

## 水耕栽培用肥料

水耕栽培とは、土を使わず水に溶かした肥料溶液（培養液）を用いて作物を栽培する方法である。水耕栽培の長所として、畝立、土寄せ、施肥、除草など慣行栽培に必要な作業が省略できること、灌漑と施肥が一緒になって自動化され、肥料と水の利用効率がよく、大規模化が容易になること、土壌病害や連作障害を回避できることなどが挙げられる。特に作物の生育に合わせて養分と水が最適に投与され、作物の生育が速く、肥料や水の利用効率が高いことが最大の特徴である。

水耕栽培は作物の根を支える培地の有無により、水耕栽培と固形培地耕に分けられる。固形培地を使わず、培養液だけのシステムは「完全水耕栽培」と呼ばれ、代表的なシステムはDFT 湛液水耕と NFT 薄膜水耕である。植物工場がほとんど完全水耕栽培を採用する。根を支える培地がないため、地上部が高く重い植物に適さず、主にミツバ、リータス、チンゲンサイ、コマツナ、ホウレンソウなどの葉菜類の栽培に使用する。

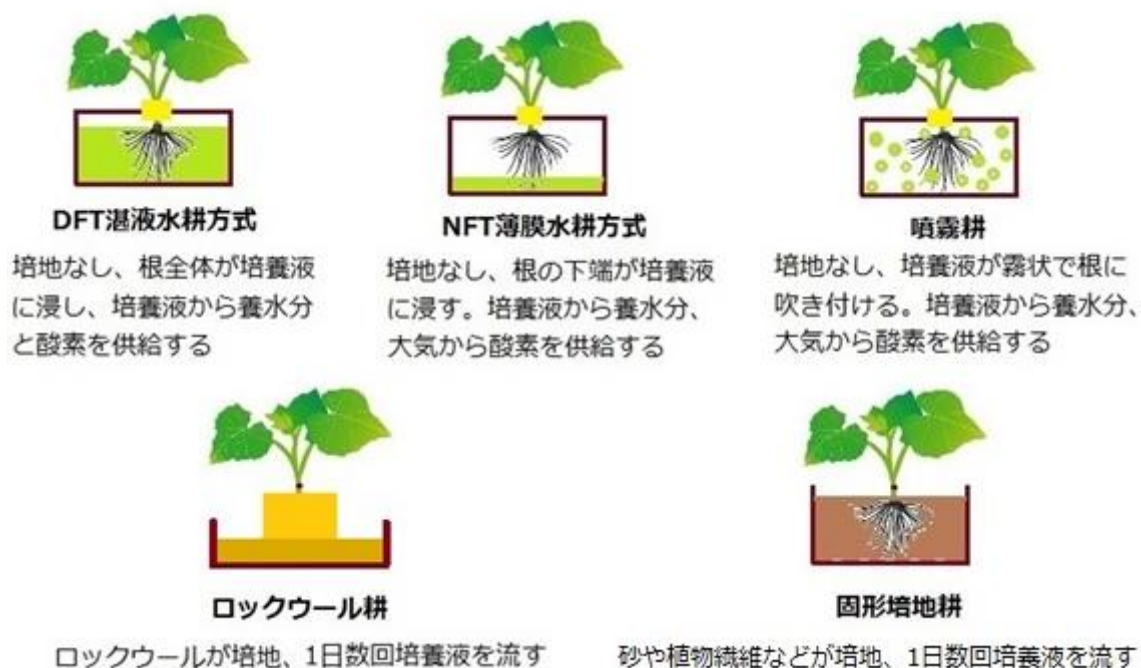


図1. 各水耕栽培システムの模式図

一方、土以外の固形培地を使うシステムは「固形培地耕」と呼ばれ、ロックウールを培地とするロックウール耕が最も多く普及しているが、砂、礫、パーライトのような無機粒状鉱物またはヤシ殻、ピートモスのような有機繊維を主体とする固形培地を用いる方式も増加している。固形培地は作物の地上部を固定支持するほか、培地を構成する粒子間隙や粒子内部に培養液を保持しており、根の養分吸収利用機能が発揮しやすい。また、固形培地があるので慣行栽培の感覚が応用できることも特徴のひとつである。施設栽培では生育期間の長

トマト、イチゴ、キュウリなどの果菜類やバラなどの花き類はこの栽培方式を使用することが多い。各水耕栽培システムの概略は図 1 に示す。

水耕栽培は慣行栽培と異なり、作物生育に必要な養水分はすべて培養液から取得しなければならない。したがって、水耕栽培に使用される肥料種類、配合と使用管理も慣行栽培と全く異なる。本篇は水耕栽培に使う肥料種類、処方、配合と使用・管理を解説する。

## 1. 肥料種類、成分と性質

水耕栽培はその文字のとおり、培養液で作物に養分と水分を供給するため、まず、肥料が完全に水に溶けなければならない。すなわち、完全水溶性のものしか使えない。

次いで、作物の根は尿素態窒素や有機性窒素を吸収利用せず、アンモニウムイオンも微量しか吸収利用できない。なお、アンモニウムイオンが微量では問題がないが、一定濃度を越えると、作物に害を与える恐れがある。従って、水耕栽培は主に硝酸性窒素の肥料を使う。

また、塩化加里のような塩素含有量の高い肥料では高濃度の塩素が作物に害を及ぼす恐れがあるので、通常では使わない。

さらに水耕栽培は土壌の緩衝作用がなく、培養液が直接に根に接触して、pH が根の吸収機能を大きく影響するので、化学的強酸性かアルカリ性肥料がほとんど使えない。

微量元素についても、作物が培養液から吸収しなければならない。

従って、水耕栽培では慣行栽培用の単肥や化成肥料はそのままでは使用できず、限られている肥料しか使えない。当然、値段も慣行栽培用の汎用肥料より高い。

以下は、主な水耕栽培培養液に使う肥料を表 1 に示す。

表 1. 水耕栽培に使う肥料

| 養分種類   | 肥料名   |
|--------|---|
| 窒素     | 硝安、硝酸カルシウム、硝酸加里、りん酸一アンモニウム  |
| りん酸    | りん酸一アンモニウム、りん酸一カリウム   |
| 加里     | 硝酸加里、りん酸一カリウム、硫酸加里（稀に使用）  |
| カルシウム  | 硝酸カルシウム、塩化カルシウム（稀に使用）   |
| マグネシウム | 硫酸マグネシウム、硝酸マグネシウム   |
| 微量元素   | ホウ酸、硫酸第一鉄、硫酸マンガン、硫酸亜鉛、硫酸銅、モリブデン酸ナトリウム、<br>EDTA-鉄、EDTA-マンガン、EDTA-亜鉛、EDTA-銅など |

## 2. 培養液の処方と使用濃度

通常、培養液の処方は、正常な生育をした植物体の分析、栽培実験で養水分吸収速度と吸収量の追跡、各養分イオンの組成・濃度を変化させながら栽培実験を行った結果などに基づいて、その最適な組成、濃度を定める。適切な配合と調節が必要であることはもちろんだが、

化学反応により沈殿を生じないように肥料の選択に注意も必要である。処方確定には手間暇がかかり、普通の農家では簡単にできる仕事ではないので、市販の配合済み肥料または農協や業者が推薦する処方を採用するところはほとんどである。表 2 は本邦野菜試験場研究資料に掲載された水耕栽培に使う培養液の各養分濃度を示す。

表 2. 培養液処方中の各養分濃度

| 処方例   | 養分濃度 (me/L) |     |     |    |     | 対象作物                         |
|-------|-------------|-----|-----|----|-----|------------------------------|
|       | N           | P   | K   | Ca | Mg  |                              |
| 園芸試験場 | 16          | 4   | 8   | 8  | 4   | 各種 (生育段階により濃度調節)             |
| 山崎処方  | 7           | 2   | 4   | 3  | 2   | トマト (冬季は 120~140%)           |
|       | 10          | 3   | 7   | 3  | 2   | ナス (冬季は 120~140%)            |
|       | 9           | 2.5 | 6   | 3  | 1.5 | ピーマン (冬季は 120~140%)          |
|       | 13          | 3   | 6   | 7  | 4   | キュウリ                         |
|       | 13          | 4   | 6   | 7  | 3   | メロン(冬季は 120~140%、露地は 70~80%) |
|       | 5           | 1.5 | 3   | 2  | 1   | イチゴ (開花期以降)                  |
|       | 6           | 1.5 | 4   | 2  | 1   | レタス                          |
|       | 8           | 2   | 4   | 4  | 2   | ミツバ                          |
|       | 11          | 4   | 8   | 4  | 4   | シュンギク (夏季は 70%)              |
|       | 11          | 4   | 8   | 4  | 4   | ホウレンソウ                       |
|       | 9           | 6   | 7   | 2  | 2   | 目ネギ(夏季は 25~100%、冬季は 40~130%) |
|       | 4.5         | 3   | 3.5 | 1  | 1   | クレソン                         |
|       | 14          | 1.5 | 5   | 2  | —   | コカブ (根茎 2mm 以上)              |

註：静岡県 HP (<http://www.pref.shizuoka.jp/sangyou/sa-325/hiryuu/documents/sehi16-dai3bu7.pdf>) から引用。

表 2 は水耕栽培に使う培養液の養分濃度しか掲載されず、具体的な肥料種類と配合量を明記していない。参考として、本邦もっとも使われているいくつかの市販養液栽培肥料処方を掲載する。

表 3. 汎用養液栽培肥料 (10-8-27-4) 処方 (100kg あたり)

| 原料名     | 硝安        | 硝酸加里      | りん酸一安     | 硫酸苦土  |
|---------|-----------|-----------|-----------|-------|
| 保証成分値   | NN17、AN17 | NN13、WK46 | AN12、WP60 | WMg16 |
| 配合量(kg) | 2.5       | 59        | 13.5      | 25    |

表 4. 硝安を使用しない汎用養液栽培肥料 (10-8-27-4) 処方 (100kg あたり)

|         |           |           |            |       |
|---------|-----------|-----------|------------|-------|
| 原料名     | 硝酸加里      | りん酸一安     | 硝酸マグネシウム   | 硫酸苦土  |
| 保証成分値   | NN13、WK46 | AN12、WP60 | NN10、WMg15 | WMg16 |
| 配合量(kg) | 59        | 15        | 10         | 16    |

表 5. 夏季用の汎用養液栽培肥料 (9-7-32-4) 処方 (100kg あたり)

|         |           |           |           |       |
|---------|-----------|-----------|-----------|-------|
| 原料名     | 硝安        | 硝酸加里      | りん酸一加里    | 硫酸苦土  |
| 保証成分値   | NN17、AN17 | NN13、WK46 | WP51、WK34 | WMg16 |
| 配合量(kg) | 5.5       | 55.5      | 14        | 25    |

表 5. 硝安を使用しない夏季用の汎用養液栽培肥料 (9-7-32-4) 処方 (100kg あたり)

|         |           |           |            |       |
|---------|-----------|-----------|------------|-------|
| 原料名     | 硝酸加里      | りん酸一加里    | 硝酸マグネシウム   | 硫酸苦土  |
| 保証成分値   | NN13、WK46 | WP51、WK34 | NN10、WMg15 | WMg16 |
| 配合量(kg) | 60        | 14        | 15         | 11    |

表 3～5 の処方で配合した養液栽培肥料を 6～7 倍の水に溶かして原液としてタンクに保管する。

カルシウム養分は硝酸カルシウムの 4 水塩を使うが、事前に養液栽培肥料に配合することは固結や化学反応による不溶化の恐れがあり、別途単独で 10 倍の水に溶かして原液としてタンクに保管する。

養液栽培肥料を溶かす原水は河川水または地下水を利用する場合は、その原水に鉄やマンガン、亜鉛の微量元素が含まれているので、通常、微量元素を配合する必要はないが、原水中の微量元素含有量が不足の場合は、表 6 の混合微量元素を追加する必要がある。

表 6. 混合微量元素の処方 (1kg あたり)

|        |     |        |        |           |         |           |
|--------|-----|--------|--------|-----------|---------|-----------|
| 原料名    | ホウ酸 | EDTA 鉄 | EDTA 銅 | EDTA マンガン | EDTA 亜鉛 | モリブデン酸 Na |
| 配合量(g) | 80  | 560    | 20     | 280       | 50      | 10        |

\* モリブデン酸 Na を配合しなくても全く問題ない。

原液を調合する際に、表 3～5 の養液栽培肥料 1kg あたりに表 6 の混合微量元素 20g を添加して、一緒に溶かして原液としてタンクに保管する。

### 3. 配合・希釈と使用・管理

培養液の原液を調合する際に、使用する肥料を一緒に混合・溶解すると肥料間に化学反応を起こして沈殿が生じ、肥料養分が不溶となり、沈殿してしまうことがあるので、注意すべ

きである。特に、硫酸苦土とりん酸一安、りん酸一加里のような硫酸イオン ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) とりん酸イオン ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) を有する肥料は硝酸カルシウムのカルシウムイオン ( $\text{Ca}^{2+}$ ) と反応して、難溶性の硫酸カルシウム ( $\text{CaSO}_4$ ) またはりん酸一水素カルシウム ( $\text{CaHPO}_4$ ) を生成して沈殿し、養分濃度が下がるばかりではなく、培養液のタンクや配管に付着して、送液に支障が出る恐れがある。この問題を解決するには、上述のように硝酸カルシウムだけを個別に原液を作り、使用する際に配合してすぐ希釈してから使用する。

使用直前に、表 3～5 の養液栽培肥料原液と硝酸カルシウム原液を 1 : 1 の比率で混合してからさらに 50 倍希釈して培養液として使用する。このように配合した培養液中の各養分濃度は表 7 に示す。

表 7. 培養液に含まれている各養分の濃度

| 養分濃度 | N         | P       | K        | Ca      | Mg  |
|------|-----------|---------|----------|---------|-----|
| ppm  | 250～260   | 105～135 | 405～480  | 190～240 | 60  |
| me/L | 17.9～18.6 | 1.5～1.9 | 8.6～10.2 | 3.4～4.3 | 1.5 |

上記の配合と希釈倍率は汎用のもので、実際に栽培を行う際に天候と作物生育段階に合わせて、培養液の濃度を調節する必要がある。高温日照の強い日には希釈倍率を若干高くして（養分濃度を低くして）、気温が低く、日照の少ない日には希釈倍率をやや低くする（養分濃度を高くして）ことで調節する。

また、作物種類により、別途りん酸一安、りん酸一加里を培養液に（大体培養液 1000L にりん酸一安またはりん酸一加里を 100～200g）追加して、窒素、りん酸、加里の濃度を調節することで対応する。

水耕栽培の培養液調合に用いる原水の水質も重要である。石灰岩流域に多く見られる硬水はカルシウムとマグネシウムイオンが多く含まれ、沈殿が発生しやすい。また、鉱山地帯に鉄や銅のような金属イオンを多く含む原水では過剰障害が発生しやすいため、ある程度以上の濃度で含有している場合、原水として使えないことが多い。事前に分析する必要がある。

ロックウールや有機質培地を使う「固形培地耕」では培養液をかけ流し、循環使用しないところもあるが、培地なしの「完全水耕栽培」方式では培養液を回収して循環使用する。従って、培養液の管理は非常に重要である。

循環方式の培養液の管理は下記の注意事項がある。

#### ① 培養液の濃度と pH 変化

作物の養水分吸収量は生育状況、生育ステージ、環境条件等で変化する。

培養液の養分組成と濃度が作物に吸収された養水分量と一致している場合は、培養液の組成と濃度は変化せず、吸収された量だけを追加補充すればよいが、作物の養水分吸収量は培養液の養分組成と濃度と異なる場合は培養液の濃度調節が必要である。

回収した培養液の養分濃度は EC（電気伝導度、Electro Conductivity）を指標にして行う。EC が基準値より大きく下がった場合は原液の希釈倍率を下げて、養分濃度を高め、EC が基準値より大きく上がった場合は原液の希釈倍率を上げて、養分濃度を低くすることで対応する。

また、培養液 pH を 5.5～7.0 に維持する。pH を下げたい場合は硝酸やりん酸、pH を上げたい場合は炭酸水素カリウム（重炭酸カリウム）を使う。pH を矯正する場合は一度に 1.0 程度の大きな矯正は根に与える影響が大きいため、徐々に行う必要がある。

条件があれば、自動計測装置を培養液タンクに設置し、常時に調整することを勧める。

## ② 培養液の殺菌消毒

養液栽培は施設内で行うもので、慣行栽培に比べ病原菌の感染が起きにくいですが、人員、資材や苗からの持ち込み、施設内地面粉塵の飛散等により根部の病害発生があり得る。一旦病気が発生して、汚染された培養液により一気に広げられる恐れがある。従って、回収した培養液を循環使用する前に殺菌消毒をすべきである。

培養液の殺菌消毒方法は熱、紫外線、ろ過、オゾンなどがあり、コストパフォーマンスとしてろ過＋紫外線殺菌が一番良いといわれる。

## ③ 培養液の更新

循環方式の培養液は更新を行わずに長期間栽培すると、根から分泌された有機酸など有害物質が蓄積し、病気が発生した場合は病原菌の汚染もある。定期的にはまたは必要に応じて培養液を更新すべきである。

通常、葉菜類では 1 作経過すると、培養液の汚れが溜まり、次作の生育不良を引き起こす恐れがあるので、作ごとに更新する。トマトのような長期栽培の場合は、病気が発生した場合はもちろんのこと、作物を元気に育てる観点からも定期的に培養液を更新することが必要である。

## ④ 排液の処理

水耕栽培施設は国の「水質汚濁防止法」に基づく対象施設ではないが、使用後の培養液にはまだ無機養分が多く含まれ、そのまま河川への排出や地下に浸透させる等の廃棄では環境への悪影響が懸念される。排液は主に硝酸性窒素が問題となることが多い。使用した培養液の排液処理には処理コストが低いこと、維持管理負担が軽いことが必要条件となる。通常、排液を水田または脱窒用還元ゾーンに導水して微生物による自然脱窒させることが望ましい。