

イチゴの高設栽培における培地・培養液の環境負荷軽減対策

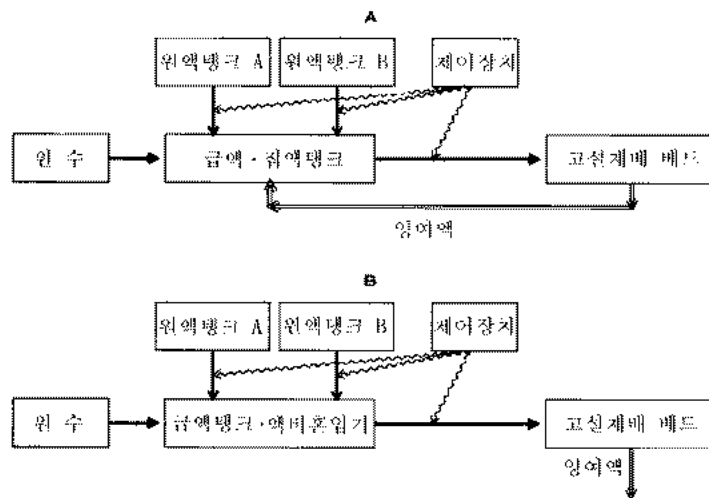
千葉県農業総合研究センター野菜研究室
宇田川雄二

プロローグ

イチゴの高設栽培は、NFTなどの培地を全く使用しない水耕栽培とロックウール、パーライト、モミガラ、ピートモスなどの培地を使用した固形培地耕の2種類に大別される。一般に水耕栽培は、栽培ベッドと給液・集液タンクとからなり、イチゴの吸水量の数十倍の培養液を集液タンクから栽培ベッドにポンプアップし、余剰液は集液タンクに回収するという循環利用が行われている。それに対して、固形培地耕では栽培ベッドと給液タンクまたは液肥混入器とからなり、イチゴの吸水量より数十%多い給液を行い、余剰液は循環されることなく栽培ベッドから直接排出される(第1図)。

近年、非循環式の固形培地耕において、余剰液を再利用して園外への余剰液の排出量を削減する方法や余剰液に何らかの処理を行って、園外への硝酸態窒素やリンの排出量を削減する対策がおこなわれるようになった。

イチゴではトマト等の他の果菜類に比べて、給液培養液の量が少なく、濃度も低い特徴がある。従って、処理される余剰液量が少なく、成分濃度が低いため、処理方法が容易で処理コストが比較的安価にできる特徴がある。



第1図 高設栽培イチゴの循環式 (A) 及び非循環式 (B) の培養液の流れ (宇田川)

1. 培地の再利用

オランダやベルギーでは、使用済みロックウールは回収されてブロック製造用に再利用されている。日本では日東紡績(株)がロックウールの再生品化を可能とする「協域的産業廃棄物再生利用指定」を取得して、リサイクル利用の道が開けたが、回収方法、コスト負

担、自社製品以外の扱い等、未解決部分が多い。現状では、使用済みロックウールは水田などへの粉砕混和利用がほとんどである。ロックウールはケイ酸含量が高いので、水田に施用した場合、イネのケイ酸含有率が増加して倒伏しにくくなったというデータがある。なお、水田土壌への粉砕混和には、ロックウール及び土壌とも十分に水分を含んだ状態で、ロータリー耕を行う必要がある。そこで、ロックウールの使用量を可能な限り少なくすることと、長期間使用することが図られている。

そこで、土壌への還元が容易なビートモス、ヤシ殻、モミガラなどの有機質培地の利用が増加しつつある。

なお、クレイボール等の土壌形成多孔体、パーライト、バーミキュライト等の加熱製成した資材は、ロックウールと同様、土壌還元しても原型をいつまでも保つことを忘れてはならない。

2. 培養液の廃棄量

イチゴの高設栽培における廃棄される培養液量や硝酸態窒素及びリンの量を第1表に示した。推定値は、演者が提案している培養液組成、濃度、給液量を行った場合の値であり、実測値は実際の栽培圃場における値である。

非循環式の実測値が推定値より廃棄培養液量が少ないのは、実際栽培では、日射比例制御によって曇雨天日には給液量を減らすことによる。また、廃棄成分量が少ないのは、実際栽培では原水のEC値が0.23 d S/mあるため、基準濃度にしても、給液培養液の窒素やリンの濃度が低いことと、余剰液の窒素やリンの濃度が給液のそれより低くなるためである。

循環式では培養液の交換時に肥料成分が廃棄される。トマトなどの果菜類の養液栽培では栽培終了時のみ培養液を廃棄し、それによる肥料成分が除外に排出されるので、その廃棄量は非循環式の養液栽培に比べて1/7～1/10程度となる。そのため、非循環式から循環式に換えるだけで、環境への負荷を軽減することが可能である。

イチゴの高設栽培でも栽培途中で培養液交換を行わない場合には、栽培終了時に廃棄する培養液量はタンク容量+栽培ベッドに残留していた液量となり、推定値より多くなるが、栽培終了時には原水のみを給液して、イチゴの植物体に養分を吸収させてしまうため、窒素及びリンの濃度は10ppm程度に低下する。そのため、廃棄成分量は極めて少なくなる。

しかし、イチゴは根の吸水力が培養液の浸透壓に敏感に反応するため、培養液を低濃度で管理しなければならない。さらに、培養液をEC制御のみで循環利用するとカルシウムやマグネシウムが残留し、窒素、リン、カリウムが減って培養液組成が乱れ、十分な窒素吸収ができなくなる。特に、イチゴは窒素濃度に敏感に反応するため、ほぼ1ヵ月に1回の培養液交換を行い培養液組成を維持することが必要になる。標準的には10a当たり5%のタンクを設置するので、1回に約5%の培養液を廃棄することになる。栽培期間中に8回の培養液交換と栽培終了時の培養液廃棄が必要となるため、推定廃棄培養液量と成分量は、非循環式の約半量となる。

しかし、実測値では、栽培途中で1ヵ月間隔で培養液を交換する場合には、集液タンク

内の培養液のみを廃棄するため、廃棄培養液量は推定値より少なくなる。また、窒素及びリンとも、1ヶ月間の循環利用によって基準濃度より低くなり、廃棄成分量は推定値より少なくなる。

第1表 高設イチゴ栽培における給液方式による廃棄培養液量及び成分量 (宇田川)

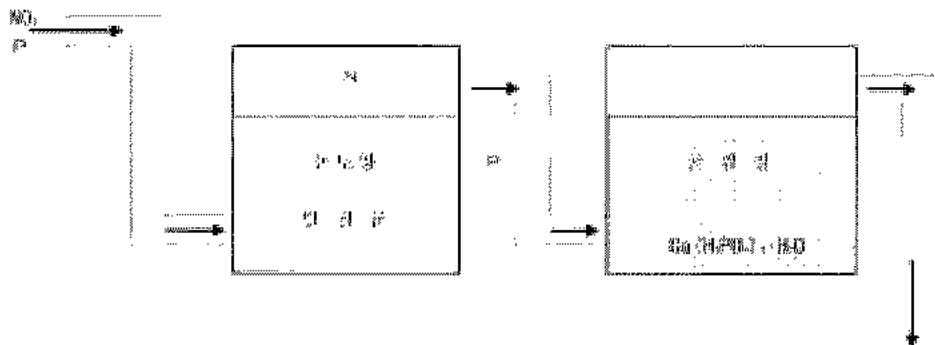
給液方式	배양액교환	추정치			실측치		
		폐기 배양액량 (m ³ /10a/y)	폐기 성분량		폐기 배양액량 (m ³ /10a/y)	폐기 성분량	
			NO ₃ -N (kg/10a/y)	P ₂ O ₅ -P (kg/10a/y)		NO ₃ -N (kg/10a/y)	P ₂ O ₅ -P (kg/10a/y)
비순환식		86.6	7.39	2.30	57.1	2.97	0.88
순환식	없음	5.0	0.38	0.08	6.1	0.06	0.03
	매월1회	45.0	3.82	1.26	36.0	1.83	0.40

3. 非循環式高設栽培における余剰液處理

余剰液の處理には、いずれの處理を行うにも余剰液を回収するための装置が必要になる。そのコストを負担しても、収量の増加が期待されるとは限らないので、生産者への定着にはかなりの困難が伴うと思われる。しかし、余剰液を回収することによって、施設内湿度が低下して、イチゴの最大の病害である灰色カビ病の発生が防げたり、果實の軟化が抑制されるなどの品質が向上するといったメリットがある。

(1) 脱窒菌利用による淨化

2つの工程から成り、第1工程では、脱窒菌を定着させた田土に余剰培養液を混合して、還元状態にすることで硝酸態窒素を窒素ガスとして揮散させる。第2工程は、カキ殻に通してカキ殻のカルシウムと余剰培養液中のリンとを結合させてリンを除去する(第2図)。脱窒菌の活動は湿度に依存するため、15℃以下の湿度では効果が劣る。



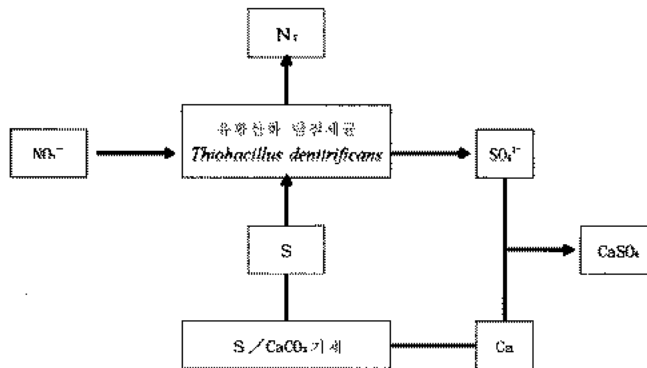
第2図 脱窒菌及びカキ殻を利用した硝酸態窒素とリンの除去

(2) 硫酸酸化脱窒細菌利用による浄化

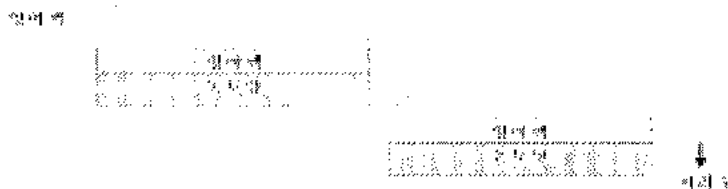
硫酸-カルシウム系基質に硫酸酸化細菌を定着させた材に余糞液を通す。硫酸酸化細菌の働きで、硝酸態窒素が還元されて窒素ガスとして揮散させる。その際に硫酸イオンが生成されるが、基質中のカルシウムと結合して石膏（硫酸カルシウム）を生成する（第3図）。ただし、余糞液の硝酸態窒素濃度が著しく低下した場合、または流量が低下した場合に硫化水素が発生する場合があることと、リンの浄化は行われぬ。また、硫酸酸化細菌の活動も温度に依存するため、15℃以下の温度では効果が劣る。

(3) セリ等の植物利用による浄化

セリ、クレソン等の水性植物を植えた水槽に余糞液を通し、当該植物に余糞液中の肥料成分を吸収させるものである（第4図）。イチゴの栽培は晩夏から越冬期を過ぎ、初夏までであるので、効果を確認するためには、保水など当該植物の生育環境を整える必要がある。



第3図 硫酸酸化脱窒細菌を利用した硝酸態窒素の集窒



第4図 セリ等の植物利用による余糞液の浄化概要図

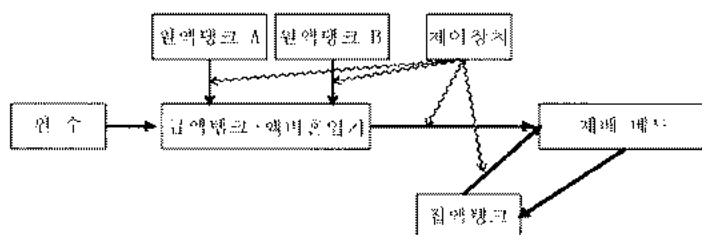
(4) 養液土耕栽培等への利用

高設栽培の余糞液を養液土耕栽培や土耕栽培の液肥として利用するものである。しか

し、高設栽培の余剰液は、少量ずつ排液されるため、余剰液をある程度集液するタンクを設置する必要があることと、養液栽培や土耕栽培が隣接された施設で行われていない場合には、集めた余剰液を運搬する手間が必要になる。

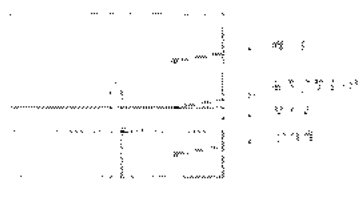
(5) 余剰液の再給液

非循環式の給液方法を採用しながら、余剰液を集めておき、新規培養液の供給を行いながら、数回に1回の割で、新規培養液の代わりに集めた余剰液を供給するものである。余剰液の集液タンクには水位センサーを設置し、1回の給液必要量が集液されたら、次期の給液の際に新規培養液の給液ポンプの作動させず、集液タンクに設置されたポンプを作動させるという制御装置が必要である(第5図)。その結果、余剰液を供給した場合には、しない場合に比べて、収量が15%程低下した。これは、余剰液の窒素、リン、カリウムの組成割合が低下していることが考えられる。そこで、余剰液にほぼ定量の硝酸カリウムやリン酸カリウムを追加補給するなどの方策が必要である。



第5図 余剰液の再利用の系統図

また、栽培ベッドを二重構造とし、余剰液を下段の水槽に貯留しておき、毛細管現象によって、上段の培地へ供給するものがある(第5図)。



第6図 余剰液貯留システム概要図

4. 循環式高設栽培における培養液管理

循環式のイチゴの高設栽培では、以下の原因によって、培養液の交換が必要となる。

- ① 原水に起因する不要成分が培養液に蓄積する。
- ② 培養液組成とイチゴの養分吸収組成との不一致によって成分組成が崩れ、pHも異常となる。
- ③ 根の老廃物や根からの分泌物によって、培養液中に有機酸が蓄積する。
- ④ 地下部病害が発生する。

(1) 原水の不要成分の蓄積

原水の不要成分の蓄積をなくすためには、天水（雨水）の利用、逆浸透膜処理等によって良質の原水を得る事例がある。

天水を利用するには、栽培期間の9月～5月に1日に10mm以上の降雨が週1回、月間雨量が100mmを越えていれば可能である。イチゴの吸蒸散量は1日2～3tなので、月合計60～90tをまかなえる。貯留タンクは10日分の30t位の容量を確保する。

しかし、現時には地下水や河川水、水道水などを利用する例が多い。これらの原水の不要成分で培養液に蓄積する主たるものはナトリウムと塩素である。また、必須多量要素ではあるが、原水に多量に含まれ、培養液で高濃度になるカルシウム、マグネシウム、さらに必須微量元素である鉄やマンガンも沈殿物となり問題となる。これらの多量要素に対しては、単肥を用いて、原水の成分組成を考慮した培養液を作る。

そこで、不要成分の蓄積を可能な限り少なくする原水の成分組成を考慮した培養液の作製方法を晋州市郊外のイチゴ生産者の事例で順を追って記す。

ア. 原水の水質

当地で利用されている原水の水質は、一言で言えばナトリウムと重炭酸が多く、ECは0.5dS/m前後でイチゴの栽培には向かない。しかし、それがイチゴの味を良くして、市場単価を高めていることも見逃せない。

手順は、① 重炭酸を硝酸またはリン酸で中和する。② 基準となる培養液組成と濃度を決定する。③ 原水から供給される窒素、りん、カリウム、カルシウム、マグネシウムを勘案して、肥料塩を加える量を計算する。④ 濃厚原液タンクに肥料塩を溶かす。⑤ 栽培時の観察で、培養液組成、ひいては加える肥料塩の量を修正する。

ただし、ナトリウムが80ppm以上の原水ではカリウムの欠乏症が発生する。このナトリウムは肥料塩で調整することは不可能なので、カリウムを基準より多くする（しかし、カルシウム欠乏症が発生しやすくなる）か、ある程度のカリウム欠乏症の発生は無視することになる。

イ. 重炭酸の中和

重炭酸は、塩基成分の対イオンとして存在し、pHの変化を抑制する緩衝作用がある。重炭酸を多量に含有すると、酸を添加してもその液のpHを低下させるには、多量の酸が必要となり、pH調整に苦勞することになる。一方、重炭酸が少ないと、わずかなイオン組成の変化によって液のpHは極端に変化し、安定したpH管理が極めて困難になる。一

一般的に、重炭酸濃度は30~50ppmが好適である。50ppm以上の原水では、予め重炭酸を中和するために硝酸またはリン酸を添加する。

例：李さんの重炭酸濃度は138.6ppmあるので、これを50ppmまで低下させるのに必要な重炭酸を計算する。

138.6 - 50 = 88.6 (ppm) 中和する重炭酸濃度

1 t (1,000?) の原水を61.0%の硝酸及び75%のリン酸で等量ずつ重炭酸を消費されるには第2表から

$(88.6 / 2) / 810 \times 1000 = 54.7$ (ml) . . . 原水 1 t 当たりに加える61%の硝酸量

$(88.6 / 2) / 738 \times 1000 = 60.0$ (ml) . . . 原水 1 t 当たりに加える75%のリン酸量

加えた硝酸及びリン酸から供給される肥料成分は第2表から

$54.7 / 1000 \times 186.3 = 10.2$ (ppm) . . . 肥料塩として供給する必要のない硝酸態窒素濃度

$60.0 / 1000 \times 374.5 = 22.5$ (ppm) . . . 肥料塩として供給する必要のないリン濃度

第2表 酸の種類と重炭酸消費量 (篠原ら、1997)

	농도 (%)	중탄산(HCO ₃) 농도 저하량 (ppm)	비료성분 (ppm)
질산 (HNO ₃)	61.0	810	186.3
	65.0	876	200.2
	67.5	916	210.0
	70.0	958	218.6
인산 (H ₂ PO ₄)	37.0	282	143.9
	75.0	738	374.5
	85.0	892	454.6
	90.0	978	497.0

ウ. イチゴの基準培養液組成と濃度

基準となる培養液組成はイチゴの生育ステージによる吸収特性を考慮した追肥用培養液組成を用い、濃度はイチゴの基準培地内培養液濃度を用いると、イチゴの生育ステージごとに第3表の組成及び濃度となる。

第3表 生育ステージに培養液組成と濃度の基準 (宇田川、2004)

生育단계	NO ₃ N (me/l)	NH ₄ N (me/l)	P (me/l)	K (me/l)	Ca (me/l)	Mg (me/l)	SO ₄ S (me/l)	EC (mS/m)
정식~1주간	3.2	0.7	2.1	2.1	1.1	0.5	0.5	0.6
정식1주간~보온개시기	4.3	0.9	2.8	2.8	1.4	0.7	0.7	0.8
보온개시기~개화시작기	5.3	1.2	3.6	3.6	1.8	0.9	0.9	1.0
개화시작기~수확시작기	6.4	0.7	4.3	5.0	2.1	1.1	1.1	1.2
수확시작기~정화방수확종료기	7.5	0.8	5.0	5.8	2.5	1.2	1.2	1.4
정화방수확종료기~휴면각성기	9.4	0.9	2.8	6.6	2.8	1.4	1.4	1.4
휴면각성기~수확종료	6.7	0.7	2.0	4.7	2.0	1.0	1.0	1.0

イ. 水質を考慮した培養液の作製

基準培養液組成から原水中の養分及び重炭酸の中和に用いた硝酸やリン酸の肥料成分を差し引いた残りの成分量を肥料として与える。この場合、mg/l、ppm、mmol/l、me/lなどの単位が使われているので、単位を統一するための換算が必要であり、酸化物で量が示されている場合には単体の量に換算する必要がある。

例：李さんの原水には、NO₃ N ; 1.6、NH₄ N ; 0.4、K : 0.8、Ca : 10.7、Mg ; 7.6、SO₄ : 13.1、Cl : 15.0mg/lあり、リンは分析値はない。なお、mg/lとppmは換算の必要がない。

① 硫黄が酸化物で表されているので、これを単体に換算する。

$$13.1 \times (S \times 1 / (S \times 1 + O \times 4)) = 13.1 \times (32 \times 1 / (32 \times 1 + 16 \times 4)) = 13.1 \times 0.333 = 4.4$$

② 原水に含まれる対象となる成分と重炭酸の中和を硝酸とリン酸で等量ずつ行った先の例として、これから得られる硝酸態窒素とリンを加え、単位がmg/lで表されているので、これをme/l単体に換算する。

③ 基準組成を現在の生育ステージである頂花房収穫終了後～休眠明け期を用い、基準組成から原水及び中和酸由来の成分を差し引いた値が肥料として施用しなければならぬ値となる。

④ 施用成分組成を得られる肥料塩を選択して、その量を算出する。

第4表 原水及び中和酸由来成分の計算例

NO ₃ N	NH ₄ N	P	K	Ca	Mg	SO ₄ S	
1.6	0.4		0.8	10.7	7.6	4.4	mg/l 単位の 원수 농도
10.2		22.5					ppm 단위의 중탄산 중화산 유래
11.2	0.4	22.5	0.8	10.7	7.6	4.4	합
/14.0	/14.0	/10.3	/39.1	/20.0	/12.2	/10.0	환산계수(/는 나누기)
0.80	0.03	2.18	0.02	0.54	0.62	0.28	me/l 단위

ここで、全ての成分が過不足なく施用されることはなく、リンは過剰害が生じにくいこと、硫黄は過剰及び欠乏の障害が生じにくいことから、リンを多くしたり、硫黄に過不足を生じるようにする。

エ. 濃厚原液タンクに肥料塩を溶かす

通常は100 l程度の原液タンクに肥料塩を溶かし、1 t程度の混合タンクで原水と混合して給液する。そこで、どの程度の濃厚原液を作れるか検討する。表中の溶解度を施用量で割り算すると、硝酸カリウムが492で最小値となり、これが濃厚液倍率の限界となる。しかし、一つの原液タンクに全ての肥料塩を溶かすと、硝酸カルシウムのカルシウムと硫酸マグネシウムの硫酸が反応して硫酸カルシウムが生成され、この溶解度が2g/l、また、リン酸アンモニウムのリン酸と反応してリン酸カルシウムが生成され、この溶解度が18g/lで10倍程度の濃厚原液しか作れないことになる。

第5表 原水の水質を考慮した培養液作製の計算例

	NO ₃ N	NH ₄ N	P	K	Ca	Mg	SO ₄ S	시용량 (mg/ℓ)	용해도 (g/ℓ)
기준조성(a)	9.4	0.9	2.8	6.6	2.8	1.4	1.4		
원수및중화산유래성분(b)	0.80	0.03	2.18	0.02	0.54	0.62	0.28		
시용성분조성(a b c)	8.6	0.87	0.62	6.58	2.26	0.78	1.12		
질산칼륨(d) KNO ₃	6.34			6.34				640	315
질산칼슘(e) Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	2.26				2.26			267	1270
황산마그네슘(f) MgSO ₄ · 7H ₂ O						0.78	0.78	96	252
질산암모늄(g) NH ₄ NO ₃								0	655
인산암모늄(h) NH ₄ H ₂ PO ₄		0.87	2.61					99	365
인산칼륨(i) KH ₂ PO ₄			0.72	0.24				33	1590
계(d+e+f+g+h+i j)	8.6	0.87	3.33	6.58	2.26	0.78	0.78		
차(j c)	0.00	0.00	+2.71	0.00	0.00	0.00	0.34		

そこで、A、B二つ原液タンクを用意し、Aタンクにはカルシウム塩である硝酸カルシウムを、Bタンクには硫酸塩の硫酸マグネシウム及びリン酸塩のリン酸アンモニウム及びリン酸カリウムを溶解する。ここで問題となるのはBタンクの硫酸マグネシウムの硫酸とリン酸カリウムのカリウムが反応して硫酸カリウムが生成され、その溶解度が111g/lと低いことである。このままでは1650倍の濃厚原液が作れるが、残りの硝酸カリウムをBタンクに入れると、カリウムが多くなって190倍が限界となる。Aタンクに入れば490倍の濃厚原液が作れる。(實際の計算は割愛します。)

以上は理論的な考え方であるが、實際には使用する肥料塩は純粋ではなく不純物を多く含んでいるため、限界の倍率の1/2程度にする。硝酸カリウムをAタンクに入れば200倍、Bタンクに入れば100倍程度となる。

100倍の濃厚原液を作るには、表中の施用量を100倍した肥料塩をそれぞれのタンクに溶かすことになる。例えば、硝酸カルシウムは267mg/lであるから、その100倍は26.7g/lであり、タンクの容量が100ℓならば、さらに100倍して2.67kgを溶かせばよい。

實際の溶かし方は、① 原液タンクの6・7割に原水を入れる。② 別の小容器(バケツ)に原水を入れ、そこに1種類の肥料塩を入れて、攪拌しながら完全に溶かす。③ 小容器の溶解液を原液タンクに注入し、攪拌しながら完全に溶かす。④ 原水による肥料塩の溶解とそれを原液タンクに溶かす作業を各肥料塩毎に繰り返す。⑤ 原液タンクに原水を加えて規定容量にする。

ここで、小容器で完全に溶けない液を原液タンクに入れたり、原液タンクで良く攪拌しないで、次の溶液を入れたりすると、沈殿が生じて、期待した培養液組成が得られないし

肥料塩が無駄になる。

微量要素は培養液組成や濃度に無関係なく、一定濃度を施用しなければならないので、大容量の混合タンクがあるならば、ここに規定濃度になるよう直接溶かす。混合タンクが無い場合には、濃厚原液の倍率と同倍率になるようBタンクに溶かす（微量要素には硫酸マンガンが使われているので、Aタンクのカルシウムと混合しない方が良い）。また、微量要素を分けて、キレート鉄をAタンクに、他をBタンクに溶かしても良い。

オ. 栽培の観察と修正

- ① 原液タンクの溶液の減り具合を観察する。Bタンクを同倍率で作製してあれば、同量づつ減っていなければならない。目詰まりや原液供給ポンプの不具合による給液バランスの崩れは、期待した培養液組成が得られないことになる。
- ② 圃場への給液量と原液タンクの減り具合を観察する。100 l の原液タンクに100倍の原液を作製したとすれば、 $100\text{ l} \times 100 = 10000\text{ l} = 10\text{ t}$ の給液量が得られる。これが合っていないとすれば、原液と原水との希釈倍率が正しくなく、給液の濃度が期待したものとなっていないことになる。
- ③ イチゴの生育具合を観察し、養分の過不足が生じているかどうか判断し（この判断は極めて難しいが）、組成や濃度の修正を行う。

(2) 培養液組成のアンバランス

培養液組成のアンバランスやpHの異常には、生育ステージによって異なる養分吸収組成に対応した生育ステージによる養分吸収特性を考慮した培養液組成（第6表）を利用することで、培養液のアンバランスはほぼ解消可能である。

第6表 高設イチゴ栽培の生育ステージによる培養液組成(宇田川、1995)

生育단계	배양액 조성						농도 EC (dS/m)	중비성분
	NO ₃ N (me/l)	NH ₄ N (me/l)	P (me/l)	K (me/l)	Ca (me/l)	Mg (me/l)		
정식 ~ 정화방개화개시기	4.2	0.9	2.8	2.8	1.4	0.7	0.8	P, NH ₄ N
~ 정과방수확종료기	6.4	0.7	4.3	5.0	2.1	1.1	1.2	P, K
~ 수확종료기	5.4	0.6	1.6	3.8	1.6	0.8	0.8	K

それでも、カルシウムやマグネシウムが蓄積され、窒素、りん、カリウムの組成割合が減少する傾向があるので、それを補正する方法としてイオン濃度制御がある（第7表、第7図）。

(3) 有機酸の蓄積

培養液に蓄積する有機酸は、酢酸、プロピオン酸、蟻酸等である。有機酸の蓄積を防ぐに

は、活性炭を利用する。活性炭の添加量は容積比率0.3%が適当である。活性炭の代わりにモミガラ燻炭やヤシ殻等の多孔質物質を用いることで、ほぼ同等の効果が得られる。

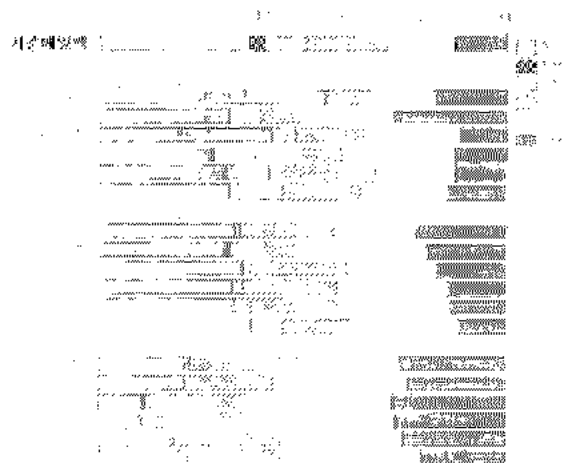
第7表 イオン濃度制御のための肥料塩施用量算出プログラム (宇田川、1996)

비료염	연산프로그램
질산칼륨 KNO ₃	IF(N>P,IF(K>N,IF(K>Ca,(K-Ca-P)×G,0),IF(K>P,(K-P)×G,(N-Ca)×G)),0)
질산칼슘 Ca(NO ₃) ₂ ·2H ₂ O	Ca×G
황산마그네슘 MgSO ₄ ·7H ₂ O	Mg×G
인산암모늄 NH ₄ H ₂ PO ₄	IF(N>P, IF(P>K, 0, P×G), IF(P>K, (P-K)×G, 0))
인산칼륨 KH ₂ PO ₄	IF(N>P, P×G), IF(P>K, K×G, P×G))
황산칼륨 K ₂ SO ₄	IF(K>(N+P), (K-N-P)×G, 0)
질산암모늄 NH ₄ NO ₃	IF(N>(K+Ca-P), (N+P-K-Ca)×G, 0)

注 式 IF (f , a , b) は f が 0 なら a を、 0 なら b を返す関数を表す。

G は各肥料塩の 1 当量当たりの g 数を表す。

N、P、K、Ca、Mg は各成分の不足量を正の当量値で表す。



第7図 培養液制御法を異にしたNFT栽培イチゴ「女峰」の培養液組成割合の推移 (宇田川、1996)

(4) 培養液の消毒法

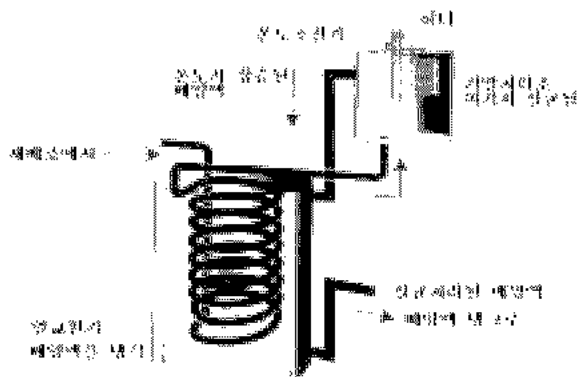
地下部病害の発生原因は、苗からの持ち込み、汚染土壌の飛散等が考えられる。高設栽培導入に先立ち、予めホルマリンに過マンガン酸カリウムを添加して土壌消毒をしてお

く。また、土壌の飛散防止のため、通路を含む床全面をフィルムで被覆し、土壌の露出を防ぐ。健全で無病な苗の育成に努め、本圃への病原菌の持ち込みを防ぐ。摘除した葉や果梗が速やかに圃場外に持ち出す。

培養液中の病原菌を殺菌または除菌するためには、① 加熱処理、② 紫外線照射処理、③ 濾過処理、④ オゾン処理、⑤ 低速砂濾過処理等がある。しかし、同一培養液系に有病株があると伝染が免れないし、培養液の一部を殺菌または除菌して、菌密度を低下させる方法では十分な疫病抑制効果が得られない。

ア. 加熱処理

95℃・30秒間の加熱処理でウイルスを含むほとんどの病原微生物が死滅する。細菌や糸状菌は55～60℃・5分間で死滅する。



第8図 培養液加熱殺菌処理装置の概要図（田中ら、1992を加筆）

イ. 紫外線照射処理

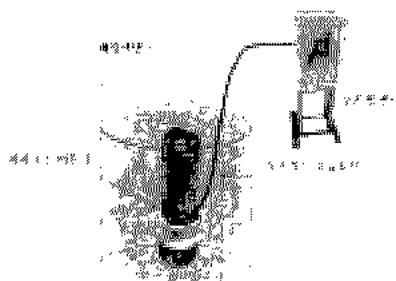
微生物に強い殺菌力のある253.7nmの紫外線を照射する。殺菌に必要な照射線量は、細菌には5,400lw・sec/㎡、ビシウム菌には66,000lw・sec/㎡、フザリウム菌には92,000lw・sec/㎡、フィトフィトラ菌には105,600lw・sec/㎡と対象病原菌によって異なる。紫外線は水中での透過率が極めて低く、また、塩類濃度が高いほど、濁っているほど透過率が低下する。なお、紫外線照射によってキレートが破壊されるため、培養液のpHが高い場合には鉄やマンガンが不溶化して吸収されにくくなる欠点がある。

ウ. 濾過処理

逆浸透膜法では、ウイルス、細菌、糸状菌等全ての病原菌を除去できる。しかし、肥料成分も除去されてしまうので実用的ではない。肥料成分を除去せずに病原菌のみ除去するには、カートリッジ濾過法で細菌、糸状菌が除去でき、限外濾過法でウイルスが除去できる。

エ. オゾン処理

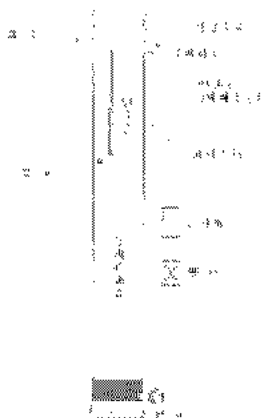
オゾンの強い酸化力で微生物を不活化するもので、オゾン発生装置でオゾンガスを発生させ、培養液に曝気する。0.8ppmのオゾン水で60分間処理することでピシウム菌の遊走子、5分間の処理でフザリウム菌の分生子が死滅する。細菌はさらに短時間処理で有効である。ただし、オゾン濃度が高いとイチゴに障害を起こすので、培養液中のオゾン濃度は0.8ppm以下、水中のそれは0.3ppm以下に管理するように供給するオゾンの濃度と量に注意が必要である。なお、オゾン処理によってキレートが破壊されるため、培養液のpHが高い場合には鉄やマンガンが不溶化して吸収されにくくなる欠点がある。



第9図 マイクロバブラー（野村電子工業）のオゾン処理による培養液殺菌装置の概要図（草刈、2002）

オ. 低速砂濾過処理

粒径0.15~0.35mmの細かい砂の層に0.1m/時のゆっくりとした流速で流して、微生物を除去するものである。高さ2.5m、直径6mのタンクを3つ連結したのがある。フィトフィトラ菌等の藻菌類の遊走子には有効であるが、細菌などの微生物に対しては必ずしも有効でない。



第10図 実験用低速砂濾過装置（WOHANKA, 1994）

5. イチゴ残さの利用

栽培後のイチゴ株は、単に堆積して置くだけでは寄生している病原菌が死滅する可能性が低く、次作の病害発生の原因ともなる。イチゴでは確認されていないが、トマトの単葉残さを酸素の供給がないようにポリエチレンフィルムで包み込み、20日間置くと、還元状態となって酪酸などが生成され、殺菌効果が得られる。飼料用のサイレージの活用である。このようにしたものを堆積して堆肥化すれば、イチゴも含めた多くの土耕栽培野菜の堆肥として利用できる。

エピローグ

本機会を与えてくださった韓環環境関係学会に深く感謝申し上げます。また、私を友人として出迎え、本シンポジウムに参加してくださった多くの皆様に感謝いたします。最後に、本資料を翻訳され、本講の通訳をしてくださった私の師と尊敬する李基明先生に深甚なる感謝を申し上げます。

딸기 고설재배에 있어서 배지·배양액의 환경부하 경감대책

일본 치바현농업총합연구소 연구실장
우다가와유지(宇田川 雄二) 박사

서 언

딸기의 고설재배는 NFT 등 배지를 전연 사용하지 않는 수기경재배와 락울, 필라이트, 왕겨, 피트모스 등 배지를 사용하는 고행배지경의 2종류로 대별된다. 일반적으로 수기경재배는 재배베드와 급액·집액탱크로 구성되며, 딸기 흡수량의 수십배의 배양액을 집액탱크로부터 재배베드로 펌핑하여, 잉여액은 집액탱크로 회수하는 순환이용을 하는 것이다. 이와는 달리 고행배지경은 재배베드와 급액탱크 또는 액비혼입기로 구성되며, 딸기의 흡수량보다 수십% 많은 급액을 하여 잉여액은 순환시키지 않고 재배베드로부터 직접 배출하는 것이다(그림 1).

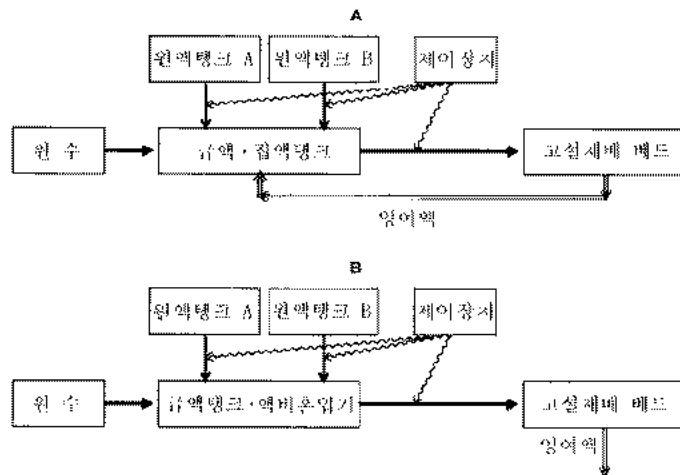


그림 1. 고설재배 딸기의 순환식(A) 및 비순환식(B)의 배양액 흐름도(宇田川)

최근 비순환식의 고행배지경에 있어서 잉여액을 재이용하여 권외로의 잉여액 배출량을 줄이는 방법이나 잉여액에 어떤 처리를 하여 권외로의 질산태 질소나 인의 배출량을 줄이는 대책이 도입되고 있다.

딸기에서는 토마토 등 다른 과채류에 비하여 급액의 배양액량이 적고, 농도도 낮은 특징이 있다. 따라서 처리되는 잉여액량이 적고, 성분농도가 낮기 때문에 처리방법이 쉽고 처리비용이 비교적 저가로 될 수 있는 특징이 있다.

1. 배지의 재이용

네덜란드나 벨기에에서는 사용한 락울은 회수하여 블록 제조용으로 재이용하고 있다. 일본에서는 일동방적(주)이 락울의 재생품화를 가능하게 하는 「광역적 산업폐기물 재

생이용 지정」을 취득하여 리사이클 이용의 길이 열렸지만, 회수방법, 비용부담, 자사제품 이외의 취급 등 미해결 부분이 많다. 현재 상황으로는 사용한 락올은 논에 이용하는 경우, 벼의 규산함유율이 증가하여 도복이 잘 안된다는 데이터가 있다. 또한 논토양에 분쇄 혼합하는 데는 락올 및 토양 모두 충분히 수분을 함유한 상태에서 로터리 경운을 할 필요가 있다. 그래서 락올의 사용량을 가능한 적게 하고 장기간 사용하는 것이 바람직하다.

따라서 토양에로의 환원이 쉬운 피트모스, 야자껍질, 왕경 등 유기질 배지의 이용이 증가되고 있다.

또한 크레이볼 등 토양소성 다공체, 펄라이트, 버미큘라이트 등 가열 소성한 자재는 락올과 같이 토양환원해도 원형을 언제까지나 유지한다는 것을 잊어버려서는 안 된다.

2. 배양액의 폐기량

딸기의 고설재배에 있어서 폐기되는 배양액량이나 질산태질소 및 인의 양을 표 1에 나타냈다. 추정치는 필자가 제안한 배양액 조성, 농도, 급액량으로 추정된 경우의 값이며, 실측치는 실제 재배포장에 있어서 값이다.

비순환식의 실측치가 추정치보다 폐기 배양액량이 적은 것은 실제 재배에서는 일사 비례제어에 의하여 흐린날 비오는 날에는 급액량을 줄이기 때문이다. 또한 폐기 성분량이 적은 것은 실제 재배에서는 원수의 EC값이 0.23 dS/m이기 때문에, 기준농도로 하여도 급액 배양액의 질소나 인의 농도가 낮은 것과 잉여액의 질소나 인의 농도가 급액의 질소나 인의 농도보다 낮아지기 때문이다.

순환식에서는 배양액의 교환 시에 비료성분이 폐기된다. 토마토 등 과채류의 수경재배에서는 재배 종료시에만 배양액을 폐기하여 이것에 의한 비료성분이 권외로 배출되기 때문에 이 폐기량은 비순환식의 수경재배에 비하여 1/7~1/10정도로 된다. 따라서 비순환식을 순환식으로 바꾸는 것만으로 환경에 대한 부하를 경감할 수가 있는 것이다.

딸기의 고설재배에서도 재배도중에 배양액 교환을 하지 않는 경우에는 재배 종료시에 폐기하는 배양액량은 탱크용량+재배베드에 잔류되어 있는 액량으로 되어 추정치보다 많아지지만 재배 종료 시에는 원수만을 급액하여 딸기 식물체에 양분을 흡수시켜 버리기 때문에 질소 및 인의 농도는 10ppm정도로 저하한다. 그래서 폐기 성분량은 극히 적어진다.

표 1 고설 딸기재배에 있어서 급액방식에 따른 폐기 배양액량 및 성분량 (宇田川)

급액방식	배양액교환	추정치			실측치		
		폐기 배양액량	폐기 성분량		폐기 배양액량	폐기 성분량	
		(m ³ /10a/y)	NO ₃ -N (kg/10a/y)	P ₂ O ₅ -P (kg/10a/y)	(m ³ /10a/y)	NO ₃ -N (kg/10a/y)	P ₂ O ₅ -P (kg/10a/y)
비순환식		86.6	7.39	2.30	57.1	2.97	0.88
순환식	없음	5.0	0.38	0.08	6.1	0.06	0.03
	매월1회	45.0	3.82	1.26	36.0	1.83	0.40

그러나 딸기는 뿌리의 흡수력이 배양액의 침투압에 민감하게 반응하기 때문에 배양액을 낮은 농도로 관리하지 않으면 안 된다. 또한 배양액을 EC제어만으로 순환이용하면 칼슘이나 마그네슘이 잔류하고, 질소, 인, 칼륨이 감소하여 배양액 조성이 흐트러져 충분한 질소흡수가 되지 않게 된다. 특히 딸기는 질소농도에 민감하게 반응하기 때문에 거의 1개월에 1회의 배양액 교환을 하여 배양액 조성을 유지하는 것이 필요하게 된다. 표준적으로는 10a당 5m³의 탱크를 설치하기 때문에, 1회에 약 5m³의 배양액을 폐기하는 것이 된다. 재배기간 중에 8회의 배양액 교환과 재배 종료시의 배양액 폐기가 필요하기 때문에 추정 폐기 배양액량과 성분량은 비순환식의 약 반이 된다.

그러나 실추치에서는 재배 도중에 1개월 간격으로 배양액을 교환하는 경우에는 집액 탱크 내의 배양액만을 폐기하기 때문에, 폐기 배양액은 추정치보다 적어진다. 또한 질소 및 인 모두 1개월간의 순환이용에 의해서 기준농도보다 낮아지며, 폐기 성분량은 추정치보다 적어진다.

3. 비순환식 고설재배에 있어서 잉여액 처리

잉여액의 처리에는 어떤 처리를 하더라도 잉여액을 회수하기 위한 장치가 필요하다. 이 비용을 부담하더라도 수량의 증가가 기대된다고는 단정할 수 없기 때문에, 생산자에 대한 정착을 기대하기에는 많은 어려움이 있다고 생각된다. 그러나 잉여액을 회수함으로써 시설내 습도가 저하하여 딸기의 최대 병해인 회색곰팡이병의 발생을 방지하거나 과실의 연화가 억제되는 등 품질이 향상하는 등 이점이 있다.

(1) 탈질균 이용에 의한 정화

2개의 공정으로 구성되며, 제1공정에서는 탈질균을 정착시킨 논토양에 잉여 배양액을 혼합하여 환원상태로 함으로써 질산태질소를 질산가스로서 날려 보내는 것이다. 제2공정은 굴껍질층을 통과시켜 굴껍질질의 칼슘과 잉여 배양액 중의 인을 결합시켜 인을 제거한다(그림 2). 탈질균의 활동은 온도에 의존하기 때문에 15℃이하의 온도에서는 효과가 떨어진다.

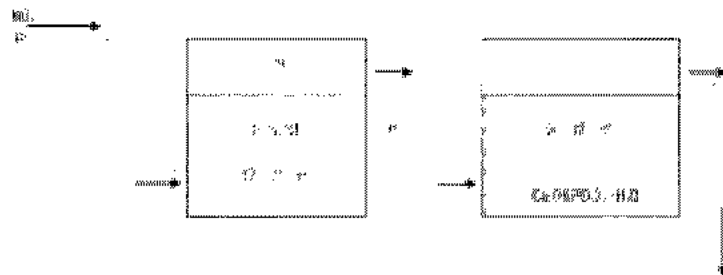


그림 2. 탈질균 및 굴껍질층을 이용한 질산태질소와 인의 제거

(2) 유황산화 탈질세균 이용에 의한 정화

유황 칼슘계 기질로 유황산화 세균을 정착시킨 재료에 잉여액을 통과시킨다. 유황산화 세균의 활동으로 질산태질소가 환원되어 질소가스로 되어 날아간다. 이 때에 황산이온이 생성되지만 기질 중의 칼슘과 결합하여 석고(황산칼슘)를 생성한다(그림 3). 단지 잉여액의 질산태질소 농도가 현저히 저하한 경우, 또는 유량이 저하한 경우에 황화수소가 발생하는 경우가 있으며, 인의 정화는 되지 않는다. 또한 유황산화 세균의 활동도 온도에 의존하기 때문에 15℃이하의 온도에서는 효과가 떨어진다.

(3) 미나리 등의 식물이용에 의한 정화

미나리, 물냉이(cresson) 등 수성식물을 심은 수조에 잉여액을 통과시켜 해당 식물에 잉여액 중의 비료성분을 흡수시키는 것이다(그림 4). 딸기의 재배는 늦여름부터 겨울을 넘겨 초여름까지 되기 때문에 효과를 확실히 하기 위해서는 보온 등 해당 식물의 생육 환경을 정비할 필요가 있다.

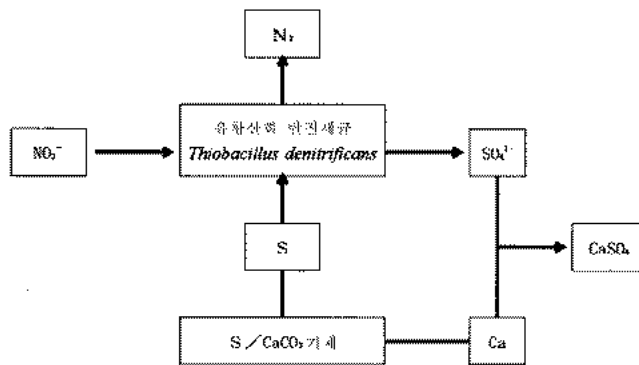


그림 3. 유황산화 탈질세균을 이용한 질산태질소의 탈질

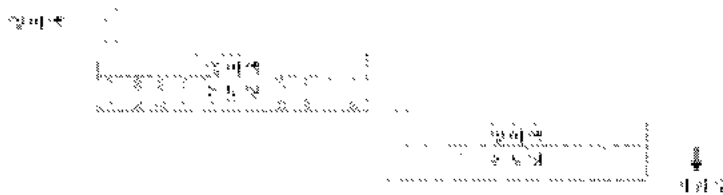


그림 4. 미나리 등의 식물을 이용한 잉여액의 정화 개요도

(4) 관비(양액토경)재배 등에 이용

고설재배의 잉여액을 관비재배나 토경재배의 액비로서 이용하는 것이다. 그러나 고설재배의 잉여액은 소량씩 배액시키기 때문에 잉여액을 어느 정도 집액하는 탱크를 설치할 필요가 있으며, 또한 관비재배나 토경재배가 인접된 시설에 있지 않는 경우에는 모

은 잉여액을 운반해야하는 어려움이 있다.

(5) 잉여액의 재 급액

비순환식의 급액방법을 채용하면서 잉여액을 모아두고 신규 배양액의 공급을 하면서, 수회에 1회의 비율로 신규배양액 대신에 모아둔 잉여액을 공급하는 것이다. 잉여액의 집액탱크에는 수위센서를 설치하여 1회의 급액에 필요한 양이 집액되면 다음 급액 시에 신규배양액의 급액펌프를 작동시키지 않고 집액탱크에 설치된 펌프를 작동시키는 제어장치가 필요하다(그림 5).

이 결과 잉여액을 공급하는 경우에는 그렇지 않는 경우에 비하여 수량이 15%정도 저하했다. 이것은 잉여액의 질소, 인, 칼륨의 조성비가 저하한 것이 원인이라고 생각된다. 그래서 잉여액에 거의 정량의 질산칼륨이나 인산칼륨을 추가 보급하는 등 대책이 필요하다.

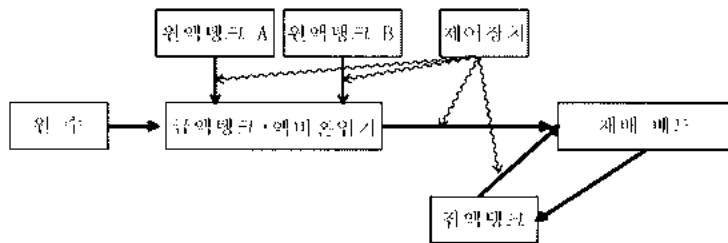


그림 5. 잉여액의 재이용 계통도

또한 재배배드를 2중 구조로 하여 잉여액을 하단의 수조에 저류하여 두고 모세관 현상에 의하여 1단의 배지에 공급하는 것이 있다(그림 6).

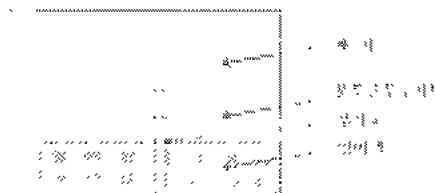


그림 6. 잉여액 저류 시스템 개요도

4. 순환식 고설재배에 있어서 배양액 관리

순환식 딸기 고설재배에서는 다음과 같은 원인으로 인하여 배양액의 교환이 필요하게 된다.

- ① 원수에 기인하는 불필요한 성분이 배양액에 축적된다.
- ② 배양액 조성과 딸기의 양분흡수 조성과의 불일치로 인해서 성분조성이 깨지고, pH

도 정상이 아니게 된다.

③ 뿌리의 노폐물이나 분비물에 의하여 배양액 중에 유기산이 축적된다.

④ 지하부 병해가 발생한다.

(1) 원수의 불필요한 성분의 축적

원수의 불필요한 성분의 축적을 없애기 위해서는 빗물의 이용, 역침투막 처리 등에 의해서 양질의 원수를 얻은 사례가 있다.

빗물을 이용하는 데는 재배기간인 9월~5월에 1일 10mm이상의 강우가 주 1회, 월간 우량이 100mm를 넘으면 가능하다. 딸기의 흡수증발산량은 1일 2~3t 이기 때문에 월 합계 60~90t을 공급한다. 저류 탱크는 10일분 30t 정도의 용량을 확보한다.

그러나 현실로는 지하수나 하천수, 수돗물 등을 이용하는 예가 많다. 이들 원수의 불필요한 성분이 배양액에 축적되는 주성분은 나트륨, 마그네슘, 또한 필수 미량요소인 철이나 망간도 침전물로 되어 문제가 된다. 이들 미량요소에 대해서는 단비(單肥)를 사용하여 원수의 성분조성을 고려한 배양액을 만든다.

그래서 불필요한 성분의 축적을 가능한 한 적게 하는 원수의 성분조성을 고려한 배양액의 조제 방법을 산청 단계지역의 딸기 생산자의 사례로 순서를 따라 기술한다.

a. 원수의 수질

산청 단계지역에서 이용하고 있는 원수의 수질은 한마디로 나트륨과 중탄산이 많고 EC는 0.5dS/m 전후로 딸기 재배에는 적합하지 않다. 그러나 이것이 딸기의 맛을 좋게 하여 시장 단가를 높게 하는 것도 빼 놓을 수 없는 것이다.

순서는 ① 중탄산을 질산 또는 인산으로 중화한다. ② 기준이 되는 배양액 조성과 농도를 결정한다. ③ 원수로부터 공급되는 질소, 인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘을 감안하여 비료염을 첨가하는 양을 계산한다. ④ 농후 원액탱크에 비료염을 녹인다. ⑤ 재배시의 관찰로 배양액 조성, 나아가서는 첨가하는 비료염의 양을 수정한다.

단, 나트륨이 80ppm이상인 원수에서는 칼륨 결핍증이 발생한다. 이 나트륨은 비료염으로 조정하는 것은 불가능하므로, 칼륨을 기준보다 많게 하든가(그러나 칼슘 결핍증이 발생하기 쉬워진다), 어느 정도 칼륨 결핍증의 발생은 무시한다.

b. 중탄산의 중화

중탄산은 염기성분에 대한 이온으로서 존재하며, pH의 변화를 억제하는 완충작용이 있다. 중탄산을 다량 함유하면 산을 첨가하더라도 그 액의 pH를 저하시키는 데는 다량의 산이 필요하게 되어, pH 조절이 힘들게 된다. 한편, 중탄산이 적으면 얼마 안 되는 이온조성의 변화에 의해서 액의 pH는 극단적으로 변화하여 안정된 pH 관리가 아주 곤란하게 된다. 일반적으로, 중탄산 농도는 30~50ppm이 적합하다. 50ppm 이상의 원수에서는 미리 중탄산을 중화하기 위해서 질산 또는 인산을 첨가한다.

예 : 산청 단계지역 이병우씨의 중탄산 농도는 138.6ppm 임으로, 이것을 50ppm까지 저하시키는데 필요한 중탄산을 계산한다.

$138.6 \times 50 = 88.6(\text{ppm}) \dots \dots$ 중화하는 중탄산 농도
 $1\text{t}(1,000 \ell)$ 의 원수를 61.0%의 질산 및 75%의 인산으로 같은 량씩 중탄산을 소비시키
 키는 데는 표 2로부터
 $(88.6/2)/810 \times 1000 = 54.7(\text{ml}) \dots \dots$ 원수 1t당 첨가하는 61%의 질산량
 $(88.6/2)/738 \times 1000 = 60.0(\text{ml}) \dots \dots$ 원수 1t당 첨가하는 75%의 인산량
 첨가한 질산 및 인산으로부터 공급되는 비료성분은 표 2로부터
 $54.7/1000 \times 186.3 = 10.2(\text{ppm}) \dots \dots$ 비료염으로 공급할 필요없는 질산태질소 농도
 $60.0/1000 \times 374.5 = 22.5(\text{ppm}) \dots \dots$ 비료염으로 공급할 필요없는 인 농도

표 2. 산의 종류와 중탄산 소비량(藤原 등, 1997)

	농도 (%)	중탄산(HCO ₃)농도 저하량 (ppm)	비료성분 (ppm)
질산 (HNO ₃)	61.0	810	186.3
	65.0	876	200.2
	67.5	916	210.0
	70.0	958	218.6
인산 (H ₂ PO ₄)	37.0	282	143.9
	75.0	738	374.5
	85.0	892	454.6
	90.0	978	497.0

c. 딸기의 기준 배양액조성과 농도

표 3. 생육단계별 배양액조성과 농도의 기준(宇田川, 2004)

생육단계	NO ₃ N (me/ℓ)	NH ₄ N (me/ℓ)	P (me/ℓ)	K (me/ℓ)	Ca (me/ℓ)	Mg (me/ℓ)	SO ₄ S (me/ℓ)	EC (mS/m)
정식~1주간	3.2	0.7	2.1	2.1	1.1	0.5	0.5	0.6
정식1주간~보온개시기	4.3	0.9	2.8	2.8	1.4	0.7	0.7	0.8
보온개시기~개화시작기	5.3	1.2	3.6	3.6	1.8	0.9	0.9	1.0
개화시작기~수확시작기	6.4	0.7	4.3	5.0	2.1	1.1	1.1	1.2
수확시작기~정화방수확종료기	7.5	0.8	5.0	5.8	2.5	1.2	1.2	1.4
정화방수확종료기~휴면각성기	9.4	0.9	2.8	6.6	2.8	1.4	1.4	1.4
휴면각성기~수확종료	6.7	0.7	2.0	4.7	2.0	1.0	1.0	1.0

기준이 되는 배양액조성은 딸기의 생육단계에 따른 흡수특성을 고려한 추비용 배양액조성을 사용하여, 농도는 딸기의 기준 배지내 배양액 농도를 사용하여 딸기의 생육단계마다 표 3의 조성 및 농도로 된다.

d. 수질을 고려한 배양액 조제

기준 배양액 조성으로부터 원수 중의 양분 및 중탄산의 중화에 사용한 질산이나 인산의 비료성분을 뺀 나머지의 성분량을 비료로 준다. 이 경우, mg/l, ppm, mmol/l, me/l 등의 단위가 사용되기 때문에, 단위를 통일하기 위한 환산이 필요하며, 산화물로 양이 표시되어 있는 경우에는 단체의 양으로 환산할 필요가 있다.

예 : 산청 단계지역 이병우씨의 원수에는, NO₃ N:1.6, NH₄ N:0.4, K:0.8, Ca:10.7, Mg:7.6, SO₄:13.1, Cl:15.0mg/l 있고, 인은 분석 값이 없다. 또한, mg/l 와 ppm은 환산할 필요가 없다.

① 유허이 산화물로 나타나 있으므로, 이것을 단체로 환산한다.

$$13.1 \times (S \times I / (S \times I + O \times 4)) \quad 13.1 \times (32 \times 1 / (32 \times 1 + 16 \times 4)) \quad 13.1 \times 0.333 \quad 4.4$$

② 원수에 포함되는 대상이 되는 성분과 중탄산의 중화를 질산과 인산으로 같은 양씩 행한 앞의 예로서, 지금부터 얻을 수 있는 질산태질소와 인을 더하여, 단위가 mg/l 로 나타나 있기 때문에, 이것을 me/l 단위로 환산한다.

표 4. 원수 및 중화산 유래 성분의 계산 예

NO ₃ N	NH ₄ N	P	K	Ca	Mg	SO ₄ S	
1.6	0.4		0.8	10.7	7.6	4.4	mg/l 단위의 원수 농도
10.2		22.5					ppm단위의 중탄산 중화산 유래
11.2	0.4	22.5	0.8	10.7	7.6	4.4	합
/14.0	/14.0	/10.3	/39.1	/20.0	/12.2	/10.0	환산계수(/는 나누기)
0.80	0.03	2.18	0.02	0.54	0.62	0.28	me/l 단위

③ 기준 조성을 현재의 생육단계인 정화방수확종료후~휴면각성기를 사용하여, 기준 조성으로부터 원수 및 중화산 유래의 성분을 뺀 값이 비료로서 시용해야 할 값이다.

④ 시용 성분조성을 얻을 수 있는 비료염을 선택하여, 그 양을 산출한다.

여기서, 모든 성분이 과부족 없이 시용되는 일은 없고, 인은 과잉장해가 생기기 어려운 점, 유허은 과잉 및 결핍 장해가 생기기 어려운 점에서, 인을 많게 하거나, 유허에 과부족이 나타나도록 한다.

표 5. 원수의 수질을 고려한 배양액 조제의 계산 예

	NO ₃ N	NH ₄ N	P	K	Ca	Mg	SO ₄ S	시용량	용해도
기준조성(a)	9.4	0.9	2.8	6.6	2.8	1.4	1.4	(mg/ℓ)	(g/ℓ)
원수및중화산유래성분(b)	0.80	0.03	2.18	0.02	0.54	0.62	0.28		
시용성분조성(a b c)	8.6	0.87	0.62	6.58	2.26	0.78	1.12		
질산칼륨(d) KNO ₃	6.34			6.34				640	315
질산칼슘(e) Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	2.26				2.26			267	1270
황산마그네슘(f) MgSO ₄ · 7H ₂ O						0.78	0.78	96	252
질산암모늄(g) NH ₄ NO ₃								0	655
인산암모늄(h) NH ₄ H ₂ PO ₄		0.87	2.61					99	365
인산칼륨(i) KH ₂ PO ₄			0.72	0.24				33	1590
계(d+e+f+g+h+i j)	8.6	0.87	3.33	6.58	2.26	0.78	0.78		
차(j c)	0.00	0.00	+2.71	0.00	0.00	0.00	0.34		

e. 농후 원액탱크에 비료염을 녹인다

일반적으로는 100ℓ 정도의 원액탱크에 비료염을 녹여서, 1t정도의 혼합탱크에 원수와 혼합해서 급액한다. 여기서, 어느 정도의 농후원액을 만들 것인가를 검토한다. 표중의 용해도를 시용량으로 나누면, 질산칼륨이 492로 최소값이 되고, 이것이 농후액 배율의 한계가 된다. 그러나, 하나의 원액탱크에 모든 비료염을 녹이면, 질산칼륨의 칼슘과 황산마그네슘의 황산이 반응해서 황산칼슘이 생성되며, 이 용해도가 2g/ℓ, 또한, 인산암모늄의 인산과 반응해서 인산칼슘이 생성되며, 이 용해도가 18g/ℓ로 10배정도의 농후원액밖에 만들 수 없게 된다.

여기서, A, B 두개의 원액탱크를 준비하고, A탱크에는 칼슘염인 질산칼륨을, B탱크에는 황산염인 황산마그네슘 및 인산염인 인산암모늄 및 인산칼륨을 용해한다. 여기서 문제가 되는 것은 B탱크의 황산마그네슘의 황산과 인산칼륨의 칼륨이 반응해서 황산칼륨이 생성되어, 그 용해도가 111g/ℓ로 낮은 것이다. 이대로는 1650배의 농후원액을 만들 수 있지만, 나머지 질산칼륨을 B탱크에 넣으면, 칼륨이 많아져서 190배가 한계가 된다. A탱크에 넣으면 490배의 농후원액을 만들 수 있다. (실제의 계산은 생략한다)

이상은 이론적인 것이지만, 실제로는 사용하는 비료염은 순수하지 않고 불순물을 많이 포함하고 있기 때문에 한계 배율의 1/2정도로 한다. 질산칼륨을 A탱크에 넣으면 200배, B탱크에 넣으면 100배정도가 된다.

100배의 농후원액을 만드는 데는, 표중의 시용량을 100배로 한 비료염을 각각의 탱크에 녹이는 것이 된다. 예를 들면, 질산칼륨은 267mg/ℓ이기 때문에, 그 100배는 26.7g/ℓ이며, 탱크 용량이 100ℓ이면, 다시 100배로 해서 2.67kg을 녹이면 된다.

실제 녹이는 방법은 ① 원액탱크에 60~70%의 원수를 넣는다. ② 별도의 작은 용기

(버킷)에 온수를 넣고, 여기에 1종류의 비료염을 넣고, 교반하면서 완전히 녹인다. ③ 작은 용기의 용해액을 원액탱크에 주입하고, 교반하면서 완전히 녹인다. ④ 온수에 의한 비료염의 용해와 이것을 원액탱크에 녹이는 작업을 각 비료염마다 되풀이한다. ⑤ 원액탱크에 원수를 첨가해서 규정용량으로 한다.

여기서, 작은 용기에서 완전히 녹지 않는 액을 원액탱크에 넣거나, 원액탱크에 잘 교반하지 않고, 다음 용액을 넣거나 하면, 침전이 생기고 기대한 배양액 조성을 얻을 수 없고 비료염은 소용없게 된다.

미량요소는 배양액 조성이나 농도에 관계없이, 일정 농도를 시용하지 않으면 안 되므로 대용량의 혼합탱크가 있으면, 여기에 규정농도가 되도록 직접 녹인다. 혼합탱크가 없을 경우에는 농후원액의 배율과 같은 배율이 되도록 B탱크에 녹인다(미량요소에는 황산망간이 사용되기 때문에, A탱크의 칼슘과 혼합하지 않는 것이 좋다). 또한, 미량요소를 나누어 킬레이트 철을 A탱크에, 기타를 B탱크에 녹여도 좋다.

f. 재배의 관찰과 수정

① 원액탱크 용액의 감소 상태를 관찰한다. 양쪽 탱크를 같은 배율로 조제해 두면, 같은 양씩 감소하지 않으면 안 된다. 막힘이나 원액 공급펌프의 문제로 급액 밸런스가 붕괴되어 기대한 배양액 조성을 얻을 수 없게 된다.

② 포장에로의 급액량과 원액탱크의 감소 상태를 관찰한다. 100ℓ의 원액탱크에 100배의 원액을 조제했다고 하면, 100ℓ×100 10000ℓ 10t의 급액량이 얻어진다. 이것이 맞지 않으면, 원액과 원수와의 희석배율이 정확하지 않으며, 급액의 농도가 기대한 것으로 되지 않았다는 것이다.

③ 딸기의 생육 상태를 관찰하여, 양분의 과부족이 발생했는지 아닌지를 판단하여(이 판단은 아주 어렵지만), 조성이나 농도의 수정을 한다.

(2) 배양액 조성의 언밸런스

배양액 조성의 언밸런스나 pH의 이상에는 생육단계에 따라 다른 양분흡수 조성에 대응한 생육단계에 따른 양분흡수 특성을 고려한 배양액 조성(표 6)을 이용함으로써 배양액의 언밸런스는 거의 해소 가능하다.

표 6. 고설 딸기재배의 생육단계에 따른 배양액 조성(宇田川, 1995)

생육단계	배양액 조성						농도 EC (dS/m)	중비성분
	NO ₃ N (me/l)	NH ₄ N (me/l)	P (me/l)	K (me/l)	Ca (me/l)	Mg (me/l)		
정식 ~ 정화방개화개시기	4.2	0.9	2.8	2.8	1.4	0.7	0.8	P, NH ₄ N
~ 정과방수확종료기	6.4	0.7	4.3	5.0	2.1	1.1	1.2	P, K
~ 수확종료기	5.4	0.6	1.6	3.8	1.6	0.8	0.8	K

그래도 칼슘이나 마그네슘이 축적되어 질소, 인, 칼륨의 조성비가 감소하는 경향이 있기 때문에, 이것을 보정하는 방법으로서 **이온농도제어**가 있다(표 7, 그림 7).

표 7. 이온농도제어를 위한 비료염 시용량 산출 프로그램(宇田川, 1996)

비료염	연산프로그램
질산칼륨 KNO_3	$\text{IF}(N>P, \text{IF}(K>N, \text{IF}(K>Ca, (K-Ca-P) \times G, 0), \text{IF}(K>P, (K-P) \times G, (N-Ca) \times G)), 0)$
질산칼슘 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca} \times G$
황산마그네슘 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$\text{Mg} \times G$
인산암모늄 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	$\text{IF}(N>P, \text{IF}(P>K, 0, P \times G), \text{IF}(P>K, (P-K) \times G, 0))$
인산칼륨 KH_2PO_4	$\text{IF}(N>P, P \times G), \text{IF}(P>K, K \times G, P \times G)$
황산칼륨 K_2SO_4	$\text{IF}(K>(N+P), (K-N-P) \times G, 0)$
질산암모늄 NH_4NO_3	$\text{IF}(N>(K+Ca-P), (N+P-K-Ca) \times G, 0)$

주) 식 $\text{IF}(f, a, b)$ 는 f 가 참이라면 a 를, 거짓이라면 b 를 나타낸다.
 G 는 각 비료염의 1당량당의 g 수를 나타낸다.
 N, P, K, Ca, Mg 는 각 성분의 부족량을 정의 당량 값으로 나타낸다.

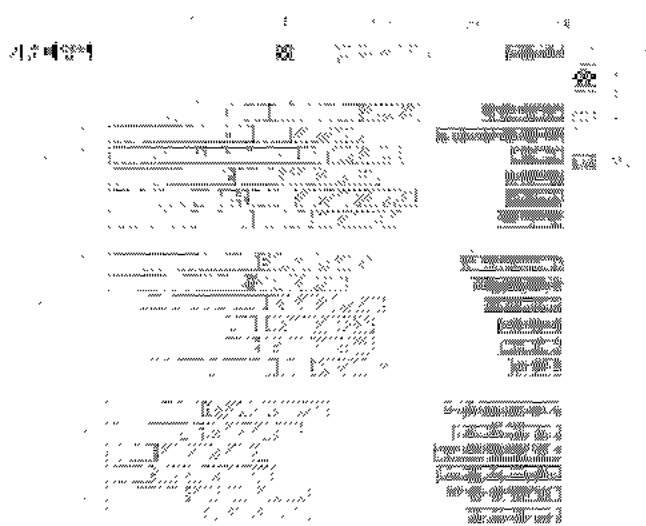


그림 7. 배양액 제어법을 다르게 한 NFT재배 딸기 「여봉」의 배양액조성 비율의 추이(宇田川, 1996)

(3) 유기산의 축적

배양액에 축적하는 유기산은 초산, 프로피온산, 개미산 등이 있다. 유기산의 축적을 방지하는 데는 활성탄을 이용한다. 활성탄의 첨가량은 용적비율 0.3%가 적당하다. 활성탄 대신에 왕겨훈탄이나 아자껍질 등 다공질 물질을 사용하여도 거의 같은 효과가 얻어진다.

(4) 배양액의 소독법

지하부 병해의 발생원인은 모종(苗)으로부터 가지고 들어와 오염토양의 비산 등이 생각된다. 고설재배 도입에 먼저 포르마린에 과망간산칼륨을 첨가하여 토양소독을 하여 준다. 또한 토양의 비산방지를 위하여 통로를 포함하여 상(床) 전면을 필름으로 피복하여 토양의 노출을 막는다. 적제한 잎이나 과경을 빨리 포장 외로 내보낸다.

배양액 중의 병원균을 살균 또는 제균하기 위해서는 ① 가열처리, ② 자외선 조사처리, ③ 여과처리, ④ 오존처리, ⑤ 저속모래여과처리 등이 있다. 그러나 동일 배양액 시스템에 발병주가 있으며 전염을 피할 수 없으며, 배양액의 일부를 살균 또는 제균하여 균 밀도를 저하시키는 방법으로는 충분한 발병 억제효과를 얻을 수 없다.

a. 가열처리

95℃·30초간의 가열처리로 바이러스를 포함함 대부분의 병원 미생물이 사멸한다. 세균이나 사상균은 55~60℃·5분간에 사멸한다.

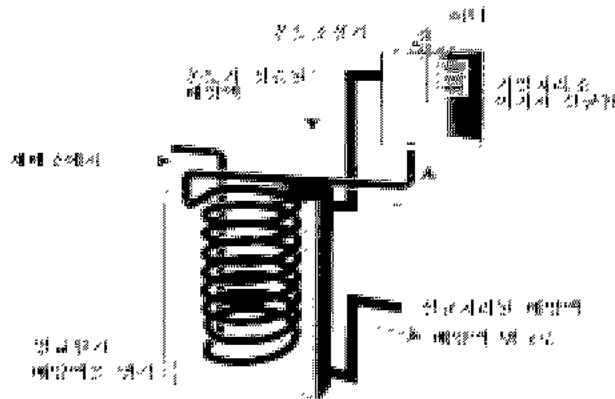


그림 8. 배양액 가열살균처리 장치의 개요도(田中 등, 1992를 가필)

b. 자외선 조사처리

미생물에 강한 살균력이 있는 253.7nm의 자외선을 조사한다. 살균에 필요한 조사선량은 세균에는 5,400 $\mu\text{W}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$, 피속균에는 66,000 $\mu\text{W}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$, 프자리움(*Fusarium*)균에는 92,000 $\mu\text{W}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$, 역병(*Phytophthora*)균에는 105,600 $\mu\text{W}\cdot\text{sec}/\text{cm}^2$ 로 대상 병원균에 따라 다르다.

자외선은 수중에서 투과율이 아주 낮으며, 또한 염류농도가 높을수록, 탁할수록 투과율이 저하한다. 또한 자외선 조사에 의하여 킬레이트가 파괴되기 때문에, 배양액의 pH가 높은 경우에는 철이나 망간이 불용화 하여 흡수하기 어렵게 되는 결점이 있다.

c. 여과처리

역침투막법으로는 바이러스, 세균, 사상균 등 모든 병원균을 제거할 수 있다. 그러나 비료성분도 제거되어 버리기 때문에 실용적인 것은 아니다. 비료성분을 제거하지 않고 병원균만을 제거하는 데는 카트리지 여과법으로 세균, 사상균이 제거되며, 한외(限外)여과법으로 바이러스가 제거된다.

d. 오존처리

오존의 강한 산화력으로 미생물을 불활화하기 때문에 오존 발생장치로 오존가스를 발생시켜 배양액에 폭기한다. 0.8ppm의 오존수로 60분간 처리함으로써 피습균의 유주자(遊走子), 5분간 처리로 프자리움균의 분생자(分生子)가 사멸된다. 세균은 한층 더 단시간 처리로 유효하다. 단지, 오존 농도가 높으면 딸기에 장애를 일으키기 때문에 배양액 중의 오존농도는 0.8ppm이하, 공기중의 오존농도는 0.3ppm이하로 관리하도록 공급하는 오존의 농도와 량에 주의가 필요하다. 또한 오존처리에 의해서 킬레이트가 파괴되기 때문에 배양액의 pH가 높은 경우에는 철이나 망간이 불용화 하여 흡수하기 어렵게 되는 결점이 있다.

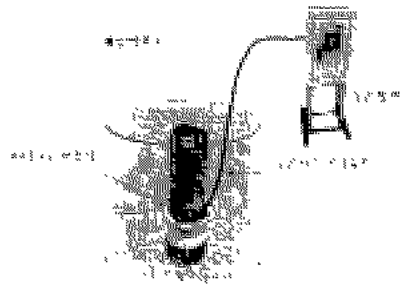


그림 9. 마이크로 버블러(野村電子工業)의 오존처리에 의한 배양액 살균장치의 개요도(草刈, 2002)

e. 저속모래여과처리

입경 0.15~0.35mm의 가는 모래층에 0.1m/h의 느린 유속으로 배양액을 통과시켜 미생물을 제거하는 것이다. 높이 2.5m, 직경 6m의 탱크를 3개 연결한 것이 있다. 역병균 등의 란균(卵菌)류의 유주자에는 유효하지만 세균 등의 미생물에 대하여는 반드시 유효하다고 할 수 없다.

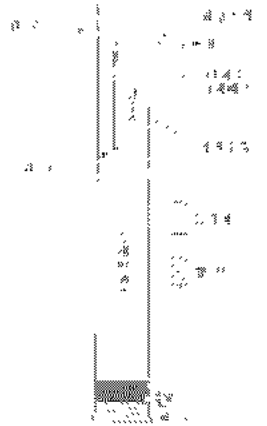


그림 10. 실험용 저속모래여과장치(WOHANKA, 1994)

5. 딸기 잔여물 이용

재배 후의 딸기포기는 단순히 쌓아두는 것만으로는 기생하고 있는 병원균이 사멸될 가능성이 낮으며, 다음 작기의 병해 발생의 원인으로도 된다. 딸기에서는 확인하지 않았지만 토마토의 경엽 잔여물을 산소의 공급이 없도록 폴리에틸렌필름으로 밀봉하여 20일간 두면 환원상태로 되어 낙산(酪酸) 등이 생성되어 살균효과가 있다. 사료용의 사일리지의 활용이다. 이렇게 한 것을 퇴적하여 비료화 하면 딸기를 포함한 많은 토경재배 채소의 퇴비로 이용될 수 있다.

결 언

이번 강연 기회를 주신 한국생물환경조절학회와 한국시설원예연구회에 깊은 감사를 드립니다. 또한 저를 친구로서 맞아주시고 심포지엄에 참가하여 주신 여러분께 감사드립니다. 마지막으로 이 자료를 번역하여 강연에 통역을 하여 주신 존경하는 이기명 교수님께 깊은 감사를 드립니다.