する。液肥混入器の混入率は、大塚S1号を0.5%、大塚2号を0.4%に固定する。混入率に狂いが無いか、時々実測して確認する。メスシリンダーやバケツなどに取り分けた液肥原液を混入器に吸わせ、培養液調製後に減少量を測定して混入率を算出し、設定値とのずれが大きい場合には補正する。ネットロンの場合、混入率の設定値が0.05%刻みであるため、0.02～0.03ポイント程度の誤差は生ずる。誤差の許容範囲については検討の余地が残っている。

(2) 排水タンク内の排水のECを毎日確認し、一定値以上となったら液肥原液の混入を1日おきにする。排水タンク内の排水が少ないときには排水の混入率が2割に満たない場合もあり得るが、実際に混入される排水の量については考慮しない。手順を単純化するためである。

(3) 果実の肥大が始まるまでは排水のECが1.0 mS cm⁻¹を超えたら液肥原液の混入を1日

おきにする。大塚化学の処方ではトマトの掛け流し式の養液栽培において果実の肥大が始まるまでは 1.2 mS cm^{-1} 程度の培養液濃度とするのが良いとされており、0.5倍濃度の大塚SC処方の EC はそれよりも高いためである。

(4) 収穫時期には排水の EC が 2.5 mS cm^{-1} を超えるまでは毎日液肥原液の混入を行う。実際の EC の線引きにはなお検討の余地はあるが(理論上は根に高塩濃度障害が発生しない範囲ならばどこで線引きしても同じである)、大塚化学の処方では、掛け流し式の養液栽培においてこの時期の培養液の EC は 2.0 mS cm^{-1} 程度にすることが推奨されていることからの類推である。すなわち、 2.5 mS cm^{-1} の排水が 0.5 倍濃度の大塚 SC 処方の培養液に 2 割混入されると作物に供給される培養液の EC は 2.0 mS cm^{-1} 程度になるためである。

III. 付録

1. 高設培養液タンクへの培養液充填について

高設培養液タンクが満水となったときに培養液の注入が停止するように制御するには、24 時間タイマと液面センサを用いて電磁弁の開閉により行うのが望ましい(図 4)。培養液注入停止制御にボールタップを使用すると、タンクが満水近づくにつれて流量が低下する。アスピレーターを利用して排水を培養液に混入するには十分な流量が必要であるため、排水の混入率が低くなってしまふ。これを防ぐために液面センサを利用する。

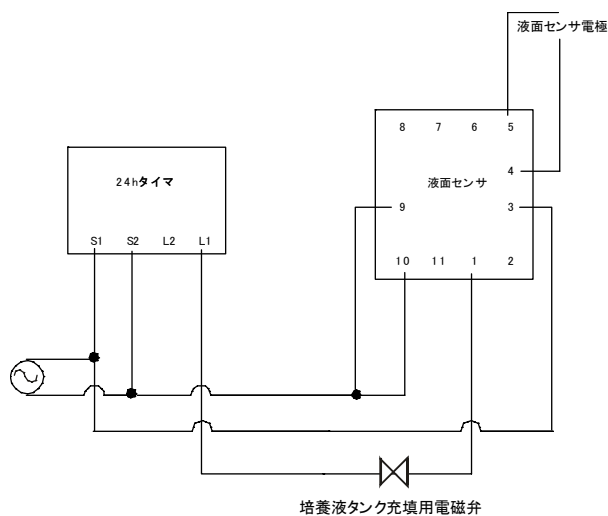


図 4 培養液タンク充填用制御装置配線図

2. 施設内で一斉に定植できない場合の対処法

施設の規模が大きいなど、一斉に定植できない場合には、定植日ごとに、別々の制御装置を取り付けて独立に給液管理することが望ましい。それができない場合には2つの考え方がある。

(1) 最初に定植したトマトに制御装置を取り付けて、それに合わせて給液管理を行う。この場合、後から定植したものに対して培養液が過剰に供給されるので施設全体の排水発生量が多くなる。また、後から定植したものは養分も過剰になって、いわゆる「暴れる」(過繁茂や茎が太くなりすぎる)状態になりやすい。

(2) 制御装置を取り付けた栽培ベッドに定植日の異なる株を施設全体の比率に合わせた株数で

定植する。この場合、先に定植したものが、後から定植されたものに足を引っ張られる形で生育が抑制される可能性がある。

3. 後かたづけのコツ

ロックウール培地に定植するとき、棒で突いて培地に穴をあけ、そこにセル成型苗をさしこむ。二回目以降の栽培の場合、穴をあけるときの前作の根が邪魔になることがある。これを防ぐには培地を一旦乾かすと良い。そのために、栽培期間終了後、まず培養液の供給を停止して枯れ上がらせてから作物を撤去する。トマトに培地中の水分を吸収させ、培地を速やかに乾かすためである。給液を停止する前に作物を撤去すると培地はなかなか乾燥しない。

4. 培養液・排液の殺菌について

技術的には、排液に 1/10000 量、または培養液に 1/50000 量の高純度さらし粉を投入することで次亜塩素イオンによる殺菌が可能である。ここで紹介した培養液管理法であれば、トマトに次亜塩素酸イオンによる障害は認められず、簡便に病害の蔓延を予防できる。残念ながら 2007 年 3 月現在、高純度さらし粉は、養液栽培の培養液を殺菌するための農薬登録がなく、農家での利用は不可である。なお、農薬取締法の定義に従えば、排液の殺菌に用いられるオゾンも農薬となるはずであるが、利用が認められている理由は不明である。

おわりに

ここで紹介した方法は、きわめて手順が具体的であり、恣意や作為の入り込む余地はほとんどない。作物の生育状態の観察が不要なためだれが行っても同じであるし、日射や気温などの環境条件に依存せずに給液量や液肥供給量の設定の意志決定を行うので、いつでも（季節）、どこでも（地域）同じように実施できる。また、原理的には保水力さえあれば固形培地の種類さえも問わない。

一般に養液栽培で十分な収量を得るには、排液率や培養液の濃度および組成を好適に保つ必要があるとされているが、ここで紹介した給液管理および培養液濃度管理の方法は、排液率を一定に保つことも、培養液組成を常に好適に保つことも保証はしない。環境計測機器やコンピュータ制御の給液コントローラなどを用いない、低コストな養液栽培装置向けの技術である。計測や分析を行いながら精密な制御を行った養液栽培や、栽培者の経験に基づいて細やかな給液、培養液管理を行った場合に比べてどの程度減収となるか、ならないのか、実績を重ねることで検証する必要がある。また、断水などのトラブルにより給液量が不足し、作物の根に障害が発生した場合には、培地の保水力を十分に活かすことができなくなるため、作物が回復するまで給液のスキップを行わず、過剰に培養液を供給するなどの対処は必要である。なお、四国研究センター内で検証試験を行ったところ、冬春期には何も問題は生じなかったが、2006 年の夏秋期には梅雨明け以降から割れ果が多発した。実用化にはこのような課題をまだ残している。

最後に、筆者の個人的見解について述べる。養液栽培に限らず農業では、施設内といえども天候などの影響は避けられないし、ハウス内の環境、培地や土壌の性質、使用する装置、人の手による作業、あるいは作物の株ごとに必ず誤差やバラツキがある。そのような状況の中で「精密さ」を追求すると、技術そのものはもちろん、技術開発に要するコストが膨大になりかねない。ある程度の「いい加減さ」や「大雑把さ」を許容できる方法を模索した結果がここで紹介した技術である。また、この技術開発は理論研究を基にしており、関係式を求めるための計測や分析、あるいは生育調査、最適な条件を決めるための試行錯誤をほとんど行っていない。開発に要したのは

たった1名の人件費と検証試験の費用のみで、開発コストも低く抑えられている。技術とコストとの折り合いをつける考え方の一例として参考になれば幸いである。

補足資料：理論解析について

培養液濃度および組成管理法開発の理論的背景について紹介する。学会誌の審査員や農研機構内の多くの研究者など、いわゆる専門家からも「理解できない」等の意見を頂戴しているが、代数解析を行うには高校生レベルの数学の知識があれば充分である(代数の意味するところについて理解するには物理化学の知識が必要である)。興味があればご一読願いたい。

1. 作物が必要とする養分量を吸収させるには

作物が吸収する養分量は、吸収されやすさ、根と接触する培養液の量、および養分濃度で代数表記できる(式1)。

$$I_I = C_I \cdot V_R \cdot F \quad (1)$$

I_I : 作物が必要とする養分量

C_I : 作物の養分吸収量が I_I になるときの培養液中の養分濃度

V_R : 根と接触する培養液の量

F : 養分の種類ごとに異なる吸収のされ易さ ($0 < F < 1$; 「根と接触する培養液中の養分」に対する「作物が吸収する養分」の割合)。「作物が必要とする養分量」を吸収させるには F の小さい、つまり吸収されにくい養分ほど濃度を高くする必要がある。

式1を、作物が吸収する水分量、「供給する培養液」に対する「根と接触する培養液」の割合、排液率(「供給する培養液」に対する「排液」の割合)で表すと式2のようになる。

$$I_I = C_I \cdot V_A \cdot \frac{R' \cdot F}{1 - a'} \quad (2)$$

V_A : 作物が吸収する水分量(水分は気相での移動もあり得ることから、作物は「根と接触しない培養液」からも水分を吸収できる)

R' : 「供給する培養液」に対する「根と接触する培養液」の割合 ($0 < R' \leq 1$)

a' : 排液率 ($0 < a' < 1$; 「供給する培養液」に対する「排液」の割合、 $1 - R' \leq a' < 1$ ではない)

式2から、排液率が低いほど、培養液中の養分濃度を高くする必要があることがわかる。また、 R' が小さい、すなわち根と接触する培養液の割合が少ない(根の張り具合が悪い)ほど培養液中の養分濃度を高くする必要があることが理解できる。

2. 排液を再利用する場合の培養液濃度

排液を新しい培養液に混入して再利用する場合、「作物に供給される培養液中の養分濃度」は培養液濃度と排液濃度の漸化式として表せる(式3)。

$$C_n = (1 - b) \cdot C_q + b \cdot D_{n-1} \quad (3)$$

C_n : 排液再利用を n 回繰り返したときの培養液中の養分濃度

b : 「供給する培養液」に対する排液の混入割合 ($0 \leq b \leq a'$)

C_q : 新しく調製する培養液中の養分濃度

D_{n-1} : 混入する排液(前回の排液)中の養分濃度

「供給する培養液中の養分量」から「作物が吸収する養分量」を差し引いて排液量を除すれば排液中の養分濃度が求まる(式4)。この式から、培養液より排液中の養分濃度が高くても、必ず

しも「作物が必要とする以上に養分が供給されているのではない」ことがわかる。

$$D_n = C_n \cdot \frac{1 - R' \cdot F}{a'} \quad (4)$$

式3と式4から培養液の濃度に関する漸化式を作ることができる（式は省略）。この漸化式の極限は収束することから、排液の再利用を繰り返すと、「作物に供給する培養液中の養分濃度」は理論上一定の値に収束することが導かれる（式5；導出過程は略。高校レベルの数学である）。

$$A = C_q \cdot \frac{a' \cdot (1 - b)}{a' - b + b \cdot R' \cdot F} \quad (5)$$

A：排液の再利用を繰り返したときに収束する「作物に供給する培養液中の養分濃度」

排液を完全に再利用する場合には $a' = b$ であるから式6が得られる。

$$A = C_q \cdot \frac{1 - a'}{R' \cdot F} \quad (6)$$

以上により、排液の再利用を繰り返すと、作物に供給される培養液中の養分は、排液率が低いほど、根の張り具合が悪いほど、吸収のされにくい成分ほど、濃度が高くなることがわかる。ここで、 $C_q = I_f / V_A$ に設定すれば、 $A = C_I$ となり、理論上「供給される培養液中の養分」は「作物が必要とする養分量」を吸収することができる濃度に収束する。実際の養液栽培では排液率を一定に保つことは容易ではないし、温度など環境条件や作物の状態によって R' や F は変動するため A や C_I が一定値であることはあり得ない。しかし、排液を完全に再利用すれば、「新しく調製する培養液」の組成を「作物が必要とする養分」の組成にあわせるだけで、自動的に各養分の濃度が C_I である培養液組成となる。培養液組成を調整するための化学分析や複雑な計算は一切不要である。

3. 従来法に対する批判

培養液の定濃度管理や定量管理による閉鎖式養液栽培（固形培地耕）について触れる。これらの方法は作物に供給する培養液の濃度や組成、あるいは EC を一定に保つことを前提にしている。しかしながら、式2から推定すると、作物に供給する培養液の濃度や組成を一定に保った場合、排液率、作物の状態や環境条件（ R' や F に影響する）によっては、必要な養分量を作物が必ずしも吸収できるとは限らず、逆に過剰に供給されることも起こりうる。つまり、閉鎖式養液栽培における培養液の定濃度管理や、EC を一定に保つ定量管理は作物が吸収する養分の量を制御する管理方法として、不適切であることがわかる。また同様に、かけ流し式の固形培地耕であっても、必要な養分量を作物に吸収させるには、排液率、作物の状態や環境条件、養分の吸収のされやすさに応じて培養液中の濃度を調整する必要がある。一般に知られているように、低温期と高温期では組成を変える、収穫時期以降は濃度を高くするなど、過去の経験に基づいて培養液の組成や濃度を調整しているのが現状である。以上のように、従来の養液栽培（固形培地耕）の給液管理方法は合理的技術（誰にでも再現できる、理論に基づいた技術）から、ほど遠いものと筆者は考えている。

代数解析の数式の導出過程は大幅に省略しているが、ニュートン力学の運動方程式や気体の状態方程式などの導出に比べて特別に困難とは思われない。理論の詳細について疑問な点があれば、是非問い合わせていただきたい。

「傾斜地特性野菜」マニュアルシリーズ既刊リスト

- No.1 (2006.3) 平張型傾斜ハウスの設計・施工マニュアル
- No.2 (2006.3) 貯水型水路の敷設技術マニュアル
- No.3 (2006.3) 傾斜地での点滴給液技術マニュアル
- No.4 (2006.3) 傾斜地用養液栽培装置技術マニュアル
- No.5 (2006.3) 傾斜地トマト養液栽培 育苗マニュアル
- No.6 (2007.3) 傾斜ハウスにおけるチコリー（アンディーブ）の栽培
- No.7 (2007.3) 傾斜ハウスにおけるセルリーの養液栽培技術マニュアル
- No.8 (2007.3) 傾斜ハウス及び傾斜地養液栽培システムを利用したブルーベリーのコンテナ養液促成栽培技術マニュアル
- No.9 (2007.3) コゴミ栽培マニュアル
- No.10 (2007.3) 傾斜ハウスの周年利用体系
- No.11 (2007.3) 排水を再利用する場合の傾斜地用養液栽培装置給液管理マニュアル
- No.12 (2007.3) 傾斜ハウス及び傾斜地養液栽培システムを利用した夏秋トマトの養液栽培技術マニュアル
- No.13 (2007.3) 傾斜地の気象を活用したハウス暑熱環境の改善
- No.14 (2007.3) 平張型傾斜ハウス 簡易天窓設置マニュアル
- No.15 (2007.3) カスタマイズ可能な農業記録ソフトウェア利用マニュアル
- No.16 (2007.3) 粉碎モミガラでトマト栽培ができる極微量灌水施肥システムマニュアル
- No.17 (2007.3) 傾斜地用養液栽培装置技術マニュアル（増補版）

このマニュアルは地域先導技術総合研究「傾斜地特性を活用した野菜等の高付加価値生産技術体系の確立（2002～2006）」において得られた知見をまとめたものである。

「傾斜地特性野菜」マニュアルシリーズNo. 11 傾斜地用養液栽培装置給液管理マニュアル

内容に対する問い合わせは、下記執筆者へ

執筆者：笠原賢明

近畿中国四国農業研究センター

〒765-0053 香川県善通寺市生野町2575

電話：0877-63-8116（直） FAX：0877-62-1130

<http://wenarc.naro.affrc.go.jp/skk/labo/soken/index2.htm>

E-mail: sloping_tomato@ml.affrc.go.jp

「傾斜地特性野菜」マニュアルシリーズNo.11
傾斜地用養液栽培装置給液管理マニュアル
2007年3月31日

編集・発行：独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
近畿中国四国農業研究センター
〒721-8514 広島県福山市西深津町6-12-1
電話：084-923-4100(代表) FAX：084-924-7893