

## 水耕の実用化に関する研究

(第2報) 噴霧法について

宮路竜典・中間春男・窪田広

MIYAJI, R., NAKAMA, H. and KUBOTA, H.  
The Practical Use of Water Culture  
(II) On the spraying method

現在 Soiless culture で実用化されているのは 園芸試験場で堀、山崎氏らによって開発された 礫耕があり、全国的に約 20 ha の普及施設がみられる。

筆者らも1961年以来、礫耕実用化研究を続け、各種の供試そさいですばらしい試験成績をおさめてきた。その間県内各地でも一時施設の導入が試みられたが、栽培実績を認めながらその後普及する気配がない。その理由としては、一般的に指摘されているいわゆる過湿害、残根処理、特殊病害、培地並びに培養液温の問題点に、九州ではさらに礫資材の入手難、高価な施設費などの点があげられる。かなり大規模專業化に発展して経営効果をあげるまでの普及過程では、過大な施設費が最も普及上の隘路と思われる。そこでわれわれは礫耕施設簡易化をすすめるために1963年から、砂栽培や湛水礫耕、水耕でエアークンプレッサーによる空気吹込法、液面低下法、サイフォンによる液面上下法、ポンプ強制循環による環流法、ノズルによる噴霧水耕法など独自の設計によって新方式の開発を試み、そのなかで実用規模施設による数作を重ねて噴霧水耕法 Spraying Water culture がかなり実用効果の高いことを認め、すでに本誌第28号で紹介したが、その後の噴霧法につつての試験成績を追加して、第二報をかねその概要を報告する。

## 1 噴霧水耕の原理

ベッドは貯える培養液とほぼ同容積の空間をもって構成し、その空間のパイプに一定間隔でつけられたノズルから、ポンプを通じて直接ベッド培養液を吸入加圧して、作物の曝露根元に噴霧するものである。

培養液減量の自動補水にともなって、作物の養水分吸収の特性にあわせて自動的に施肥が行われ、固定した培養液水位と濃度が確保される見込みがあり、分析を前提とした培養液管理や貯液タンクを必要としない。

培地の溶存酸素はノズルによる噴霧と、培養液の流

動による空気摩擦によってきわめて能率的な供給が行われ、しかもタイムスイッチによるポンプの作動時間で容易に規制できる。

ベッドには、発泡スチロール板の覆蓋を施してやや密閉するが、培地の温湿度の安定、培養液の漏液や蒸発防止、遮光、さらには塵芥や病害虫による培地汚染、散布薬剤の培地混入を防止するとともに、作物の支持をかねさせる。

作物の植えつけは、発泡スチロール板に穿孔して、水耕苗根部を挿入し、スチロール片や綿をつめて固定し、地上部は適当な支柱に誘引する。根は培地中で旺盛に伸長生育することとなる。

## 2. 噴霧水耕施設の構造と経費

まず、ベッド構造は幅 40 cm、深さ 30 cm の半地下式に水平な木框を組み、厚さ 0.3 mm、幅 100 cm の無可塑プラスチックシートを内張りして水漏れのない水槽をつくる。ベッド内の片側上部には 13 mm 硬質塩ビパイプを配管して、100~150 cm 間隔に衝突ノズル（ピーノズル）をつける。ベッドは 2 cm 厚みの発泡スチロール板で密閉し、ノズルに相対する片側よりに 1 列の植穴を株間に応じて設け、交互に開き誘引して 2 条植とするのが果菜対象の構造である。

培養液は株当たり 10~15 l を基準にフロートレス液面リレーで減水量を自動的に補給させ、同時に真空吸引法によって、濃厚培養液を一定培率で補充するが、作物の肥料吸収には、原液濃度や吸入倍率をかえることで自由に調節適合させられる。

配管やモーターポンプの大きさは、施設規模によって異なるが、ノズル 当たり 毎分 1 l の吐出量基準では、400m<sup>2</sup> ハウスで 1/2IP、600m<sup>2</sup> で 1 IP、1000m<sup>2</sup> で 2 IP、2000m<sup>2</sup> が 3 IP となる。ポンプは自吸式低揚程で揚水量の多い渦巻がよい。各ベッドは底部をパイプで連結して、直接ポンプに導いて吸入させ、吐出側バ

イブは各噴霧パイプに連絡するように配管する。ベッド長さ30mまでは、ポンプをハウス片側に配置し一方的な押し込み吐出でよく、それ以上はベッド中央部で吸入、吐出パイプをポンプに連絡して、両側振分け噴霧する。

噴霧水耕ベッドのハウス内配置すなわち土地利用については、慣行法に準ずればよい。

これらの配電、配管費を含めた施設資材経費は144,000円/400m<sup>2</sup>程度の試算となり、1200円/3.3m<sup>2</sup>とかなり安価にできる。現在3.5haの普及施設があるが、施設は簡易構造で、専門技術的要素が少ないために農家の自作が多い。

### 3. 水耕実用化の意義と栽培上の問題

噴霧水耕法は施設が簡易で低廉なことや、液温、溶存酸素の規制も容易であるから、作物の栄養生理や品種生態の解析など能率的な研究手段としての適用も有望である。培地が密閉され降雨など外部環境の影響をうけにくいために、露地水耕でも良好な結果がえられており、多面的な利用が考えられる。

しかし、噴霧水耕の本命は施設園芸における生産の安定と、省力効果に期待されるもので、露耕における病害を除く問題はほぼ解決したように考えられる。

根は完全に排除され前作の影響を残さないために連作は自由となり、連作障害回避を前提とした水田裏作とすることや、ハウス移動の必要もなく、地力にも依存しないから新たな角度から適地を探索できる。また次作に移るまでの準備遊休期間が不要となり、高度な活用体系を組むこともできる。床土の調製、作土の入れ替え、堆肥施用、土壌消毒、耕起をはじめ栽培管理では灌水、施肥などくに土壌条件に対応した規格化できにくい技術面や、不定な過剰労力の要因がなくなるために、規模拡大がはかられるなど、近代化施設としての可能性が大きいことが考えられる。

栽培は、西南暖地の施設園芸としてキュウリ、トマトが主体であることから、これの実用化試験をいそぎ普及に移したが、他作物については今後の試験結果によって追加する。

培養液は Balanced solution を用いて不更新とし、キュウリはNO<sub>3</sub>-N16～8 me/l、トマト5～10me/lの範囲で管理するが、鉄源としてはキレート鉄のEDTA-Feを使用する。PHは栽培初期にかなり変動

するが、とくに調製する必要を認めていない。培地の消毒は水媒伝染性病害の予防として、デクソン10～20ppm処理をし、必要に応じて生育中処理を繰り返す。

水耕の水源は鋳毒、工場廃液、塩水、カナケ水などをさけ、水道水はカルキをガス化飛散させて使用する必要がある。

### 4. 試験成績（噴霧法について）

1) 噴霧間隔噴霧ノズルの間隔2.5, 2, 1.5, 1mの処理区を設け、暖地抑制トマト、半促成キュウリで検討した。その結果を要約すると、暖地抑制トマトでは定植後の培地内曝露根部の噴霧が、噴霧間隔によって届か届かないかで、届かない株の初期生育がかなり遅れる影響が認められたが、半促成キュウリでは区間差が明らかでなく、順調であった。これは作物の種類によらず、冬期と夏期の栽培気象環境によるためと考えられる。すなわち夏期は高温、強光でハウスが開放されるから湿度も低く、しかも培養液温も高いために溶存酸素の飽和度が低く、作物は蒸散、呼吸など生理作用が旺盛であることなどのために、曝露根部への噴霧が作物生育に効果的に作用するもので、冬期はこれに反し、低温弱光でハウスは密閉されて湿度は高く、しかも培養液溶存酸素が多く、作物の生理作用も低調であることから、生育に対して噴霧の影響が少いものと思われる。

処理区間の収量については僅差ではあるが、キュウリ、トマトとも傾向が一致して、噴霧間隔の広くなるにつれて明らかに少なくなっている。また溶存酸素の推移でも収量差傾向と類似して、噴霧間隔の広いほど少くなるが、この処理範囲からとくに実用上問題となる点は認められなかった。

以上の結果から、噴霧間隔の影響は夏期にその効果が多面的で著しく、冬期は溶存酸素主体に効果がみられ、毎分ノズル当たり1ℓの標準噴霧量の場合に、ノズル間隔は1～1.5mが適当で、これを実用基準にした。

2) 噴霧時間 3, 6, 12, 24時間区において、まず噴霧時間と培養液温では、24時間区の液温が期間月平均で最高21.5±1.3, 最低18.9±1.7で較差2.6°Cと、従来の成績同様に生育適温に近く極めて安定している。また同区の培地気温のそれは22.0, 18.9, 較差3.1°Cで、わずかに最高平均で0.5°C高くなっているが、発泡スチロール板による断熱効果で、外

温の影響をうけにくいことがうかがわれる。噴霧時間による液温の特徴は、最低温で差がみられないが、最高温が噴霧時間の短縮されるにつれてやや高くなり、それだけ最高最低の日較差がわずかに拡大するとともに、その振れも大きくなる。しかし僅差であって、そのために生育差を生ずるほどではない。

収量では、噴霧時間の短縮されるにつれて傾向としてキュウリ、トマトともに少くなるが、トマトの区間差は少く、キュウリが影響をうけやすい。溶存酸素は当然に噴霧時間が短くなるにつれて低下歩合が大きく、振れも大となり不安定な状態がみられる。生育並びに収量や常識的な溶存酸素の飽和度から、実用施設での噴霧時間は1日昼間4～6時間とした。噴霧としては間隔より時間の影響が大きく、季節的には冬期の栽培で問題は少ないが、夏期に効果が著しく、とくに初期生育に影響することから季節によって加減を要し、定植後4～5日は昼間連続噴霧が望ましい。

3) 溶存酸素と果菜生育相の関係 噴霧の間隔ならびに時間で共通してみられた生育相のちがいは第6表で明らかのように、噴霧量としてみた場合、葉数では大差ないが、噴霧量が少なくなるにつれて、次第に草丈の伸長がよくなり、さらに葉が大きくなる傾向がみられる。培地温にそれ程差のないことから、培養液中溶存酸素の多少がおよぼす生育相の相異と考えられる。飽和度に近い溶存酸素(通気過度)は節間長、葉の大きさに抑制的に作用していることが推察され、このようにしまった生育相は実用的にはむ

しろ観迎されるもので、噴霧によって生育相の調製できる見通しがえられたことは注目されることである。しかし培養液中溶存酸素は実用となる水準においてのことで、30～40%以下とくに10%以下に常時生育させると逆に節間つまり、小葉で生育不振となることは、過去液面低下法などで経験していることである。

4) 培地内曝露根部への噴霧 直接作物根部に噴霧するかしないで、生育収量におよぼす影響をしようとすると、実用施設の施工基準を求める目的で、ノズルと作物根部の中間をフィルムで遮断して比較した。すでに述べてきたように噴霧効果の大きい夏期は苗の萎凋が著しく、処理の適用を定植5日後にずらさざるをえなかった。キュウリ、トマトとともに生育相は、多量噴霧に対する少量噴霧でみられたようにやや徒長傾向で、栽培全期を通じて葉色や果色がやや淡く、栄養生長の最も旺盛な時期に、一時的に軽度なMg欠類似症状の葉脈間退色現象がみられたが、収量差はみられなかった。根群生態では、根部噴霧が根径細く、長く、培地中深く旺盛に伸長するのに比較して、非根部噴霧のベッド内空間の根は、根数多く、根径太く、短く、カルス状発達がみられ、液面低下法の根群生態にやや共通した特徴がみられた。

培地内の曝露根部へ噴霧して、常にうるおす効果は、本方式の特徴の一部を加担するもので、噴霧は正しく作物の根基部にむけるよう施工することが必要である。

第1表 噴霧間隔と果菜の収量

## 1-1 半促成キュウリの収量(10株当り)

区	上 果		下 果		合 計		標 準 比		上 果 歩 合		上果1本 平均重
	本 数	重 量	本 数	重 量	本 数	重 量	上果数	総果重	本 数	重 量	
2.5 m	394	43.8	37	1.2	431	45.0	95	95	91	97	g
2.0 m	408	45.3	22	0.9	430	46.2	98	97	95	98	111
1.5 m	406	46.0	32	1.3	438	47.3	98	100	93	97	113
1.0 m	415	46.5	25	0.9	440	47.4	100	100	94	98	112
礫 耕	375	40.6	26	0.8	401	41.4	90	87	94	98	108

## 1-2 暖地抑制トマトの収量

区	個		個		個		%	%	%	%	%
	個	kg	個	kg	個	kg					
2.5 m	147	24.2	5	0.2	152	24.4	86	93	97	99	164
2.0 m	159	24.4	5	0.2	164	24.6	94	94	97	99	153
1.5 m	170	25.4	5	0.2	175	25.6	100	98	97	99	149
1.0 m	170	26.0	5	0.2	175	26.2	100	100	97	99	153
礫 耕	156	25.6	2	0.1	158	25.7	92	98	99	100	164

第 2 表 噴霧間隔と培養液中溶存酸素の推移

2-1 半促成キュウリ栽培期間中の溶存酸素

区	月日 項目	2月4日			3月4日			4月4日			5月4日			6月3日			期間平均飽和度
		O <sub>2</sub>	水温	飽和度	O <sub>2</sub>	水温	飽和度	O <sub>2</sub>	水温	飽和度	O <sub>2</sub>	水温	飽和度	O <sub>2</sub>	水温	飽和度	
	2.5 m	7.5	19.5	81.4	6.6	21.3	74.9	4.9	18.0	51.8	3.7	20.8	41.3	3.0	22.9	34.8	54.3
	2.0 m	8.6	17.3	89.9	6.9	20.3	76.6	6.1	17.0	63.6	4.4	19.5	48.2	3.2	22.2	37.1	61.4
	1.5 m	8.1	18.2	86.0	7.0	21.7	79.3	6.3	18.2	67.3	5.1	20.6	56.7	4.8	23.9	57.1	66.1
	1.0 m	8.2	18.4	87.1	7.6	21.7	86.0	7.4	17.8	78.2	6.6	20.3	73.1	4.9	24.2	58.9	73.8

2-2 暖地抑制トマト栽培期間中の溶存酸素

区	月日	8月30日			9月30日			10月21日			11月15日			12月20日			平均
		O <sub>2</sub>	水温	飽和度	O <sub>2</sub>	水温	飽和度	O <sub>2</sub>	水温	飽和度	O <sub>2</sub>	水温	飽和度	O <sub>2</sub>	水温	飽和度	
	2.5 m	5.8	28.1	76.0	7.0	19.5	70.1	7.6	17.2	78.9	8.2	17.9	86.6	8.8	15.9	89.5	76.8
	2.0 m	5.6	28.6	73.0	7.1	20.3	78.8	7.6	18.5	81.6	8.2	19.3	89.3	9.2	17.5	96.1	81.0
	1.5 m	5.8	28.3	74.4	7.1	19.7	77.8	8.1	17.3	83.9	8.5	18.0	89.4	9.3	16.0	94.3	81.2
	1.0 m	6.1	29.0	79.7	7.3	20.3	80.5	8.4	18.2	89.6	8.8	19.0	94.7	9.3	17.0	96.7	85.7

- 注. 1. 分析：Winkler 法，O<sub>2</sub>：mg/l，水温：°C，飽和度：%  
 2. 期間平均飽和度は半促成キュウリ15回，暖地抑制トマトは6回分析の平均値  
 3. キュウリは毎分1ノズル0.5 l，トマトは1 lの吐出量の場合

第 3 表 噴霧水耕における半促成果菜栽培期間中の噴霧時間と培地温の特性 (°C)

月	処理 項目	3時間噴霧液			12時間噴霧液			24時間噴霧液			24時間噴霧培地内気温			礫培地温			ハウス内温		
		最高	最低	較差	最高	最低	較差	最高	最低	較差	最高	最低	較差	最高	最低	較差	最高	最低	較差
		2	19.9	17.0	2.9	19.5	16.6	2.9	18.7	16.6	2.1	19.1	16.7	2.4	20.6	13.8	6.8	29.2	13.2
3	19.9	15.9	4.0	19.6	16.4	3.2	19.3	16.4	2.9	19.5	16.6	2.9	20.7	13.9	6.8	28.5	13.3	15.2	
4	21.1	16.8	4.2	20.3	17.1	3.2	20.0	17.4	2.6	20.2	17.2	3.0	20.9	15.4	5.5	29.9	16.4	13.5	
5	24.3	19.8	4.5	23.5	20.1	3.4	23.3	20.6	3.0	24.2	20.6	3.6	24.0	18.5	5.5	35.7	19.9	15.8	
6	25.7	23.4	2.3	26.7	23.5	3.2	26.0	23.7	2.3	26.9	23.4	3.5	26.2	21.6	4.6	37.4	24.0	13.4	
期間平均	22.2	18.6	3.6	21.9	18.6	3.3	21.5	18.9	2.6	22.0	18.9	3.1	22.5	16.6	5.9	32.1	17.4	14.7	

第 4 表 噴霧時間と果菜の収量

4-1 半促成キュウリの収量 (10株当たり)

区	項目	上果		下果		合計		標準比		上果歩合		上果1本平均重
		本数	重量	本数	重量	本数	重量	上果数	総果重	本数	重量	
		3時間	本	kg	本	kg	本	kg	%	%	%	
	386	40.6	31	1.1	417	41.7	93	88	93	97	105	
	389	41.6	33	1.1	422	42.7	94	90	92	97	107	
	406	42.1	41	1.6	447	43.7	98	92	91	96	104	
	415	46.5	25	0.9	440	47.4	100	100	94	98	112	
	礫耕	375	40.6	26	0.8	401	41.4	90	87	94	108	

注. 品種：久留米落合H型，播種：1965.12.13，定植：1966.1.27，収穫：2月中旬～6月下旬

4-2 暖地抑制トマトの収量 (10株当たり)

区	月日	個	kg	個	kg	個	kg	%	%	%	%	g												
													3時間	159	25.6	5	0.2	164	25.8	94	99	97	99	166
													6"	170	25.6	5	0.2	175	25.8	100	99	97	99	151
12"	171	25.7	4	0.1	175	25.8	101	99	98	100	150													
24"	170	26.0	5	0.2	175	26.2	100	100	97	99	153													
礫耕	156	25.6	2	0.1	158	25.7	92	98	99	100	164													

注. 品種：東光，播種：1965.7.25，定植：8.26，収穫：10月中旬～12月下旬

第5表 噴霧時間と培養液中溶存酸素の推移  
5-1 半促成キュウリ栽培期間中の溶存酸素

区	月日 項目	2月4日			3月4日			4月4日			5月4日			6月3日			期間平均飽和度
		O <sub>2</sub>	水温	飽和度	O <sub>2</sub>	水温	飽和度	O <sub>2</sub>	水温	飽和度	O <sub>2</sub>	水温	飽和度	O <sub>2</sub>	水温	飽和度	
3	時間	7.2	18.6	76.7	5.3	20.3	59.0	4.2	17.3	44.0	3.0	19.7	33.0	3.0	22.9	35.2	46.1
6	"	7.9	18.7	85.1	7.5	22.0	86.2	6.4	18.3	67.7	4.3	19.7	46.8	4.0	22.9	46.0	61.7
12	"	8.1	18.9	87.0	7.0	21.2	79.1	6.8	17.8	71.2	6.6	20.5	72.7	4.9	22.9	57.5	68.3
24	"	8.2	18.4	87.1	7.6	21.7	86.0	7.4	17.8	78.2	6.6	20.3	73.1	4.9	24.2	58.9	73.8

5-2 暖地抑制トマト栽培期間中の溶存酸素

区	月日 項目	8月30日			9月30日			10月21日			11月15日			12月20日			平均
		O <sub>2</sub>	水温	飽和度	O <sub>2</sub>	水温	飽和度	O <sub>2</sub>	水温	飽和度	O <sub>2</sub>	水温	飽和度	O <sub>2</sub>	水温	飽和度	
3	時間	6.1	29.0	79.4	4.9	19.7	53.3	5.7	16.7	58.7	6.5	17.4	68.0	7.3	15.5	73.6	61.4
6	"	6.2	29.0	80.3	6.2	19.7	67.4	6.7	17.2	69.2	7.3	17.6	77.0	7.7	15.7	77.1	70.5
12	"	6.1	29.0	79.8	6.7	19.5	73.1	8.3	18.0	88.2	8.4	18.7	90.3	9.3	16.9	96.3	82.8
24	"	6.1	29.0	79.7	7.3	20.3	80.5	8.4	18.2	89.6	8.8	19.0	94.7	9.3	17.0	96.7	85.7

第6表 噴霧法と半促成キュウリの生育相の関係

噴霧法	項目 処理	定植15日目			定植45日目		
		草丈	葉数	葉長	草丈	葉数	葉長
噴霧間隔	2.5 m区	110	112	127	121	105	149
	2.0 m区	101	100	93	101	104	112
	1.5 m区	99	100	85	100	102	109
	1.0 m区	100	100	100	100	100	100
噴霧時間	礫 耕	81	71	51	110	96	117
	3 時間	126	120	156	132	107	140
	6 "	120	115	151	115	101	120
	12 "	111	110	112	113	99	105
24 "	100	100	100	100	100	100	
礫 耕	81	71	51	110	96	117	

注. 数値は標準区対比%

第7表 半促成トマトの生育期とNo<sub>3</sub>-Nの吸収濃度

生育期	項目 生育期	水 吸 収 量	分 量	No <sub>3</sub> -N 吸 収 量	No <sub>3</sub> -N 吸 収 濃 度
		652 t		98.4 g	12.5 me/t
		1,339		165.9	8.8
		2,213		196.2	6.3
		4,114		460.5	8.0

注. 1. 45株当たり 2. 収量3.8kg/株