

毛管水耕法利用によるトマト栽培について

大木三男・加藤泰正・山本満寿夫

信州大学繊維学部繊維植物生産学講座

昭和30年代後半の礫耕に端を発する我が国の養液栽培は、その後湛液方式の伝統を受け継ぎながら幾多の装置の開発、改良を経て多様化し今日に至っている。これらの方式の多くは根に対する強制的な酸素供給を不可欠としており、そのために消費されるエネルギーは少なくない。そこで我々は、省エネルギーを極限まで追求しうる方式として毛管水耕法に注目している。この方式によると、培養液は絶えず吸水布の毛管力によって吸い上げられ植物の根に供給されるので、根圏部は直接培養液に浸漬されることなく、適度の湿りを与えられつつ空気と接触している。したがって通気は一切必要とせず、植物によって吸収された養水分の補給のみを行えばよい。しかし一方において、毛管水耕法では根の周囲に存在する液量が少ないため、根圏部における培養液の組成、濃度、pH等の変化が著しく大きくなるものと予想される。

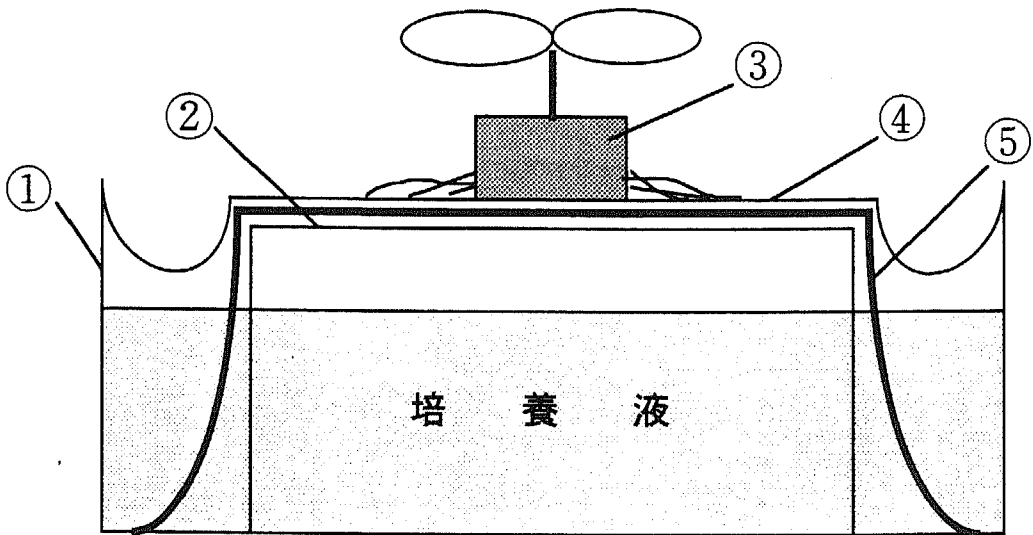
そこで本報では、毛管水耕法による安定したトマト栽培を確立するための基礎資料を得る目的で、主として根圏部における培養液の組成や濃度変化の実態と、それらがトマトの生育・収量に及ぼす影響について調査した。

材料および方法

本研究に用いた毛管水耕用装置(第1図)の構造は、ポリビニルアルコールを素材とする強親水性不織布(吸水布)と、根を貫通させないポリエステル製織布(防根布)より成り、これを容積40ℓのコンテナにセットしたものを単位装置とした。本装置は動力を使用せず、吸水布が吸収した養水分を防根布を通じて植物根に供給する。そのさい植物による養水分の吸収がさらなる吸水布による水の引き上げを誘起するので、かくして植物の要求に応じた養水分の補給もある程度可能となる。

栽培は信州大学繊維学部付属農場で行い、予めロックウールキューブに播種(1992年3月16日)育苗したトマト苗(品種:サターン)を、1コンテナ当り2株宛て定植(4月7日)、暫定的な培養液として Hoagland 培養液を用い、標準濃度区(S区)と1/2濃度区(L区)の2段階濃度で実験を開始した。5月29日、第3果房開花期にS区の半数を標準濃度の1.25倍に引き上げ(SH区)、L区の半数を標準濃度とし(LS区)、全4区で栽培を継続した(第1表)。

各コンテナの培養液量が1/3~1/2に減少した時点で減水量を測定、培養液および根圏部養液の



第1図 毛管水耕装置の構造

- ① 栽培コンテナ ② 穴空きコンテナ ③ ロックウールキューブ
 ④ 防根布 ⑤ 吸水布

第1表 Hoagland培養液の組成と各処理区の濃度(me/l)

	NO ₃ -N	K	Ca	Mg	S	P*
標準濃度区 (S区)	14	6	8	4	4	1
1/2濃度区 (L区)	7	3	4	2	2	0.5
標準濃度→1.25倍濃度区** (SH区)	17.5	7.5	10	5	5	1.25
1/2濃度→標準濃度区** (LS区)	14	6	8	4	4	1

* : 本報ではPを1価イオン(H₂PO₄⁻)として取り扱う

** : 処理の変更は5月29日、表中には処理変更後の濃度を示す

サンプリングを行うと共に、新たな培養液を補給して所定量(30 l)にもどした。以後実験終了時まで、同様の操作を反復した。培養液サンプルは pH, EC(電気伝導度), NO₃-N, K, P, Ca, Mg, S について化学分析を行った。

結 果

トマトの生育状況は第2表に示すとうり生育初期(5月29日)においては、高濃度のS区で茎葉の繁茂が明らかに旺盛であったが、後期(7月3日)に至ると茎径を除き高濃度区(S区, SH区)と低濃度区(L区, LS区)の差はなくなった。一方、果実収量(第3表)については、高濃度区ほど高温時に尻腐れ果が多発した為に、L>LS>S>SH区の順となった(5%で有意)。しかし果実の糖度は培養液濃度との相関が高く、SH, S>LS>L区の順で高濃度区ほど高い値を示した(5%で有意)。

第2表 各区の生育状況

7月3日	葉長(cm)					草丈(cm)	茎径(mm)
	第16葉	第18葉	第20葉	第22葉	第24葉		
S区	43.1	40.3	35.9	33.4	28.5	138.2	18.4
SH区	39.1	37.6	34.5	32.7	26.2	132.9	18.3
LS区	40.9	40.5	41.2	37.6	33.7	146.1	14.1
L区	40.7	38.7	38.5	36.8	32.6	140.5	14.7
LSD5%	4.8	4.0	3.5	5.2	8.5	17.6	1.4

5月29日	葉長 (cm)				草丈(cm)	茎径(mm)
	第6葉	第8葉	第10葉	第14葉		
S区	47.5	48.7	51.4	31.3	80.4	18.2
L区	36.0	37.8	40.5	25.5	71.3	13.1
t-test	**	**	**	**	**	**

注 ** : 1%水準で有意差あり

第3表 各区におけるトマトの果実収量および糖度

	正常果	尻腐れ果		糖度	
	g/株	g/株	個/株	%	Brix値
S区	1196.5	1084.3	17.7	63.9	6.98
SH区	734.4	1160.7	22.7	79.1	7.19
LS区	1887.6	531.1	6.7	29.9	5.75
L区	3667.1	282.1	2.2	8.3	4.99

根圏部における pH, EC および各栄養成分要素の濃度変化の詳細を第4表に収録した。pH については各区を通じそれほど極端な値は見られず、全体として比較的安定的に推移したといえるが、L区, LS区など低濃度区においては、pH が往々にして7を越える高い値を示している。pH と EC を比較すると、両者の間には逆相関の関係が認められ、特に EC が低下すると pH は上昇する傾向が強い。

第4表 各試験区における根圏部養液のpH,EC(mS/cm)および各養素の濃度(me/l)の経時的変化

H区	pH	Ec	NO ₃ -N	K	Ca	Mg	H ₂ PO ₄ -P	SO ₄ -S
4月7日	6.63	2.1	14.0 (100.0)	6.0 (100.0)	8.0 (100.0)	4.0 (100.0)	1.00 (100.0)	4.0 (100.0)
5月1日	6.60	2.4	16.4 (116.9)	6.0 (99.7)	10.7 (133.7)	5.9 (147.8)	0.83 (83.0)	5.5 (138.4)
5月29日	6.70	2.1	12.6 (89.7)	4.9 (81.0)	10.0 (124.4)	5.3 (132.5)	0.80 (79.6)	4.1 (103.1)
6月9日	5.40	3.7	27.3 (195.1)	7.2 (119.4)	19.0 (237.2)	11.1 (278.4)	0.98 (98.4)	5.3 (131.7)
6月17日	5.45	4.4	31.4 (224.5)	10.2 (170.5)	20.8 (260.6)	12.1 (301.9)	1.26 (126.1)	8.3 (207.8)
6月23日	4.89	6.7	55.2 (394.4)	12.7 (211.4)	21.3 (265.7)	11.5 (286.8)	1.21 (121.3)	19.8 (493.8)
7月2日	5.37	8.7	76.5 (546.5)	17.5 (291.1)	22.5 (281.0)	13.5 (337.7)	1.49 (149.3)	18.7 (467.2)
7月15日	5.26	9.7	88.6 (632.5)	20.8 (347.0)	33.3 (415.8)	19.6 (490.7)	1.43 (143.1)	25.0 (625.0)
7月29日	5.26	10.3	96.6 (689.9)	23.9 (398.1)	29.7 (371.8)	20.0 (500.0)	2.79 (279.0)	27.8 (693.8)

HH区	pH	Ec	NO ₃ -N	K	Ca	Mg	H ₂ PO ₄ -P	SO ₄ -S
4月7日	6.63	2.1	14.0 (100.0)*	6.0 (100.0)*	8.0 (100.0)*	4.0 (100.0)*	1.00 (100.0)*	4.0 (100.0)*
5月1日	6.60	2.4	16.4 (116.9)	6.0 (99.7)	10.7 (133.7)	5.9 (147.8)	0.83 (83.0)	5.5 (138.4)
5月29日	6.70	2.1	12.6 (89.7)	4.9 (81.0)	10.0 (124.4)	5.3 (132.5)	0.80 (79.6)	4.1 (103.1)
6月9日	5.35	4.5	36.3 (207.2)	10.0 (133.0)	23.3 (232.6)	14.5 (290.5)	1.24 (99.1)	7.4 (147.5)
6月17日	5.30	4.8	28.6 (163.3)	12.3 (163.7)	22.2 (222.3)	13.8 (275.7)	1.38 (110.7)	8.3 (166.3)
6月23日	4.94	7.4	60.5 (346.0)	5.9 (79.1)	21.3 (212.9)	11.9 (238.5)	1.47 (117.6)	18.0 (360.0)
7月2日	5.11	6.9	55.4 (316.7)	17.4 (231.9)	18.8 (187.9)	10.7 (214.7)	1.59 (127.6)	14.6 (292.5)
7月15日	5.26	8.6	86.8 (495.8)	21.0 (279.6)	26.7 (267.2)	16.7 (333.8)	1.16 (92.7)	21.0 (420.0)
7月29日	5.02	10.5	101.7 (581.3)	29.9 (398.6)	28.1 (280.9)	18.4 (368.1)	2.89 (231.5)	26.9 (537.5)

LH区	pH	Ec	NO ₃ -N	K	Ca	Mg	H ₂ PO ₄ -P	SO ₄ -S
4月7日	6.70	1.1	7.0 (100.0)*	3.0 (100.0)*	4.0 (100.0)*	2.0 (100.0)*	0.50 (100.0)*	2.0 (100.0)*
5月1日	7.50	0.69	2.4 (34.2)	0.6 (19.6)	4.6 (114.2)	2.5 (125.3)	0.16 (31.8)	2.7 (134.3)
5月29日	7.30	0.77	1.8 (25.9)	0.9 (29.0)	4.2 (106.1)	2.2 (108.2)	0.22 (43.0)	2.4 (120.0)
6月9日	6.83	1.89	10.5 (75.3)	3.3 (55.4)	10.3 (129.1)	5.8 (143.8)	0.69 (69.4)	4.7 (117.7)
6月17日	5.95	3.10	24.0 (171.4)	6.1 (102.3)	16.0 (199.4)	9.3 (233.5)	1.01 (100.6)	7.2 (179.7)
6月23日	6.18	3.90	25.6 (183.1)	4.5 (74.2)	14.7 (183.9)	8.2 (206.0)	1.00 (99.5)	11.6 (290.6)
7月2日	5.54	5.80	45.3 (323.3)	7.2 (119.8)	18.1 (225.8)	10.6 (264.6)	1.28 (127.5)	16.8 (420.3)
7月15日	5.39	9.40	90.7 (648.0)	18.0 (299.2)	31.5 (393.3)	19.8 (495.3)	1.59 (159.5)	28.1 (701.6)
7月29日	5.28	10.50	89.5 (639.3)	24.2 (404.1)	31.1 (389.3)	19.5 (486.8)	2.98 (297.7)	25.5 (637.5)

L区	pH	Ec	NO ₃ -N	K	Ca	Mg	H ₂ PO ₄ -P	SO ₄ -S
4月7日	6.70	1.1	7.0 (100.0)	3.0 (100.0)	4.0 (100.0)	2.0 (100.0)	0.50 (100.0)	2.0 (100.0)
5月1日	7.50	0.69	2.4 (34.2)	0.6 (19.6)	4.6 (114.2)	2.5 (125.3)	0.16 (31.8)	2.7 (134.3)
5月29日	7.30	0.77	1.8 (25.9)	0.9 (29.0)	4.2 (106.1)	2.2 (108.2)	0.22 (43.0)	2.4 (120.0)
6月9日	7.64	0.96	3.4 (48.4)	1.3 (44.3)	5.4 (135.7)	2.7 (134.6)	0.32 (63.5)	2.7 (136.6)
6月17日	7.24	1.23	6.3 (90.1)	2.1 (69.9)	5.8 (145.9)	4.1 (204.1)	0.40 (80.0)	3.6 (178.8)
6月23日	7.38	1.29	6.3 (90.1)	2.4 (80.1)	6.0 (149.9)	3.2 (160.5)	0.38 (77.0)	3.7 (182.8)
7月2日	7.25	1.56	7.8 (111.5)	2.1 (69.9)	6.6 (164.0)	3.8 (190.5)	0.38 (77.0)	5.9 (293.4)
7月15日	6.79	2.20	29.3 (419.1)	2.1 (70.8)	11.3 (281.5)	6.7 (333.7)	0.37 (73.9)	10.2 (509.4)
7月29日	6.83	4.10	36.1 (515.1)	5.3 (175.6)	15.4 (384.7)	11.2 (561.7)	0.41 (81.9)	14.3 (712.5)

注 () 内の数値は各区の初期濃度を100とした時の相対値

Pは1値のイオン(H₂PO₄)として取り扱っている

* : 5月29日以降についてはS H区については1.25倍濃度を、L S区については標準濃度を基準値とする相対値

次にEC値を見ると、S区では5月29日まで極めて安定していたが、その後急激に上昇を始め、生育末期の7月29日にS区で10.3、S H区で10.5という極度に高い値を記録した。これらの区に尻腐れ果が多発したのは、この根圏部におけるEC値の上昇に主要な原因があったと考えられる。

以上のように生育初期に比較的安定していたEC値が、5月29日を境に急激に上昇に転じたが、この時期は丁度第3花房の開花期に当たっており、いわば栄養生長から生殖生長への転換期に相

当するものと考えられる。このような規定に基づいて以上のS区およびSH区のECの経緯を見るならば、栄養生長期と生殖生長期ではトマトの培養液濃度に対する要求はかなり明確に異なっており、生殖生長期にはいるといわゆる吸収濃度が持続的に低下していくものと推察される。

一方L区およびLS区など低濃度区についてみると、これらの区では生育初期に根圏部のECがかなり低下しているところから、トマトの栄養生長にとって、この培養液濃度(標準濃度の1/2)ではやや低すぎるものと推定される。ところがLS区は初期にL区と同じ濃度を与え、5月29日以降標準濃度に上昇させた区であるが、生育末期のEC値を見ると、S区やSH区などの高濃度区に匹敵する程度にまでEC値が上昇している。この点から判断しても、毛管水耕法の場合、トマトの生殖生長期には培養液濃度の低下を計ることが、とくに必要であると思われる。

次に根圏部養液の無機栄養素について、要素別に濃度変化を見てみると(第4表)、まず5月29日までの栄養生長期については、標準濃度で与えたS区の方が概して濃度変化が少なく、一方L区ではNとKが著しい濃度低下を示した。これに対してCa, MgおよびSの3要素は、S区とL区の間で与えた濃度が異なっているにもかかわらず、いずれの区も栄養生長期には濃度変化が起こりにくいという特徴が見られた。換言すれば、これらの要素は低濃度(標準濃度の1/2)で与えても一応植物の要求は満たされるものと思われるが、これを標準濃度に上げれば、吸収の方もまたそれなりに増加するということである。またPについてはS区で濃度が比較的安定した推移を示したが、L区では濃度低下が著しかった。以上のように根圏部における各要素の濃度変化を見るかぎり、トマトの栄養生長期には Hoagland の標準濃度培養液をそのまま用いても、特に大きな過不足はないように思われる。

ところが5月29日以降の生殖生長期にはいると、様相はかなり異なってくる。全体の傾向としてL区以外の各区で、生育が進むに連れてすべての要素の濃度が著しく上昇し、しかも最終的にはS区, SH区およびLS区の3区間でほとんど差が認められなくなった。したがって濃度面から見ると、生殖生長期には標準濃度ではすべての要素について供給が過剰となるものと思われる。

生殖生長期における要素の供給過剰は、全期間を低濃度で与えたL区においてもPを除いて最終的には認められているが、他の3区に比べると濃度の上昇は極めて緩慢で、急激な上昇は生育末期になって初めて認められた。このL区の各要素について、濃度がその要素の初期濃度を越える時期を示すと、Mg: 4月7日, S: 5月1日, Ca: 5月1日, NO₃-N: 7月15日, K: 7月29日, となり、Pのみは遂に初期濃度を越えることはなかった(第4表)。またこれらの要素のうち、最終的な濃度上昇率の高い順に並べてみると、S, Mg, NO₃-N, Ca, K, Pの順となる。この2つの序列から判断して、生殖生長期に Hoagland 培養液を与えた場合にもっとも過剰になり易い要素としてS, Mg, ついでCaが挙げられよう。逆に上記の結果からするとL区におけるPとKは濃

度が不足、あるいはやや不足ということになるが、両者とも生殖生長期にはそれぞれの初期濃度を割り込んではいるものの、濃度はそれなりに安定しているところから、L区の濃度はかなり適性濃度に近いものと解釈すべきであろう。

考 察

本研究で行った毛管水耕は、植物の吸収に基ずく培養液の不足を補給するのみで、通気はもとより pH 管理も一切行わなかったが、にも拘わらず本毛管水耕装置による植物の生育は全般に良好であった。処理区毎に見ると、栄養生長期にはL区よりもS区の方が茎葉の生育が優っていたが、生殖生長期には低濃度区と高濃度区の生育に差は見られなくなった(第2表)。生殖生長期にS区やSH区の栄養生長が鈍ったのは、根圏部における培養液のECの著しい上昇が、根の生理障害を引き起こし、養水分の吸収が低下したことに起因すると考えられる。実際に、高濃度の処理区ほど根の褐変・退化が認められた。このことから毛管水耕においては、培養液の組成と濃度が植物の要求によく適合していることが、極めて重要であることがわかる。

生育調査及び観察の結果からは、栄養生長期のS区はやや過繁茂に生育し、果実肥大期においても果実が葉に隠ぺいされる状況にあったので、栄養生長期の培養液濃度は標準濃度では高すぎ、適濃度はS区とL区の間にあると思われるが、生殖生長期にはL区の濃度付近、ないしはより低濃度で栽培するのが有効であると推察される。

果実の総収量はL区が最高で、他の処理区では尻腐れ果の多発により減収した(第3表)。この尻腐れ果の多発の直接的原因は果実中のCa含量の低下によるが、これをもたらす要因として培養液中のCa濃度の低下、結果期の気温ならびに液温の上昇、培養液中のN(特に $\text{NH}_4\text{-N}$)、S、Mg等の成分濃度の上昇などが挙げられる(1)。山崎(2)は水耕によるトマト栽培を種々の条件で行っているが、その実験結果を見ると高温時には一般の水耕においても100%近い尻腐れ果が発生しており、これに比べて本毛管法における尻腐れ果の発生率が特に高いとはいえない(第3表)。むしろ本装置の根圏部の濃度上昇がきわめて著しいものであっただけに(第4表)、培養液濃度・組成の改善によって尻腐れ果の発生を軽減することは、十分に可能であると思われる。

この根圏部における各要素の濃度は、生殖生長期(5月29日以降)に急激に上昇し特に高濃度区で顕著であった(第4表)。しかし濃度の上昇率が要素によって大きく異なったのは、今回使用したHoagland培養液の組成が、生殖生長期のトマトの養分吸収特性によく合致していなかったことを示すものにほかならない。毛管水耕においても培養液そのものの濃度や組成の変化は比較的緩やかに行われるが、毛管法の場合培養液と根は隔離されて存在し、しかも根が直接接触する根

圈部の液量が非常に少ないため、根圏部における濃度や組成の変化が極端なまでに拡大されることが本研究の結果明かとなった。これは培養液管理をはなはだ困難ならしめる要因として、毛管法の欠点とも言えるが、しかしこの点は適正な組成と濃度の培養液を使用することで克服しうる。また養液補給の都度、根部を補給液で洗浄しながら液を栽培槽に注入するようになれば、恐らく上記の問題は解消すると思われる。

参 考 文 献

- 1) 山崎 肯哉(1984)：養液栽培全編、博友社、P.177.
- 2) 山崎 肯哉、鈴木 芳夫、篠原 温(1976)：東教大農紀要.22、53-100.