平成27年度次世代施設園芸導入加速化支援事業（全国推進事業）に係る研修事業

大阪府立大学
植物工場研究センター
【栽培技術者育成支援研修2015】
研修資料

一般社団法人日本施設園芸協会

講 師：大阪府立大学 生命環境科学研究科 講師 和田光生
研修名：養液栽培理論Ⅰ
（養液栽培のシステム，播種育苗，必須元素と培養液培養液の基礎知識）

養液栽培理論I

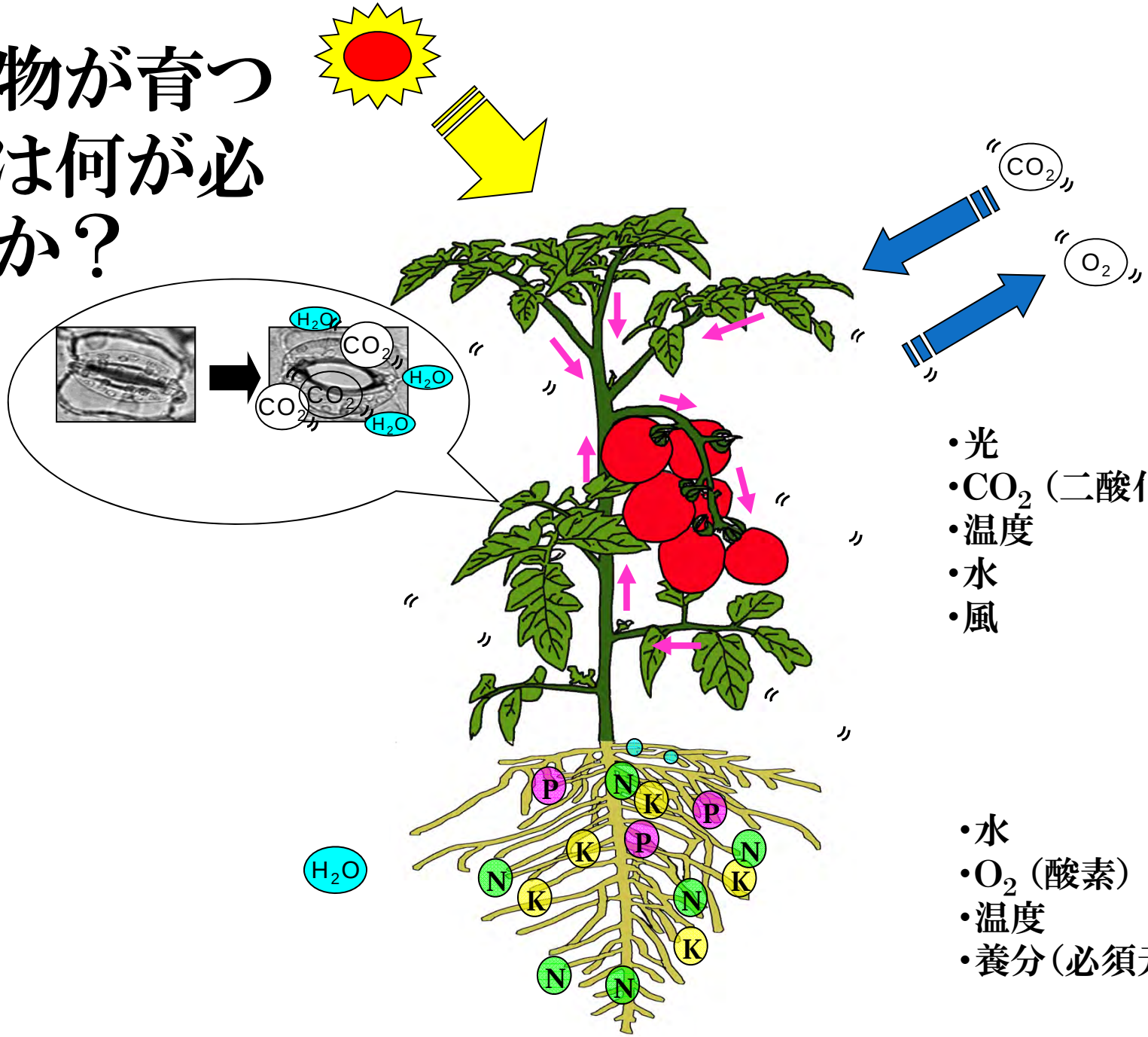
養液栽培のシステム，播種育苗
必須元素と培養液
培養液の基礎知識

大阪府立大学大学院
生命環境科学研究科
和田光生

公立大学法人
大阪府立大学
OSAKA PREFECTURE UNIVERSITY

養液栽培のシステム

植物が育つには何が必要か？



- 光
- CO_2（二酸化炭素）
- 温度
- 水
- 風

- 水
- O_2（酸素）
- 温度
- 養分（必須元素）

植物にとっての土の役割は？

- 水
- 養分（無機養分，有機養分）
- 温度（断熱，保温）
- 支持体（植物を支える）
- 酸素
- 緩衝能（水，肥料，温度など）
- 有機物，老廃物の分解
- その他

- 水
- 肥料
- 酸素

を根に供給すれば土が無くても植物は栽培できる

養液栽培とは？

・土壌を用いることなく，
・根を水中もしくは固形の支持体に伸長させ，
・植物に必要な養分と水は，植物の吸収に
　最適なバランスで肥料を溶かした水
　（培養液）によって与えて
・栽培する方法．

Hydroponics
Hyro　水
Ponos　労働
・働く水

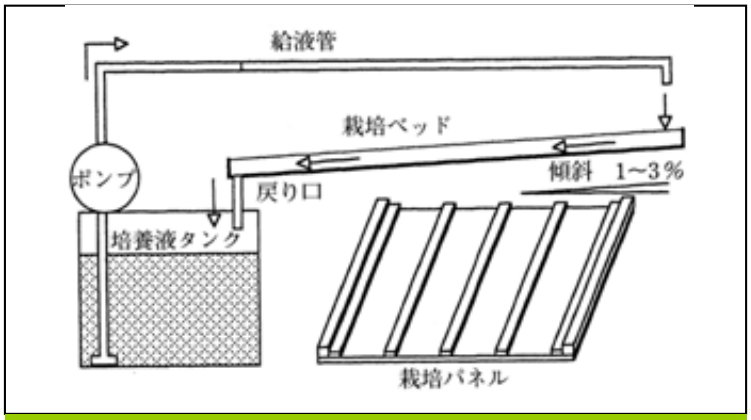
Soilless Culture
無土壌栽培

養液栽培の方式

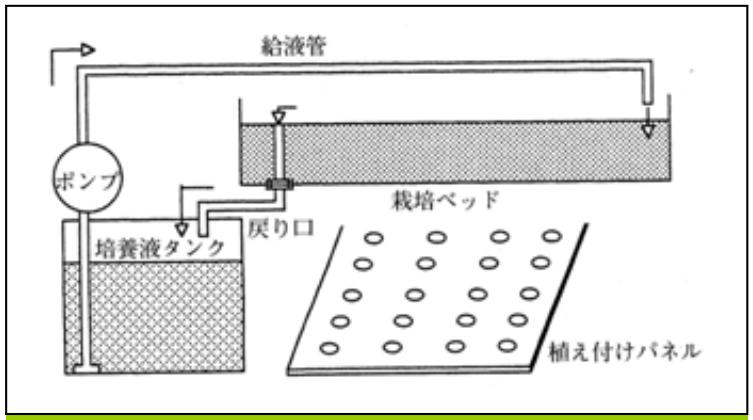
- 養液栽培
  - 水耕
    - 流動法
    - 静置法
  - 噴霧耕
  - 固形培地耕
    - 無機培地
      - 天然無機系
        - 粒状 — 礫，砂
      - 人工無機系
        - 粒状 — 人工礫，クン炭，多孔質セラミック
        - 繊維状 — ロックウール（スラブ，粒状綿）
        - その他 — パーライト，バーミキュライト
      - 有機合成系
        - フォーム状 — ポリウレタン，フェノール発泡樹脂
        - 繊維状 — ポリエステル
        - その他 — 粒状ポリエステル，ポリビニル
    - 有機培地（天然有機系）
      - 粒状 — モミガラ，オガクズ
      - 繊維状 — ヤシ殻
      - その他 — バーク，ピートモス，ヤシ殻ダスト

培地の種類

・水耕

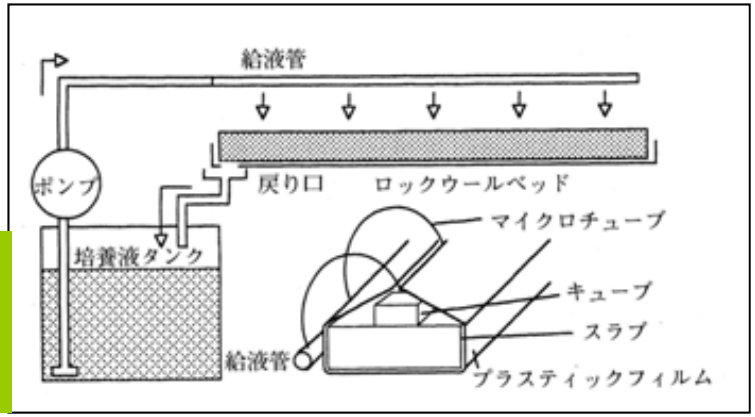


・NFT　(Nutrient Film Technique)
薄膜水耕



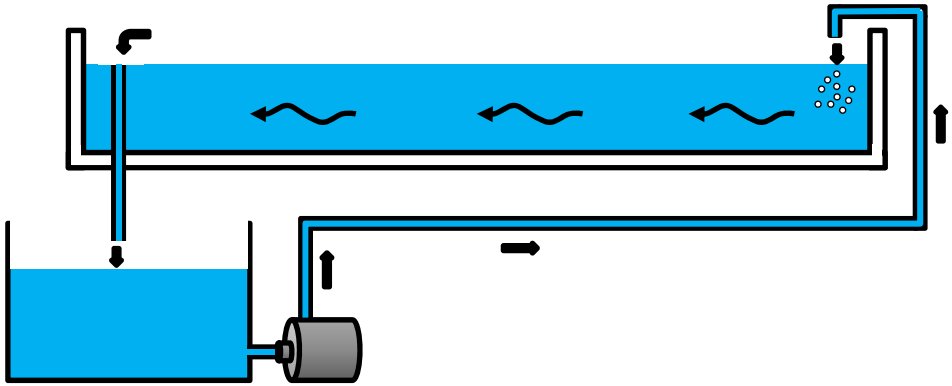
・DFT　(Deep Flow Technique)
循環型湛液式水耕

・固形培地耕



・ロックウール耕の例
(循環式)

DFT （Deep flow technique）



・ベッドに数cm程度培養液を貯めて流す方法
・ポンプが停止するなどしても，直ぐに植物が枯れることはない．
・根域の温度が変化しにくく，安定した栽培が可能．

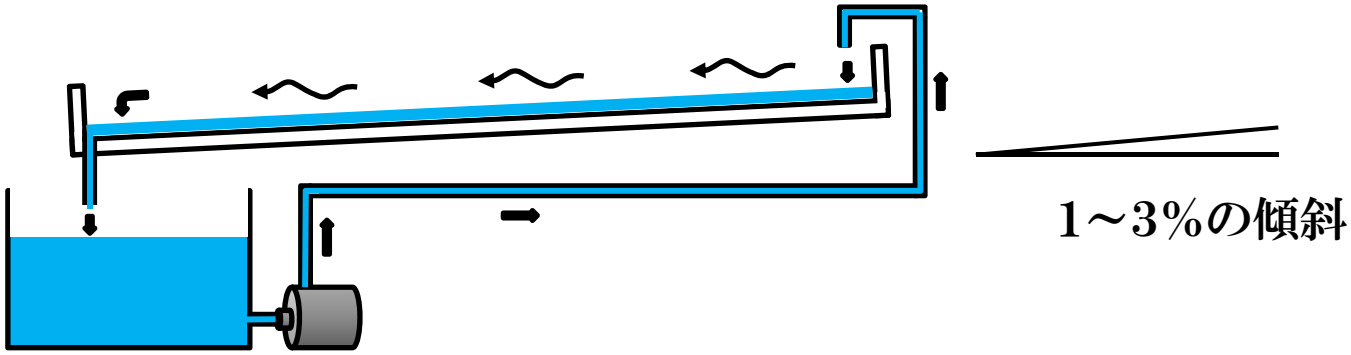
・根は終始培養液に浸かっているので，酸素欠乏になりやすい．
・重量が重いために，ベッドの耐荷重を高める必要がある．

・ミツバ，ネギなど

・ベッドの水深（通常5cm程度）
根量が比較的多い作物の場合は深くする．
少ない作物の場合は浅くてもよい．
→ ルートマットができるようになると，根群内部の培養液の流れがなくなり，養分吸収の低下や酸素欠乏による根の腐敗が生じる．

・流量（通常平均流速10cm/min程度）
根群内に培養液の流れがあれば，1cm/min以上あればよいという説もある．（仮に幅60cm，水深5cmなら，流量0.3L/min）
→ 根郡内に培養液の流れがあること．
根量が多い作物では流量を多くする必要がある．
→ ベッド末端部（排液口）で十分な溶存酸素濃度があること．
根の酸素消費量が多い作物の栽培やベッド長が長い場合は，流量を多くする必要がある．

NFT （Nutrient film technique）

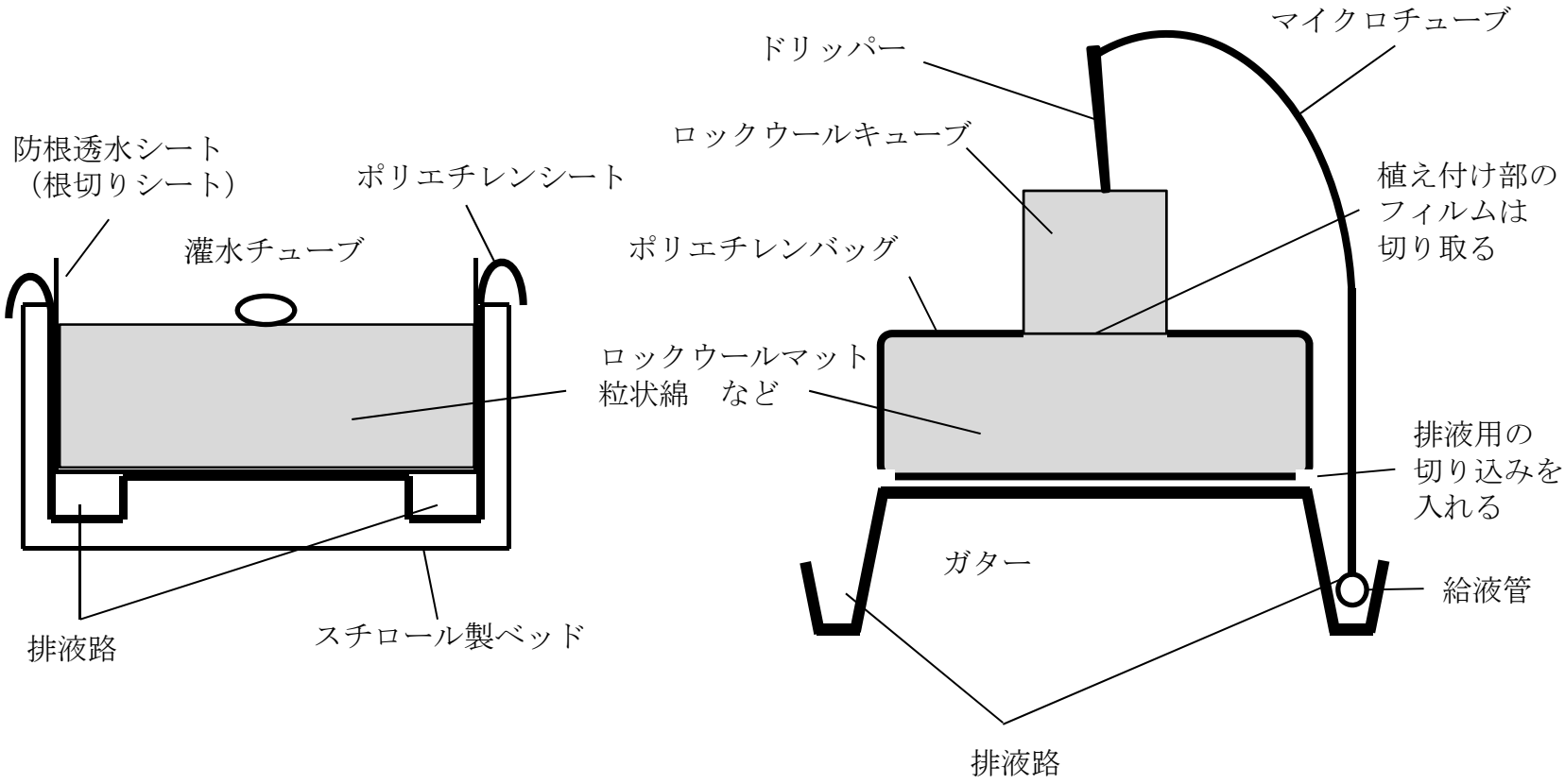


・培養液を傾斜を付けたベッドに浅く流す方法
・根に酸素を供給し易いので，根が低酸素状態に弱い作物に向く．
・重量が軽いので，ベッド構造を簡単にできる．

・根域の温度が変化しやすく，気温の影響を受けやすい．
・給液管理に気をつけないと，根が乾燥しやすい．
・停電などでポンプが停止すると，直ぐに枯死に至る．

・ホウレンソウ，レタスなど

ロックウール栽培ベッドの基本構造



養液栽培の
播種育苗法

種子の発芽に必要とされるもの

〇温度　　適温

〇水　　適度な水分

〇酸素　　過剰な水分は酸素欠乏を起こす

〇光または暗黒　　光発芽種子，暗発芽種子

〇発芽抑制物質の除去

〇休眠の打破

表．各種野菜の発芽特性（廣瀬，1990 に加筆）

作物名	最低温度（℃）	最適温度（℃）	最高温度（℃）	光反応
キュウリ	16～19	25～35	35～40	暗
スイカ	16～20	30	35～40	暗
カボチャ	15	30	35～40	暗
メロン	15～16	28～30	42	暗
トマト	15	25～30	35	暗
ナス	15	25～35	40	暗
ピーマン	15	25～32	35	暗
インゲンマメ	15	20～30	35	―
エンドウ	0～4	18～20	33	―
ソラマメ	0～4	15～25	33	―
スイートコーン	8～11	30～33	40	―
ハクサイ	4	18～22	35	明
キャベツ	2～3	20～25	35	明
ハナヤサイ	2～3	15～25	35	明
タマネギ	4	15～25	33	暗
ネギ	4	15～25	33	暗
レタス	0～4	15～20	30	明
シュンギク	0～4	15～20	30	明
セルリー	0～4	15～20	30	明
ミツバ	0～4	15～20	28	明
ホウレンソウ	4	15～22	35	―
シソ	0～4	15～20	28	明
ダイコン	4	15～30	35	暗
カブ	4～8	15～20	30	明
ゴボウ	10	20～25	35	明
ニンジン	4	15～30	33	明

明：明発芽種子；　暗：暗発芽種子

種子予措

（発芽促進，均一性向上のための行われる前処理）

○コート種子（播きやすい，発芽がよい）

レタス，チンゲンサイなど（微小，不定形，1粒播き）

粘土鉱物で種子をコートして球形に加工

○ネーキッド種子（発芽がよい）

ホウレンソウ，シュンギクなど （そう果）

見かけ上の種皮（果皮）を剥離，吸水時の水分過剰を防ぐ，また，種子の斉一性を高める.

○フィルムコート種子（発芽がよい）

各種 （殺菌剤の粉衣）

デンプン質のポリマーで粉衣して粉衣効果を持続

発芽床の温度と水分がレタスの普通種子とコート種子の発芽率に及ぼす影響

（歌田，1992）

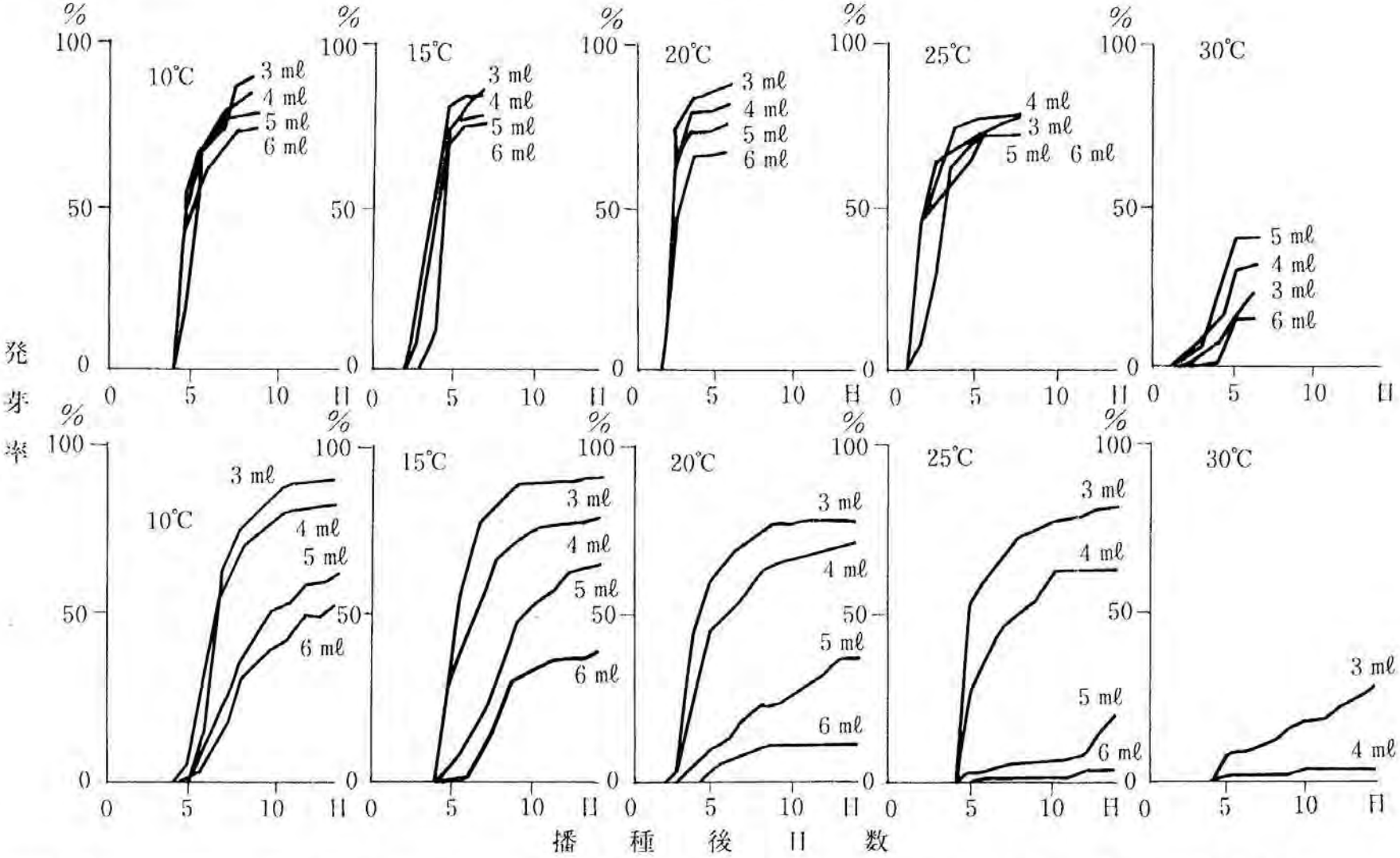
品　種	発芽床*の水分	普通種子 温度（℃）			コート種子 温度（℃）		
		10	20	30	10	20	30
		%	%	%	%	%	%
品種A	多	100	100	99	100	99	100
	中	100	100	100	100	97	99
	少	100	99	63	99	100	99
品種B	多	100	100	4	99	99	99
	中	100	100	1	99	100	98
	少	100	66	0	99	99	60
品種C	多	100	100	3	98	100	96
	中	100	99	2	100	99	95
	少	100	53	0	99	97	93

注：＊ 径9cmのペトリ皿にろ紙2枚を敷き，普通種子の場合，多：7mℓ，中：5mℓ，少：3mℓの水分を，コート種子の場合は，多：8mℓ，中：6mℓ，少：4mℓの水分を加え，各50粒ずつ置床した

コート種子は高温，水分不足の状態でも良好な発芽が可能

ホウレンソウの普通種子とネーキッド種子の発芽に及ぼす温度と水分の影響

（歌田，1992）



上段：ネーキッド種子，下段：普通種子．径90mmのペトリ皿にろ紙２枚を敷き，50粒の種子を並べて与えた水分量を図中に示した

○種子選別　種子の大きさをそろえ，発芽の斉一性を高める

○浸透圧処理

ホウレンソウ，ミツバなど　（発芽率促進）

PEGや塩類により約-1.0MPa（0.4mol/l）にした液に浸漬

○浸漬・洗浄

ミツバなど　（発芽阻害物質の除去）

○低温処理

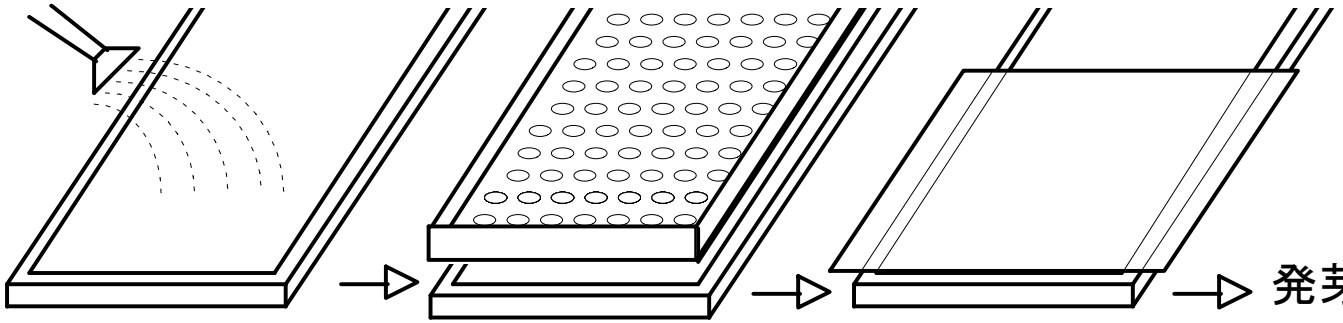
ミツバ，レタス　（高温下での発芽促進，斉一発芽）

吸水後保湿した状態で冷蔵庫内に貯蔵

○生長調節剤処理

ナス（ジベレリン），レタス（カイネチン）　（休眠打破，発芽促進）

葉菜類のウレタン育苗



十分に培養液に浸す.

播種板で数回に分けて播種する.

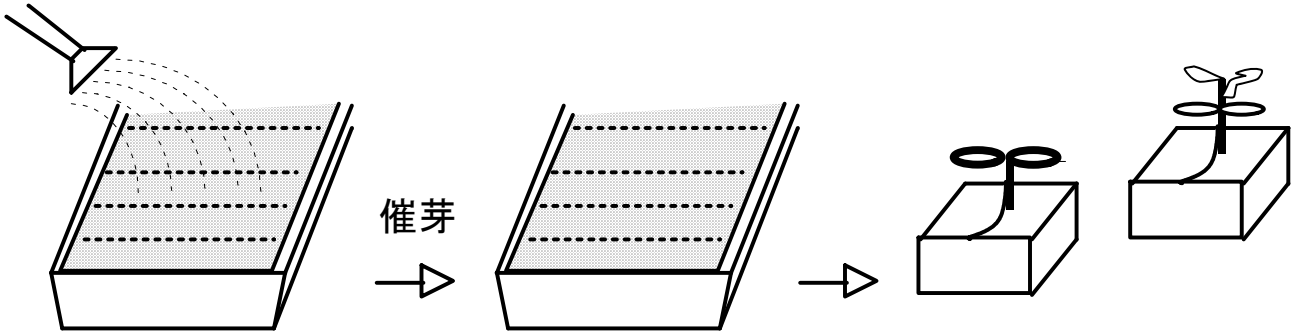
ホウレンソウは上からガラス板でふたをする

発芽室へ

芽を切った時点，子葉展開前に光に当てる

ウレタンの裏から充分に根が見えるようになったら水耕へ

果菜類のロックウール育苗



バーミキュライト等無菌培地に播種かん水する

発芽後，温室へ培養液でかん水する

十分に培養液を吸水させたロックウールに移植

（キュウリ・メロン　子葉展開時
トマト　本葉2枚展開時）

第1図　養液栽培のための播種・育苗法

必須元素と培養液

植物にとって必要な肥料は？
○必須元素　（Mineral Elements）

養液栽培では，C，H，Oを除く13種類の必須元素すべてが培養液に含まれる．

- 多量要素
  炭素（C），水素（H），酸素（O）　← 水と二酸化炭素から
  窒素（N），リン（P），カリウム（K）　← 肥料の三大要素
  カルシウム（Ca），マグネシウム（Mg），硫黄（S）
- 微量要素　← 土耕では元々土壌に含まれる
  鉄（Fe），銅（Cu），亜鉛（Zn），マンガン（Mn）
  モリブデン（Mo），ホウ素（B），塩素（Cl）
- 特定要素（通常培養液には入れない）
  ケイ素（Si），ナトリウム（Na），アルミニウム（Al）など

培養液ってなに？

培養液とは植物が成長するために必要な養分（必須元素）を吸収に適した組成と濃度で水に溶かしたもの.

つまり，植物の根が常にそれそのものと接触して水と養分を吸収する.
そういう意味で，適宜（不定期に），高濃度の養分を含む溶液を土壌に灌注するような，いわゆる液肥とは異なる.

培養液処方

作物やシステムによってそれぞれ適した処方（各養分がどのような濃度でそれぞれ含まれているか）の培養液がある.

主に2種類の決定法がある.

- 葉中無機養分分析に基づく養分構成比の培養液から最適な濃度を決定する方法

- n/wに基づく均衡培養液

葉中無機養分分析に基づく養分構成比の培養液から最適な濃度を決定する方法

科名	野菜名	N	P	K	Ca	Mg
ウリ	キュウリ	4.62	0.77	3.16	3.86	0.78
ナス	トマト	5.15	0.54	3.78	2.92	0.76
	ピーマン	5.91	0.51	7.02	1.83	0.82
マメ	インゲンマメ	5.33	1.08	4.66	3.12	0.51
セリ	セルリー	5.74	1.44	7.00	2.06	1.42
	ミツバ	5.00	1.00	6.92	0.77	0.55
	ニンジン	4.32	0.84	4.58	1.07	0.66
アブラナ	ハクサイ	6.82	0.61	7.80	3.20	0.47
	カブ	6.40	0.55	6.50	2.58	0.43
キク	レタス	5.36	0.72	7.64	0.79	0.35
アカザ	ホウレンソウ	5.79	0.67	8.38	0.72	1.43

N:P:K:Ca:Mg決定

⇩

濃度試験 ⇨ 決定

代表的なものに園試処方がある

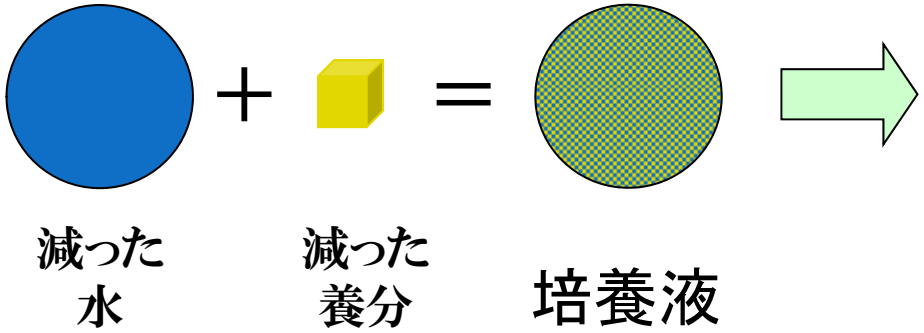
園試処方培養液における各養分濃度

園試処方培養液における成分組成

成分（me/L）						
NO_3−N	NH_4−N	K	Ca	PO_4−P	Mg	SO_4−S
16	1.3	8	8	4	4	4

n/wに基づく均衡培養液

「みかけの養分吸収濃度」
と呼ばれる

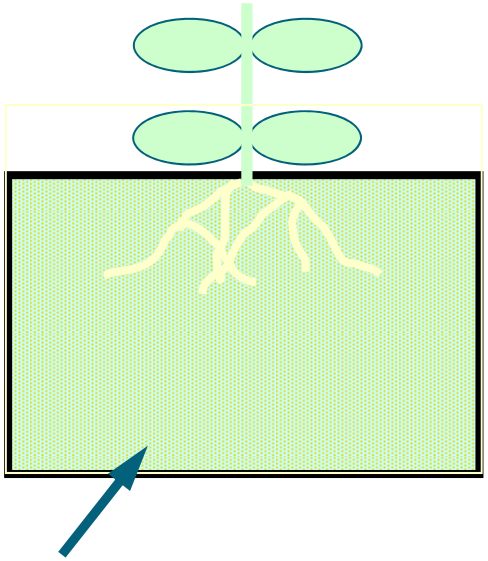


こうやって作成した培養液では長期間栽培してもその組成は変わらないだろう･･･
（培養液の濃度管理法の基本的な考え方）

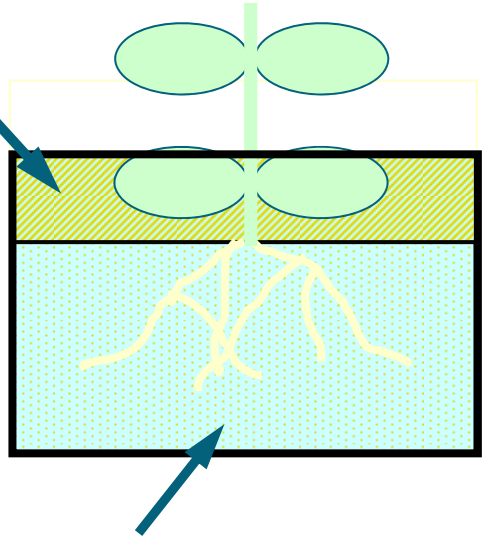
代表的なものに山崎処方がある.

n/wの求め方

これを培養液にすれば長期間栽培してもその組成は変わらないだろう・・・
（培養液の濃度管理法の基本的な考え方）



園試処方培養液などで2～3割培養液が減るまで栽培



減った培養液 w(L)

濃度y(me／L)の培養液がa(L)

濃度がz(me／L)になっていた

養分吸収量　n(me)　＝y×a－z×(a－w)＝ay－az＋wz

これをw(L)の水に溶かせば目的の培養液ができる．みかけの吸収濃度n／w(me／L)は？

$$n/w(me/L) = \frac{ay - az + wz}{w} = \frac{a}{w}(y - z) + z$$

各野菜の山崎処方培養液における各養分濃度

数種野菜の山崎処方培養液における成分組成

	成分（me/L）						
	NO_3−N	NH_4−N	K	Ca	PO_4−P	Mg	SO_4−S
メロン	13	4/3	6	7	4	3	3
キュウリ	13	1	6	7	3	4	4
トマト	7	2/3	4	3	2	2	2
イチゴ	5	0.5	3	2	1.5	1	1
ピーマン	9	5/6	6	3	2.5	1.5	1.5
レタス	6	0.5	4	2	1.5	1	1
シュンギク	12	4/3	8	4	4	4	4
ナス	10	1	7	3	3	2	2

種々の培養液処方

園試処方
山崎処方（トマト,ホウレンソウなど作物により異なる）
神園処方（トマト用）
etc

メーカーが販売している養液栽培用肥料で作成が推奨されている培養液の処方もこれらに近い

微量要素の処方例

微量要素組成例							
処方名	成分濃度(ppm)						備考
	Mn	B	Fe	Cu	Zn	Mo	
園試処方	0.50	0.50	3.00	0.020	0.050	0.010	
テイサン1号(粉体)	0.60	0.30	3.00	0.012	0.030	0.006	水1tに600gを入れた場合
大塚ハウス5号(粉体)	0.77	0.32	2.85	0.020	0.040	0.020	水1tに50gを入れた場合
大塚ハウス5号L(粉体)	0.62	0.51	2.80	0.040	0.080	0.040	水1tに400mLを入れた場合
大塚, トマト処方	0.58	0.33	2.25	0.030	0.090	0.030	ハウスS1号に配合, 標準濃度使用時
大塚, バラ処方	0.57	0.23	2.11	0.015	0.044	0.150	EC1.4dS/mで使用時
愛知園研, バラ処方	0.50	0.25	2.00	0.050	0.200	0.050	RWかけ流し方式
愛知園研, カーネーション処方	0.50	0.30	1.50	0.050	0.200	0.050	RWかけ流し方式

養液栽培で用い
る肥料

○養液栽培では，植物に必要な養分（必須元素）を植物の吸収に最適な比率で水に溶かした培養液で与えます．

養液栽培で一般的に用いられる肥料

・多量要素（基本的には4つの肥料で作成する）

硝酸カリウム（硝酸カリ）

硝酸カルシウム（硝酸石灰）

硫酸マグネシウム（硫酸苦土）

リン酸アンモニウム（燐安）

・微量要素

後で解説する

代表的な培養液処方の多量要素組成

培養液処方	要素組成（me／L）					
	NO_3^-	NH_4^+	P	K	Ca	Mg
園試処方[z]	16	1.33	4	8	8	4
山崎処方トマト	7	0.67	2	4	3	2
キュウリ	13	1	3	6	7	4
ナス	10	1	3	7	3	2
メロン	13	1.3	4	6	7	3
イチゴ	5	0.5	1.5	3	2	1
レタス	6	0.5	1.5	4	2	1
ミツバ	8	0.67	2	4	4	2
池田ホウレンソウ処方	16	4	4	10.3	3	4
千葉農試イチゴ処方	11	1	3	6	5	4
静大メロン処方	8	1	3	6	8	4
愛知園研バラ処方	13.3	0.5	5.3	6	8	2
大塚アグリテクノ　A処方[y]	16.6	1.6	5.1	8.6	8.2	3

[z]：園芸試験場標準処方

[y]：1,000 ℓ当たり，大塚ハウス肥料1号を1.5 kg，2号を1 kg溶解する.

園試処方培養液の微量要素組成

微量要素組成（ppm）	Fe	B	Mn	Zn	Cu	Mo
園試処方	3	0.5	0.5	0.05	0.02	0.01

培養液の基礎知識

- ECとpH
- 原水の水質基準
- 水質改善法
- 培養液温度
- 培養液の窒素形態
- 残留塩素

ECとpHの話

EC （Electric Conductivity）

電気伝導度

電気の流れやすさ，電気抵抗（Ω）の逆数

単位 dS／m （旧 mS／cm）

培養液の濃度測定に用いられる．

培養液濃度が濃くなるほど，溶け込んでいるイオンの量（活量）が多くなり，電気が流れやすくなり，ECが高くなる．

園試処方培養液の場合，約2．4 dS／m

•EC（電気伝導度、導電率）

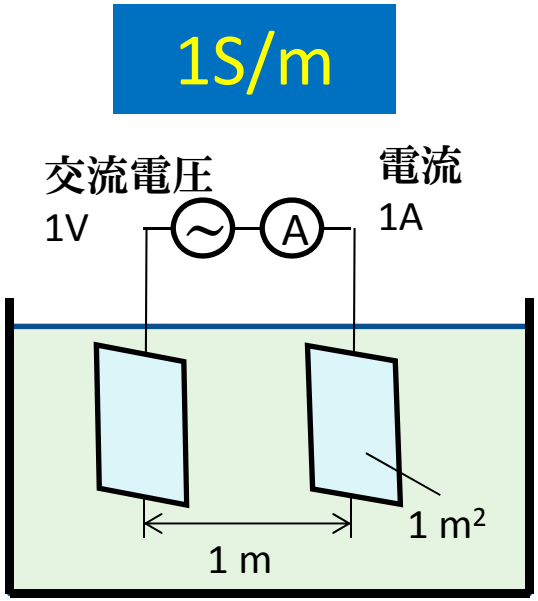
電気の流れやすさを測定した値

培養液濃度の指標に用いられる

園試処方の標準濃度では

約2.4 dS/mとなる

（デシジーメンスパーメートル）



単位は[dS/m]、 1 dS/m ＝ 0.1 S/m ＝ 100 mS/m

かなり昔 m℧/cm （ミリモーパーセンチメートル）

ちょっと昔 mS/cm

1 m℧/cm ＝ 1 mS/cm ＝ 1 dS/m

電極ごとに異なるセル定数を入力する必要がある

pH（power of Hydrogen）

水素イオン活量の指数変換値

単位　無し

活量とは，実際にイオンに電離している量．

pH ＝ －log a[H^+]

pH 7の時，水素イオン活量は10^{-7}

通常の培養液は，6前後

ミツバ，ネギなどでは4．5～5．0の酸性で管理するのがよいとされる．

7以上では，微量要素の沈殿が生じる．

4以下では，酸によって根に障害が出る．

・pH（power of Hydrogen）

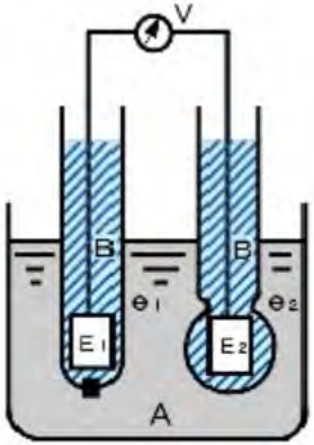
水素イオン活量の指数変換値
単位　無し
pH ＝ －log a[H^+]
pH 7の時，水素イオン活量は10^{-7}
通常の培養液は，6前後
ミツバ，ネギなどでは
4．5～5．0の酸性で管理するのが
よいとされる
7以上では，微量要素の沈殿が生じる
4以下では，酸によって根に障害が出る

一般には，ガラス電極法が用いられる

使用前に必ず校正する必要がある

pH ＝ －log[H^+]

1 ――― 7 ――― 14
酸性 ← 中性 → アルカリ性



★養液栽培に用いられる水

●原水とは,

培養液を作るために用いられる水こと

●原水に用いられる水

地下水, 雨水, 水道水, ため池や河川からの農業用水

●養液栽培に適した水

・病原菌を含んでいない.

・浮遊物や微生物などの有機物の混入がない.

・懸濁がない

・有害物質を含まない.

・多量の無機塩類が含まれていない.

・水質の変動が少ない.

★原水の水質基準

ナールドワイク温室作物試験場の水質基準

項目	基準１	基準２
Cl	＜ 50 ppm	50 ～ 100 ppm
Na	＜ 30 ppm	30 ～ 60 ppm
HCO_3	＜ 40 ppm	＜ 40 ppm
Fe	＜ 1.0 ppm	＜ 1.0 ppm
Mn	＜ 0.5 ppm	＜ 1.0 ppm
B	＜ 0.3 ppm	＜ 0.7 ppm
Zn	＜ 0.5 ppm	＜ 1.0 ppm
EC	＜ 1.5dS／ m	

注：基準１は，栽培期間中に問題がほとんど生じないもの
基準２は，栽培に適してはいるが，微量要素がロックウールベッド内に蓄積するため，栽培中に数回の洗浄がひつようなもの

養液栽培の原水の各成分限界濃度（ppm）（千葉農試）

成分	NO_3-N	P	K	Ca	Mg	Na	Cl	Fe
限界濃度	60	30	80	80	40	80	200	10

★原水に含まれる重金属の影響

培養液中の重金属濃度が数種野菜の生育に及ぼす影響

（大沢ら，1971．1974．1974から作成）

重金属の種類	収量半減濃度（ppm）	野菜の種類
Zn	30以上	ネギ
	10～30	ミツバ，ニンジン，セルリー
	3～10	キュウリ，ナス，インゲン，トマト，トウガラシ，キャベツ，ハツカダイコン，カブ，レタス
	1～3	ホウレンソウ
Cu	3～10	ネギ，ハツカダイコン，トウガラシ，ナス，キュウリ，トマト，ニンジン，インゲン，セルリー
	1～3	ホウレンソウ，レタス，キャベツ，カブ，ミツバ
Mn	100以上	ハツカダイコン，ネギ，トウガラシ，ミツバ
	30～100	レタス，ホウレンソウ，ニンジン，ナス，キャベツ
	10～30	セルリー，トマト
	3～10	カブ，インゲン，キュウリ

作物の種類によって重金属に対する感受性は異なるが，原水の水質としては，亜鉛（Zn），銅（Cu）は1ppm未満，マンガンは3ppm未満であることが必要

★水道水の水質基準

水道の原水および浄水の水質基準（抜粋）

水質項目	基準値（ppm）
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	10
亜鉛	1 ✕
鉄	0.3
銅	1 ✕
ナトリウム	200 ✕
マンガン	0.05
塩素イオン	200 ✕
硬度（ｶﾙｼｳﾑ，ﾏｸﾞﾈｼｳﾑ等）	300 ✕

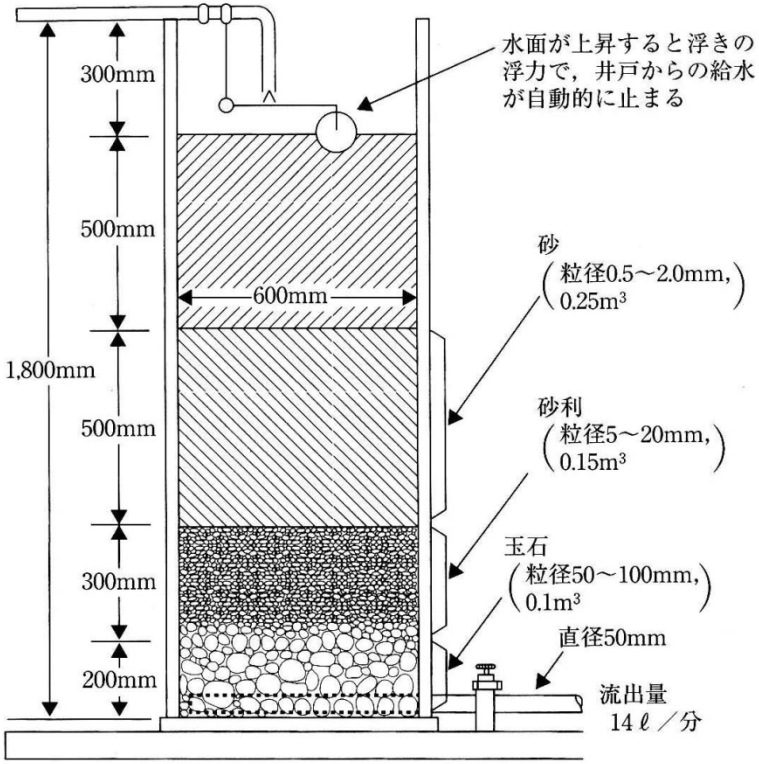
水道水を使用した場合でも，培養液の原水としては不適切な場合がある．

また，水道水の水質も一定でなく変化する．

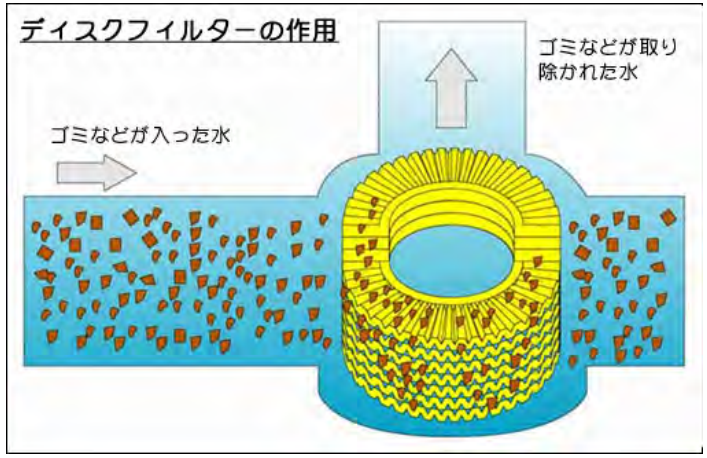
★水質改善法

●浮遊物，沈殿のろ過

・各種フィルターによるろ過.



砂ろ過装置の例



ディスクフィルターの例

★水質改善法

●高濃度の鉄，マンガンの除去

・勢いよく空気を混入させる（爆気）

・ポンプでくみ上げて，勢いよくタンクに戻し空気を混入させる

↓

・水に溶けない沈殿となる.

↓

・フィルターでろ過する.

★水質改善法

●無機イオンの除去

- ・蒸留法
- ・イオン交換法
- ・電気透析法

} 化学分析のための手法

- ・逆浸透法（RO法） ←―― 原水の水質が悪いときはこの方法が用いられる あるいは，水道水を用いる

★水質改善法

●重炭酸濃度の測定と調整

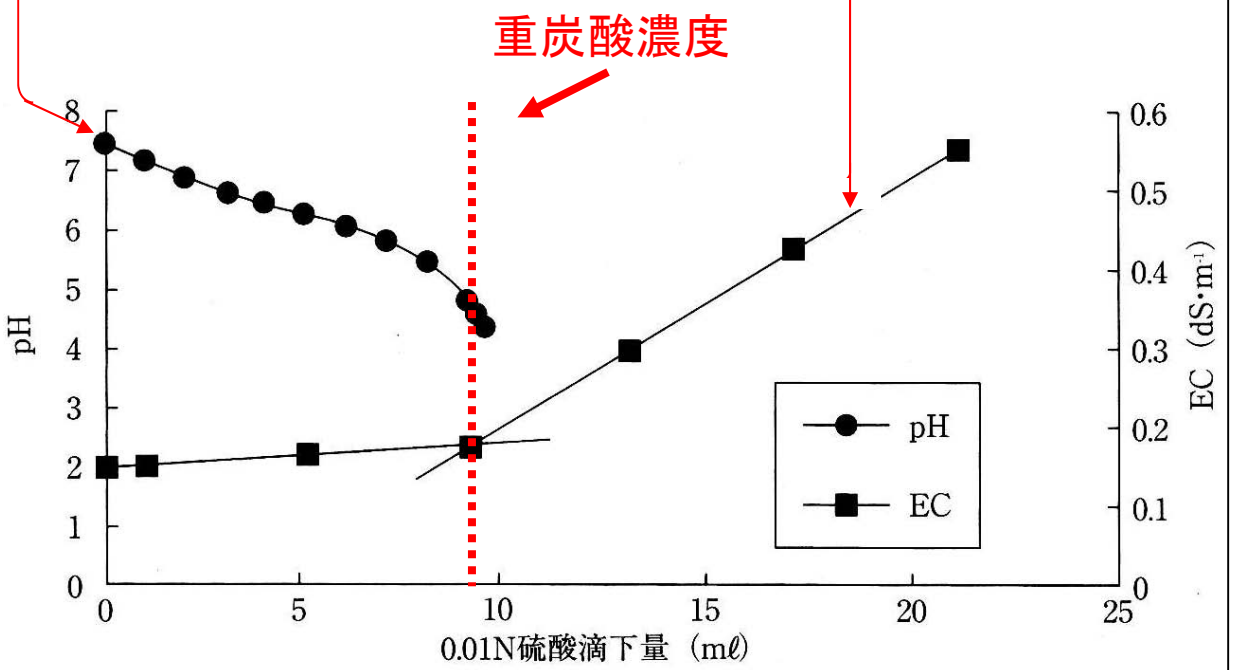
・重炭酸濃度の測定

・原水100mLに0.01Nの硫酸（硝酸）を滴下

（1Lの水に0.1Nの硫酸（硝酸）を滴下しても同様）

・pHの変化を計測する（Bicarbonate（重炭酸）法）

・ECの変化を計測する（EC法）



重炭酸（HCO_3^-）

石灰岩質土壌の地下水などに多量に含まれる場合がある.

pHを高くし，微量要素の沈殿を生じさせる.

30～50ppm程度含まれているとpHが安定してよい.

重炭酸濃度（ppm）

＝滴定量（mL）×6.1

例：（左グラフの場合）

9×6.1＝54.9（ppm）

★水質改善法

●重炭酸濃度の測定と調整

・重炭酸濃度の調整（硝酸もしくはリン酸を添加して重炭酸を中和する．）

種類	濃度	規定度	比重	重炭酸濃度（注 1）低下量（ppm）	肥料成分（注 2）（ppm）
硝酸（HNO_3）	61.0	13.3	1.372	810	186.3
	65.0	14.4	1.391	876	200.2
	67.5	15.0	1.402	916	210.0
	70.0	15.7	1.413	958	218.6
リン酸（H_3PO_4）	37.0	13.9	1.231	282	143.9
	75.0	36.3	1.579	738	374.5
	85.0	43.9	1.689	892	454.6
	90.0	48.1	1.746	978	497.0

注 1：原水 1t に酸を 1L 加えたときの濃度低下量

注 2：硝酸は NO_3-N，リン酸は PO_4-P の濃度

・1,000Lの水に1Nの酸を1L添加．　→　重炭酸濃度を61ppm低下させる．

・加えられた硝酸もしくはリン酸の濃度を差し引いた処方の修正が必要．

1N の酸 1L は 1e　に相当する．→　1Nの酸1Lを1000Lの水に加えると，

肥料成分が，1（e）÷1000（L）＝0.001（e/L）＝1（me/L）加えられる．

★水質改善法

●重炭酸濃度の測定と調整

・重炭酸濃度の調整（計算例）

問題

原水の重炭酸濃度を測定したところ，200ppmであった.

これを15Nの硝酸を用いて50ppmまで低下させたい.

①1,000Lの原水に対して，どのぐらい添加すればよいか.

②これによって，NO_3-Nはいくら添加されるか？

・1,000Lの原水に1Nの酸を1L添加

↓

重炭酸濃度を 61ppm 低下させる

・1,000Lの原水に1Nの酸を1L添加

↓

肥料成分が 1me/L 添加される

★水質改善法

●重炭酸濃度の測定と調整

・重炭酸濃度の調整（計算例）

答え

①200ppmを50ppmに低下させるので，低下させる濃度は

200－50＝150ppm

1000Lの水に，15Nの硝酸を1L添加したときの重炭酸濃度低下量は

15×61＝915ppm

150 ppm 低下させるのに必要な 15N 硝酸の量は

150÷915＝0.164（L） ＝ **164 （mL）**

②1000Lの水に15N 硝酸を1L加えたときに増加する硝酸の濃度は

15me/L

164 mL 加えるので，加えられる硝酸の量は

15×0.164 ＝ **2.46 （me/L）**

★培養液温度

●適温と限界温度

植物名	昼気温		夜気温		養液温度		
	最高	適温	適温	最低	最高	適温	最低
トマト	35	27～20	13～ 8	5	25	23～15	13
ナス	35	28～23	18～13	10	25	23～18	13
ピーマン	35	30～25	20～15	12	25	23～18	13
キュウリ	35	28～23	15～10	8	25	22～18	13
スイカ	35	28～23	18～13	10	25	22～18	13
メロン	35	30～25	23～18	15	25	23～18	13
イチゴ	30	25～18	10～ 5	5	25	20～15	13
ホウレンソウ	30	25～15	10～ 8	5	23	20～16	13
ミツバ	30	25～15	10～ 8	5	25	22～18	13
ネギ	35	30～15	10～ 7	5	25	22～16	13
サラダナ	30	25～15	12～ 8	5	25	22～18	13
レタス	30	25～15	12～ 8	5	25	22～18	13

（阿部，1997）

作物名	低温限界根温	好適根温	高温限界根温
トマト	13	21～24	32（28）
キュウリ	13	23～25	35
ミツバ	8	18～22	28
ネギ	8	22～26	35
サラダナ	8	15～28	35
イチゴ	8	18～20	28

（注）表中の（28℃）はトマト果実の尻腐れ果発生限界高温を示す。好適根温および限界根温とも日射量および気温や根への酸素供給量によって変化する。

（千葉農試）

日射量，気温，根域への酸素供給量によって変わる.

★培養液温度

●高温（生育は促進されるものの，高すぎると）

・根の呼吸量増大

・根の活性低下

・養水分吸収能低下（特にカルシウムの吸収低下）

レタスのチップバーン，トマトの尻腐れ症など

・植え傷みの発生，病害の発生

●低温（植え傷みや病害の発生は抑制されるが，低すぎると）

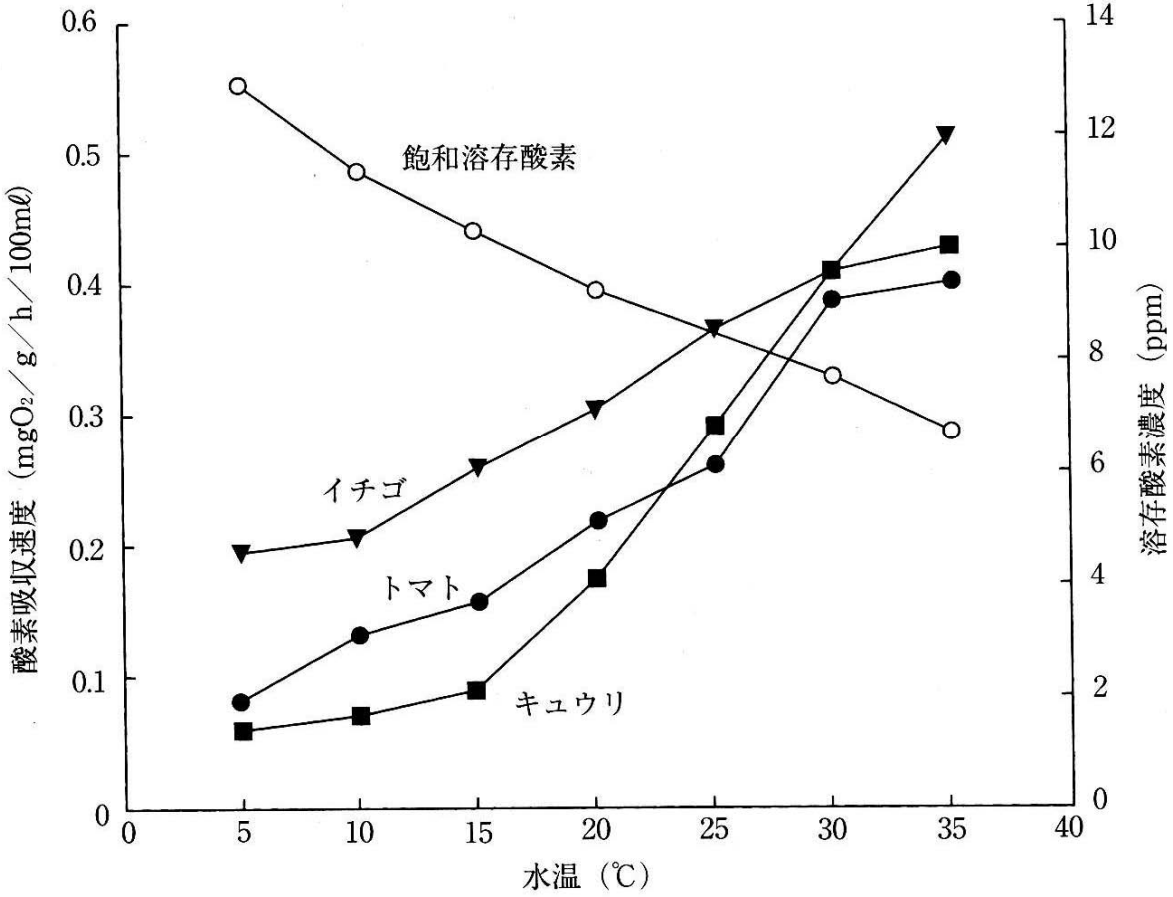
・養水分吸収能低下（マグネシウムやリン）

下葉の葉脈間クロロシス，アントシアニンによる着色

・生育抑制

★培養液温度

●溶存酸素



高温では，根の呼吸量が増大する上に，溶存酸素量が低下する．

↓

根が酸素欠乏に陥りやすい

★培養液温度

●根の酸素欠乏を防ぐためには？

○水耕

・通気量を増やす.

・培養液の流速を高める.

・培養液の流動時間を長くする.

・ベッドの長さを短くする.

・培養液を冷却する.

○固形培地耕

・気相率の高い培地を選ぶ（給液量を多くする）.

・給液管理を適正化し，気相率の低下を防ぐ.

・培地を冷却する．培地に通気する.

培地の乾燥に注意！

★培養液の窒素形態

●NH_4^+ - N （アンモニア態窒素）

・カチオン（陽イオン）

・通常，$NH_4H_2PO_4$（リン酸アンモニウム，燐安）によって培養液に添加される.

・低温期の生育促進効果

・根を傷め，トマトの尻腐れやレタスのチップバーンを引き起こす

●NO_3^- - N （硝酸態窒素）

・アニオン（陰イオン）

・通常，KNO_3（硝酸カリウム，硝酸カリ）と$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$（硝酸カルシウム，硝酸石灰）によって培養液に添加される.

●培養液中のNH_4^+ とNO_3^- の比率

・園試処方の場合．NH_4：1.3me/L　　NO_3：16me/L

★培養液の窒素形態

●窒素吸収特性

（池田）

・野菜

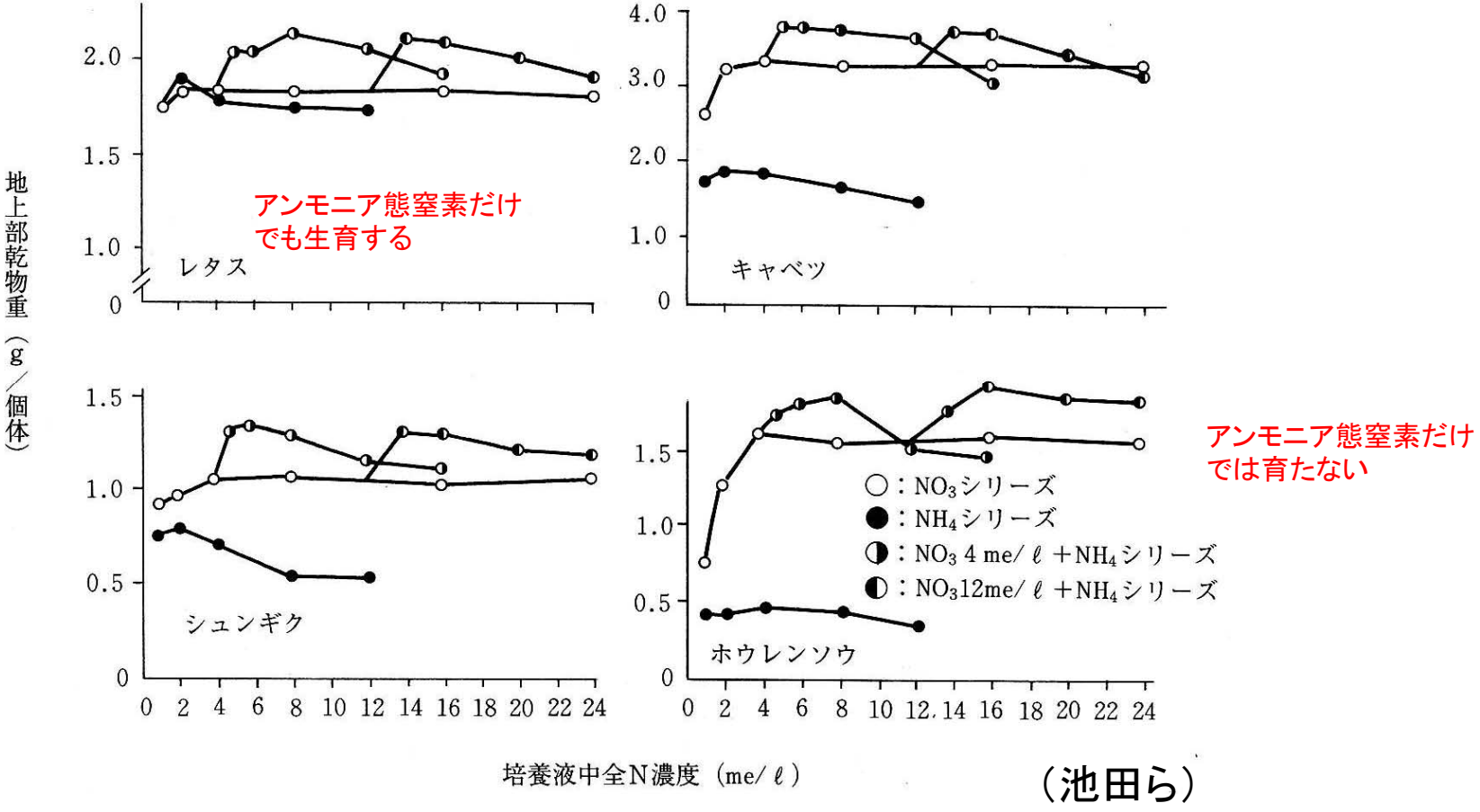
培養液の pH	NH_4^+を優先吸収	NO_3^-を優先吸収	NO_3^- と NH_4^+ の吸収がほぼ等しい
5	トウモロコシ レタス，イチゴ セルリー，メロン セリ，キュウリ ミツバ，シュンギク	エンドウ ホウレンソウ スイカ，ハクサイ インゲンマメ キャベツ，トマト 小カブ，ピーマン	ナス，エダマメ
7	トウモロコシ レタス，イチゴ セルリー，メロン セリ，キュウリ シュンギク エダマメ，ミツバ ピーマン，ナス	ホウレンソウ ハクサイ，小カブ	インゲンマメ キャベツ，エンドウ トマト，スイカ

・花き

NO_3 100％が生育良好で NH_4 の共存比率が増加するにしたがって生育が低下する（硝酸型）	コスモス，ペチュニア，サルビア，ジニア，コリウス，アサガオ
NO_3 に NH_4 が 20 ～ 40％共存したときに最良な生育を示す（共存型）	カーネーション，ベゴニア，パンジー，ガーベラ，ユリ
NO_3 と NH_4 の濃度比に関係なく生育する（共用型）	グラジオラス

★培養液の窒素形態

●硝酸態窒素とアンモニア態窒素の併用による生育促進



（池田ら）

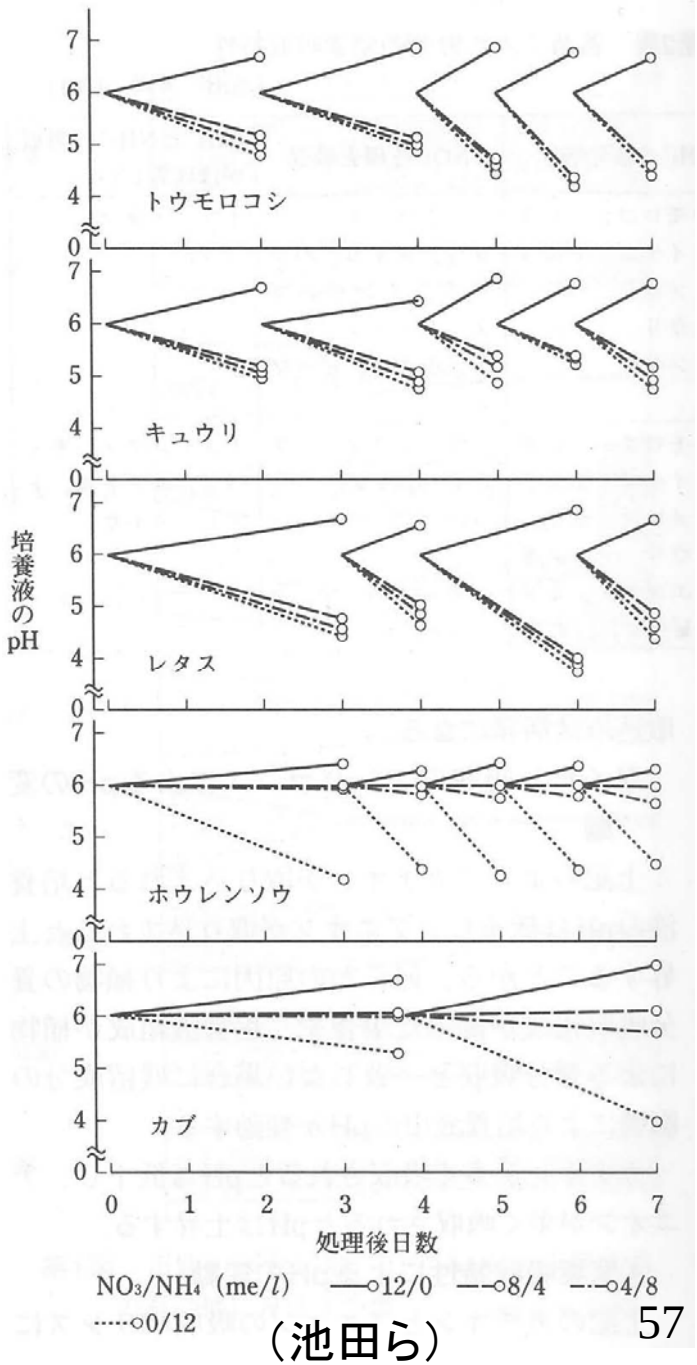
通常，硝酸態窒素のみでも十分な生育が得られるが，

アンモニア態窒素を添加すると生育が促進される．

★培養液の窒素形態

●硝酸態窒素とアンモニア態窒素の比率が培養液のpHに及ぼす影響

・アンモニアを優先的に吸収する作物
　pHが低下しやすい.
・硝酸を優先的に吸収する作物
　pHが上昇しやすい.
・アンモニア態窒素の比率が高まると
　pHは上昇しやすい.



（池田ら）

★培養液の窒素形態

●培養液中の硝酸態窒素とアンモニア態窒素の比率の調整

・リン，カリウムの濃度変化を意識しない場合

調製したい項目	方法
NH_4-N 濃度を下げたい	$NH_4H_2PO_4$ の一部を KH_2PO_4 に変える．
NH_4-N 濃度を上げたい	$NH_4H_2PO_4$ を増やす．
NO_3-N 濃度を下げたい	KNO_3 の一部を KH_2PO_4 に変える．
NO_3-N 濃度を上げたい	KNO_3 を増やす．

・リン，カリウムの濃度変化を意識する場合

調製したい項目	方法
NH_4-N 濃度を下げたい	$NH_4H_2PO_4$ の一部を NaH_2PO_4 に変える．
NH_4-N 濃度を上げたい	$(NH_4)_2SO_4$ を添加する．
NO_3-N 濃度を下げたい	KNO_3 の一部を K_2SO_4 に変える． $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ の一部を $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ に変える．
NO_3-N 濃度を上げたい	$NaNO_3$ を添加する．

注：　KH_2PO_4：リン酸カリ，　NaH_2PO_4：リン酸ナトリウム

$(NH_4)_2SO_4$：硫安，　K_2SO_4 に：硫酸カリ，　$CaCl_2 \cdot 2H_2O$：塩化カルシウム

★培養液の窒素形態

●培養液中の硝酸態窒素とアンモニア態窒素の比率の調整

・アンモニア態窒素と硝酸態窒素の比率によるpHの調製

pHが上昇傾向にある場合，アンモニア態窒素を増やす．

pHが下降傾向にある場合，アンモニア態窒素を減らす．

・冬季の生育促進

冬季にアンモニア態窒素の比率を高めると，生育促進効果がある．

・トマトの尻腐れ症，レタスのチップバーンの抑止

夏季高温時や高EC管理をする際には，アンモニア態窒素の比率を下げる．

・スターター培養液と追肥用培養液

レタスなどアンモニアを優先的に吸収する作物では，栽培開始時に培養液にアンモニア態窒素が入っていると，アンモニアの過剰吸収によって障害が出る場合がある．栽培開始時の培養液（スターター培養液）からはアンモニア態窒素を抜いておく方がよい．

★残留塩素

・原水として水道水を用いた場合には，残留塩素に注意する必要がある.

・残留塩素（次亜塩素酸，HClO）は培養液中のアンモニアと結合し，クロラミンとよばれる非常に毒性の強い物質を生成する.

要因	感受性			
	高 ←			→ 低
濃度	キュウリ	トマト ホウレンソウ シュンギク サラダナ		ネギ ミツバ
接触時間	サラダナ シュンギク	トマト キュウリ ホウレンソウ	ミツバ	ネギ

注：感受性が高い→残留塩素に弱い　　（寺林ら）

★残留塩素

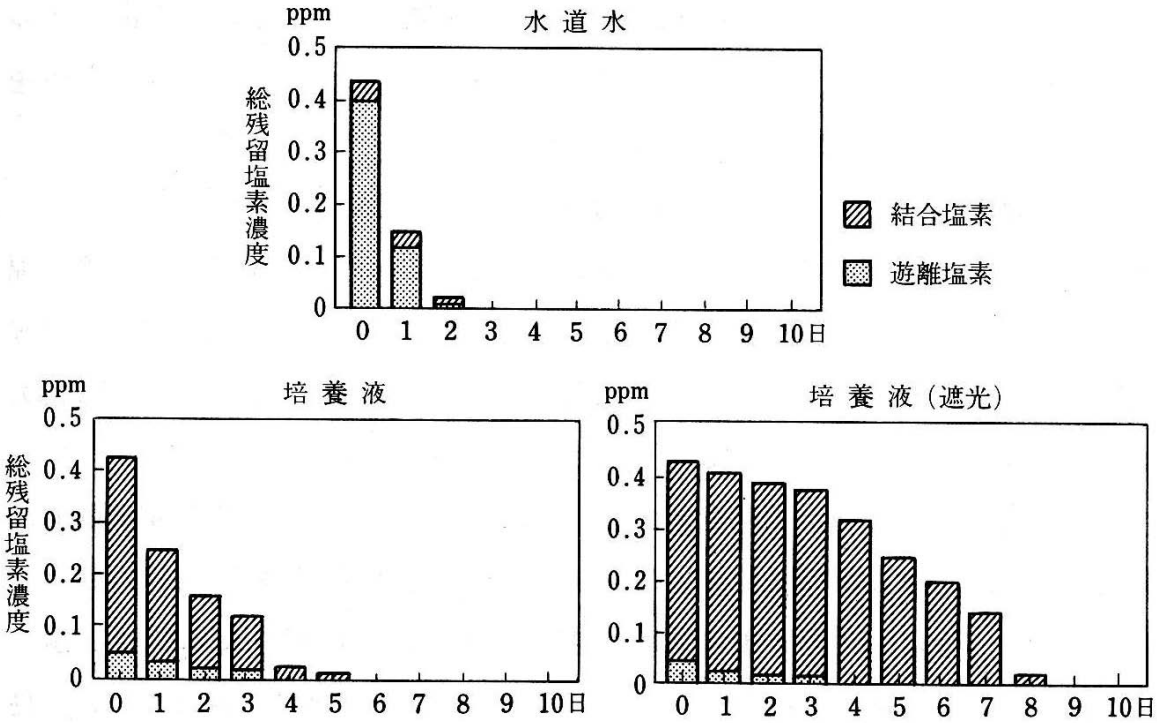
●残留塩素の除去方法

・解放したタンクに水を溜めて，太陽下数日放置する.

・撹拌するとさらに早く抜ける.

・一旦培養液にしてしまうとなかなか抜けない.

・急ぐときは，チオ硫酸ナトリウム（ハイポ）を1,000Lあたり，2.5g添加すると，一瞬で除去できる.



（寺林ら）