トマトの水耕密植低段摘心栽培における定植後の 溶存酸素濃度が果実収量と 品質に及ぼす影響

大河内信夫^{*1}・榊田正治^{*2}・浅平 端^{*}京都大学農学部^{*}現 静岡大学教育学部^{*1}・現 宮崎大学農学部^{*2}

トマトの水耕密植低段摘心栽培における定植後の溶存酸素濃度の管理方法について検討した。

トマト苗は生育初期から低濃度の溶存酸素条件下で栽培すると、1.3 ppm でも萎凋症状や根ぐされ症状は認められず、また、2 時間程度なら 0.9 ppm までの溶存酸素濃度の低下にも耐性のあることが明らかとなった。

定植後の溶存酸素濃度管理と果実の空どう発生との関係を調べた。空どう程度は果実の比重を測定して表示した。果実の空どう程度が、商品として価値をもつ限界は比重 0.9 であると判断した。

8 月から 4 月まき栽培では、定植後の夜間の給液サイクルは第 2 段花房着果期まで減らし、多くとも 360 分間に 1 回 15 分間給液し、草勢を抑え、第 2 段花房着果以後、昼夜の溶存酸素濃度を高く 60 分間に 1 回 15 分間給液することにより、比重 0.9 以上となる果実の生産割合を高めることができた。しかし、7 月まき栽培では、上記の溶存酸素濃度管理によると裂果が多く発生し、今後さらに検討する必要がある。

1979 年 4 月 2 日受付

結 言

トマトの水耕密植低段摘心栽培に適した苗は、茎の細い、葉の小さい、根の少ない、かつ花房の健全である、きわめてコンパクトな草姿を呈するものがよく、そのためには、育苗期間中に培養液への酸素の供給は積極的に行わない方がよいことを前報¹⁾において報告した。

一般に、水耕栽培では培養液中の溶存酸素濃度が生育、収量に大きな影響を及ぼすため^{2,3)}、定植直後から培養液

の溶存酸素濃度をある程度高く保って栽培を行うことが生育、収量により結果をもたらすという報告⁴⁾がある。しかし、密植栽培では株間が極端に狭くなるので、従来のこのような考え方の栽培管理方法では、過繁茂になり、空どう果の多発による品質低下をまぬがれない。土耕栽培において、定植後の灌水管理が果実の品質と収量を決定しているように、水耕栽培においては、培養液の溶存酸素濃度の管理がこの役割をはたしうと考える。この定植後の溶存酸素濃度の管理は、は種期、定植時期、昼・夜の気温および水温により異なるものと考えられる。

本研究は水耕トマトの密植低段摘心栽培における定植後の管理方法を明らかにするため以下のような実験を行った。1) 栽培に必要な最低溶存酸素濃度の検討、2) 定植後の溶存酸素濃度の時間的推移と収量、品質との関係、3) 定植後の夜間の給液サイクルが収量および品質に及ぼす影響、4) 夏まきトマト定植後の昼間の給液サイクルが収量に及ぼす影響、さらに、これらの実験において密植栽培で問題となる空どう果の空どう程度の表示法と空どうの少ない品質のよい果実生産について検討した。

¹⁾ Nobuo OHKOCHI^{*1} Masaharu MASUDA^{*2} and Tadashi ASAHIRA^{*}: Effects of Dissolved-Oxygen Concentration in Cultural Solution after Planting on Fruit Yield and Qualities in Hydroponics of Tomato with Two Truss Planted in High Density.

^{*} College of Agriculture, Kyoto University, Kyoto 606, Japan.

^{*1} Present address: Faculty of Education, Shizuoka University, Shizuoka 422, Japan.

^{*2} Present address: Faculty of Agriculture, Miyazaki University, Miyazaki 880, Japan.

材料および方法

実験 1. 水耕栽培において必要な最低溶存酸素濃度

定植後の溶存酸素濃度を制御するために必要な培養液中の最低濃度の溶存酸素量を把握しておく必要がある。

前報¹⁾において報告した無覆がい無通気育苗（以下、たん液育苗）したトマト苗（品種：強力旭光）を4月16日第1段花房開花1週間前に栽培槽（33×48×7 cm）にそれぞれ4, 6, 8本定植し、無通気状態で栽培を行い、毎日の溶存酸素濃度の測定と根の生育の観察を行った。培養液は園芸試験場れき耕処方第1例（以下、園試処方⁵⁾の1/2単位液とし、適時培養液を補充した。さらに、5月8日より上記4本植え栽培槽に第1段花房開花時のトマト苗を定植し、連続通気して栽培を行い、19日後に通気を停止し、その後の溶存酸素濃度の推移を調べた。

実験 2. 定植後の溶存酸素濃度の時間的推移と収量、品質との関係

定植後の培養液の給液サイクルを種々調節することにより、培養液中の溶存酸素濃度を制御して栽培を行い草姿、収量および果実品質について調査した。

栽培管理：8月12日より順次トマト（品種：強力旭光）をは種し、第1本葉が見えはじめた時に鉢上げし、たん液育苗を行った（Table 1）。培養液は園試処方とし E.C. 1.0~1.4 m Ω で管理し、育苗期間中に一度全液を

更新した。処理区 A, B は第1段花房開花時に、処理区 C, D は開花数日前に定植した。栽培槽はクボタ式水耕2号型ベッド⁶⁾を使用した。160 l のタンクより、このベッドに培養液を満たすためには約7分を要した。処理区は1ベッドを1区とし22株を供試し、第2段花房上2葉を残して摘心した。定植後の培養液は園試処方とし E.C. 1.3~1.8 m Ω で管理した。各処理区における給液サイクルは Table 2 に示した。11月20日より暖房を開始し、最低気温 6°C、最低液温 12°C を目標に管理した。

溶存酸素濃度の測定はベッドの3箇所固定したサイフォンにより培養液を採取し、東亜電波工業(株)製の溶存酸素計 DO-1A 型で測定した。3箇所の溶存酸素濃度にはほとんど差がなかったため、培養液の溶存酸素濃度は3箇所の平均値で表わした。また、液温は栽培ベッド内に温床線をはることによって調節した。

空どう果表示：密植低段摘心栽培を行う場合、問題となるのが空どう果の発生である。トマトの空どう果は果皮の伸長に比べて果実内のゼリー状組織の発育が劣るため発生し、果汁が少なくなつて品質的に著しく劣ることとなる。このトマトの空どう程度の量的表示法について、果実の浮力を測定し、体積と比重を計算した。浮力の測定にはばね秤に金網かごを取りつけ、その下に小さな重り（果実を金網かごに入れた時に、金網かご全体が水中に沈むに足る重さ）をさげ、これを水中に宙吊りにしたときの重量 (W_1) から金網かごに果実を入れて沈

Table 1 Outline of the treatment (Experiment 2).

Treatment	Sowing date	Planting date	Date of the first harvest	Date of the last harvest
A	Aug. 12	Sept. 20	Nov. 15	Jan. 13
B	Aug. 25	Sept. 30	Jan. 12	Mar. 2
C	Sept. 20	Nov. 14	Feb. 26	Apr. 8
D	Oct. 15	Dec. 17	Mar. 30	Apr. 30

Table 2 Circulation frequencies of cultural solution in the cultural periods (Experiment 2).

Treatment	Circulation frequency of cultural solution					
	After planting		After fruit-setting in the 1st truss		After fruit-setting in the 2nd truss	
	Day	Night	Day	Night	Day	Night
A	10/60	10/60*	10/60	10/60	10/60	10/60
B	10/60	10/60	10/60	10/60	10/60	10/60
C	15/60	15/360	15/60	15/360	15/60	15/60**
D	15/60	15/360	15/60	15/360	15/60	15/60

* The abbreviation of 10/60 indicates that cultural solution was circulated for 10 min in every 60 min.

** The circulation frequency of cultural solution after fruits grew to 3-4 cm in diameter.

Fig. 1 Measuring method of buoyancy (Experiment 2).

めたときの重量 (W_2) を差し引いて浮力とした (Fig. 1).
これより次式によって体積と比重を求めた.

$$\text{比重} = \frac{\text{果実重}(g)}{\text{果実体積}} = \frac{g}{g + (W_1 - W_2)}$$

さらに、比重別に果実をわけ、輪切りにしたときの肉眼で観察した空どう程度が、この比重値でどの程度に表現されるかを観察した (Fig. 2).

実験 3. 定植後の夜間の給液サイクルが収量および品質に及ぼす影響

4月1日と9月20日にトマト (品種: 強力旭光) をは種し、鉢上げ後たん液育苗を行った. その後の管理は実験2と同様とした. ただし、4月まきは1ベッド22株の密植区と12株の疎植区を設けた. 9月まきトマトにおける夜間の最低気温 8°C を目標に温風暖房し、水温の調節は行わなかった.

全処理区とも昼間 (午前6時~午後6時) の給液サイクルは60分間に1回15分間とし、夜間 (午後6時~午前6時) の給液サイクルは Table 3 に示した.

空どう果の測定は実験2と同じ方法を用いた.

実験 4. 夏まきトマト定植後の昼間の給液サイクルが収量に及ぼす影響

夏まき年内どりの場合、定植時が高温期であり、定植

Fig. 2 The relation between the specific gravity of tomato fruits and puffiness (Experiment 2).

Table 3 Circulation frequencies of cultural solution in the nighttime* (Experiment 3).

Sowing date	Treatment	Circulation frequency of cultural solution		
		After planting	After fruit-setting in the 1st truss	After fruit-setting in the 2nd truss
April 1	I	15/60	15/60	15/60
	II	15/240	15/240	15/60
	III	15/240	15/240	15/240
September 20	IV	0/360	0/360	15/60
	V	15/360	15/360	15/60
	VI	15/360	15/360	15/360

* The cultural solution was circulated for 15 min in every 60 min in the daytime.

Table 4 Circulation frequencies of cultural solution in the cultural period of summer sowing tomatoes* (Experiment 4).

Treatment	Circulation frequency of cultural solution			
	After planting		After fruit-setting in the 2nd truss	
	Day · Night		Day · Night	
A	15/30	15/240	15/60	15/120
B	15/60	15/240	15/60	15/120
C	15/120	15/240	15/60	15/120

* Seeds were sown on July 15.

後溶酸素濃度を極力低く保つことはかなりの危険性を伴うことになる。草勢を抑えながら、かつ植物体を弱らせないように維持してゆくための溶酸素濃度の許容範囲を調べるため、昼間における給液サイクルを3段階に変えて管理し、そのときの溶酸素濃度の時間的推移と収量との関係を検討した。

7月15日トマト（品種：栄寿）をは種し、第1本葉展開時に鉢上げし、たん液育苗を行った。栽培期間を通じて培養液濃度は圃試処方 1/2 単位とした。

8月23日にクボタ式2号型水耕ベッドに定植し、昼間（午前6時～午後6時）の給液サイクルを Table 4 に示すように3区設けた。なお、処理期間は第2段花房着果期の9月22日まで30日間行い、以後給液サイクルは全区とも昼間60分間に1回15分間、夜間120分間に1回

15分間とした。

定植12日後の9月2日より10日おきに第1段果房収穫開始期の10月13日まで栽培槽の2箇所からサイフォンにより培養液を採取して、溶酸素濃度を測定した。なお、本実験では空どう果の調査は行わなかった。

結 果

実験 1. 水耕栽培において必要な最低溶酸素濃度

栽培調査期間中の溶酸素濃度の推移を Fig. 3 に示した。実験開始12日後、8本植え区の溶酸素濃度は1.3~1.7 ppm で推移したが（この場合、空気中からの酸素の溶解込みを考慮しなければならない）、この区のトマトの根ぐされ症状はまったく観察できなかった。通気栽培した区では通気停止1時間後に2.0 ppm、2時間後に1.3 ppm、3時間後に0.9 ppm、さらに4時間および5時間後とも0.9 ppm であった。この間、液温は26°Cから27°Cへと変化した。5時間後に再び通気して栽培を続けたが、その後も外見的にはまったく根ぐされ症状が認められなかった。

実験 2. 定植後の溶酸素濃度の時間的推移と収量、品質との関係

処理区Aでは、初期に根ぐされをおこし、第1段果房の収量が若干低下したが、これはまだ液温が高いにもかかわらず給液サイクルを120分間に1回10分間としたため、培養液中の溶酸素が不足したためではないかと考えられる（Table 5）。なお、この区では定植後1週間後に給液サイクルを60分間に1回15分間に修正した。

Fig. 3 Changes of dissolved-oxygen concentration and temperature of solution when the cultural solution was not aerated after planting (Experiment 1).
 ●—●, Temperature of solution; ●—●, 4 plants/cultural bed; ×—×, 6 plants/cultural bed; ○—○, 8 plants/cultural bed.

Table 5 Effects of the circulation frequencies on the number of flowers and fruits and yield per plant (Experiment 2).

Treatment	Truss	No. of flowers	No. of fruits harvested	Fruit weight (g)	Yield (g)
A	First	4.6	3.4	179.2	601
	Second	4.8	4.0	223.0	892
B	First	5.2	3.1	270.1	823
	Second	7.5	4.9	216.4	1053
C	First	8.9	5.7	168.8	959
	Second	8.8	5.6	133.3	751
D	First	7.8	4.7	153.7	727
	Second	8.6	3.5	218.5	775

* See Tables 1 and 2.

Table 6 Effects of circulation frequencies on degree of puffiness (specific gravity) and rate of fruits with specific gravity above 0.9 (Experiment 2).

Treatment*	Degree of puffiness (Specific gravity)	% of fruits with specific gravity above 0.9
A	—	—
B	0.82	1.0
C	0.91	46.7
D	0.98	100.0

* See Tables 1 and 2.

処理区 B, C では 1 株当りの収量が 1.7~1.8 kg となり、目標としている 1.6 kg を越えたが、品質的には空どう果が問題となった (Table 6)。処理区 B は給液サイクルを定植時から収穫時まで 60 分間に 1 回 (10 分間) としたが、このときのトマト果実の平均の空どう程度は平均比重で 0.82 であった。肉眼による空どう程度との比較により、果実が商品としての価値をもつと考えられる空どう果の限界は比重 0.90 以上と判断した (Fig. 2)。そこで、比重 0.90 以上となる果実の割合を多くすることが、品質のよい果実生産につながることになる。処理区 B ではこの比重 0.90 以上となる果実割合がわずか 1 %

にしかすぎなかった。処理区 B において、空どう果が多くなったのは給液サイクルを 60 分間に 1 回 10 分間と短くしたため、培養液中の溶存酸素濃度が高く保たれ、草勢が強くなり、過繁茂状態になったためと考えられる (Table 7)。処理区 C は給液サイクルを定植 1 週間後から昼間 60 分間に 1 回 15 分間、夜間 360 分間に 1 回 15 分間と、とくに夜間の給液サイクルを減らしたため、最大葉長は非常に小さくなったが (Table 7)、空どう程度は高く平均比重 0.91 となり、比重 0.90 以上となる果実の割合も 46.7% にしかならなかった (Table 6)。これは果実肥大期が最も日照条件の悪い 12 月から 1 月にあたったためと考えられる。また、この処理区では第 2 段果房の果実の直径が 3~4 cm 程度に肥大した時から夜間の給液サイクルを 60 分間に 1 回 15 分間と短くしたが、第 2 段果房の 1 果平均果重は 133.3 g ときわめて小さくなり、収量も低下した (Table 5)。処理区 D は給液サイクルを定植時から昼間 60 分間に 1 回 15 分間、夜間 360 分間に 1 回 15 分間とし、極力草勢を抑え、第 2 段花房が着果した時から夜間の給液サイクルを 60 分間に 1 回 15 分間と短くした。この処理区では極端な空どう果はみられず、比重 0.90 以上となる果実の割合は 100 % となった (Table 6)。しかし、1 株当りの収量が 1.5 kg となり、目標の 1.6 kg には達しなかった (Table 5)。これは第 1

Table 7 Effects of circulation frequencies on growth of plants at the time of harvest (Experiment 2).

Treatment	Diameter of stem just above the ground (cm)	Diameter of stem just below the 1st truss (cm)	Diameter of stem just below the 2nd truss (cm)	Maximum leaf length (cm)
A	0.99	0.94	0.84	44.1
B	1.06	1.16	1.39	52.9
C	1.36	1.26	1.28	42.9
D	1.26	1.33	1.36	34.8

* See Tables 1 and 2.

Table 8 Effects of circulation frequencies on fruit weight (Experiment 2).

Treatment	Truss	Percent of fruits classified by fruit weight (g)				
		-100	101-150	151-200	201-250	251-
A	First	5 %	28 %	41 %	20 %	6 %
	Second	4	21	25	19	31
B	First	6	7	12	12	63
	Second	6	24	31	15	24
C	First	18	30	28	10	14
	Second	11	65	19	4	0
D	First	9	48	29	11	3
	Second	0	18	26	25	31

* See Tables 1 and 2.

Table 9 Effects of growth stage of tomatoes and solution temperature on changes of dissolved-oxygen concentration in cultural solution after circulation was stopped (Experiment 2).

Growth stage	Solution temperatures at the time of measurement of dissolved-oxygen (°C)	Dissolved-oxygen concentrations (ppm)						
		Saturated oxygen concentration	Hours after circulation was stopped					
			0	1	2	3	4	5
Fruit-setting of the 1st truss	13-14.5	10.20	9.2	7.9	6.8	5.7	4.0	3.2
	14-16.5	9.98	8.7	7.5	6.2	4.8	3.6	2.8
Fruit-harvesting of the 1st truss	13-14.5	10.20	9.2	8.1	6.9	6.0	5.0	4.3
	14-16.5	9.98	9.4	8.1	6.7	5.3	4.3	3.6
	21-22	8.68	8.0	4.5	2.5	—	—	—
Fruit-harvesting of the 1st and second truss	24	8.25	7.1	3.4	1.2	—	—	—

段果房の平均果重が 153.7 g と小さくなったためと考えられる。トマト果実の肥大はその収量構成 (Table 8) からみて給液サイクルの長短に強く影響されるものと考えられる。

培養液の給液サイクルの長短によって培養液中の溶存酸素を制御するためには、生育時の液温および生育段階と溶存酸素濃度変化の時間的推移を把握しておく必要がある。液温が同一であれば、まだ根の少ない第 1 段花房着果時の溶存酸素濃度の推移と根がベッドいっぱいになりつめた収穫時のそれとは、ほぼ同一の減少パターンを示した (Table 9)。飽和溶存酸素量は液温の上昇に伴って低下し、さらに溶存酸素濃度の減少速度も液温の上昇に伴って速くなる。液温が 14°C 前後の時には給液停止後 5 時間経過しても溶存酸素濃度はなお 3 ppm 前後を示したが、液温が 24°C になると給液停止後 2 時間で 1.2 ppm まで低下した (Table 9)。

実験 3. 定植後の夜間の給液サイクルが収量および品質に及ぼす影響

果実の収量についてみると、1 株当りの収量は全処理区とも 1.5 kg 前後であり、4 月まきでは処理区Ⅱ、9 月

まきでは処理区Ⅳと第 2 段花房着果以降に夜間の給液サイクルを多くした処理区において収量は増加した (Table 10)。9 月まきトマトの収量が全試験区とも低かったのは最低気温 8°C を目標に管理したが、液温の制御を行わなかったため、養水分の吸収が少なく、またその吸収バランスが著しく乱れたことによるのかもしれない。

空どうの程度をみると、4 月まきでは全処理区とも平均比重 0.96 以上となり、品質のよいトマトが多かった。しかし、9 月 20 日まきでは定植直後から第 2 段花房着果時まで夜間の給液を停止した処理区Ⅳのみが平均比重 0.96 となり、夜間 0 時に 1 回 15 分間給液を行った処理区Ⅵにおいては空どうの程度が高く、平均比重値が 0.895 となり、比重 0.90 以上となる果実割合も 48.5 % と低下した (Table 11)。

4 月 1 日まきトマトについて、栽植密度を異にして栽培した場合のベッド内の溶存酸素濃度の推移およびベッド内の根量について調査した。定植 2 週間後の 6 月 3 日では栽植密度が高いと溶存酸素の減少速度が速かった。しかし、7 月 15 日第 2 段果房収穫時には、その減少速度は栽植密度に関係なくまったく同じになった。しかも、

Table 10 Effects of circulation frequencies of cultural solution in the nighttime on fruit yield (Experiment 3).

Treatment*	First truss		Second truss		Total	
	No. of fruits harvested	Fruit weight (g)	No. of fruits harvested	Fruit weight (g)	No. of fruits harvested	Fruit weight (g)
I	4.1	156.5	4.3	183.6	8.6	1460.6
II	4.6	150.3	4.7	180.7	9.2	1523.7
III	4.4	159.8	4.0	195.7	8.4	1487.5
IV	5.3	129.9	5.0	164.7	10.3	1511.0
V	5.3	129.7	4.5	171.2	9.8	1467.7
VI	5.3	132.8	5.0	155.0	10.3	1478.8

* See Table 3.

給液停止 45 分後の密植区の溶存酸素濃度は 6 月 3 日の時点よりも 7 月 15 日の時点の方が高かった (Fig. 4). 収穫終了時のベッド内の根量についてみると、栽植密度に

Table 11 Effects of circulation frequencies on degree of puffiness (specific gravity) and rate of fruits with specific gravity above 0.9 (Experiment 3).

Treatment*	Degree of puffiness (Specific gravity)	% of fruits with specific gravity above 0.9
I	0.963	95.8
II	0.964	90.5
III	0.965	100.0
IV	0.960	96.8
V	0.928	75.0
VI	0.895	48.5

* See Table 3.

関係なく、ほぼ同量の値を示した (Table 12). このことは、栽植密度が 2 倍になると 1 本当たりのトマトの根量は 1/2 になることを意味した. したがって、徐々に根の伸長を促しながら収穫終了時まで根の活力を維持することが果実を充分に发育、充実させるうえで必要なことである. 定植直後から溶存酸素濃度を高めて根量を多くすることは限られたベッド内で根の活力を維持するためには好ましくないと考えられる.

実験 4. 夏まきトマト定植後の昼間の給液サイクルが収量に及ぼす影響

処理区間の開花数, 到花日数, 成熟日数に差はなく, また収量も著しい差は認められなかった (Table 13). しかし, 果実の品質をみると, 処理区 A と C で第 1 段果房の尻ぐされ果の発生が多くなった (Table 14). 第 2 段果房では, 平均 1 果重がどの区も 220 g を越えた (Table 13). さらに, どの区も裂果が多く発生した.

Fig. 4 Effects of planting density on dissolved-oxygen concentration in cultural solution (Experiment 3).

A, At the time of fruit-setting in the second truss (June 3).

B, At the time of fruit-harvesting in the second truss (July 15).

—○— Low planting density; 12 plants in the cultural bed.

—●— High planting density; 22 plants in the cultural bed.

Table 12 Effects of circulation frequencies on top and root weight at the time of the last harvest (July 24) (Experiment 3).

Treatment*	Planting density	Two weight (g)	Root weight		Total dry weight of root in cultural bed (kg)
			Fresh weight (g)	Dry weight (g)	
I	Low	500.0	116.7	7.08	1.40
	High	327.2	59.1	3.30	1.30
II	Low	491.6	91.7	5.49	1.10
	High	390.9	46.4	2.93	1.02
III	Low	475.0	83.3	5.19	0.99
	High	354.7	44.5	2.56	0.98

* See Table 3. Intrarow space was 32.4 cm in low planting density and 16.2 cm in high.

Table 13 Effects of circulation frequencies on number of flowers and fruit weight (Experiment 4).

Treatment*	Truss	No. of flowers	No. of fruits harvested	Fruit weight (g)	Yield (g)
A	First	4.8	3.2	191.6	613.1
	Second	5.7	3.1	221.9	687.9
B	First	4.1	2.7	187.8	507.1
	Second	5.1	3.5	227.6	796.6
C	First	4.2	3.0	173.8	521.4
	Second	5.4	3.5	224.1	784.4

* See Table 4.

Table 14 Effects of circulation frequencies in the daytime of fruit qualities (Experiment 4).

Treatment*	Truss	% of normal fruits	% of fruits with blossom-end rot	% of malformed fruits
A	First	80.0	17.5	2.5
	Second	92.5	4.5	3.0
B	First	92.3	6.2	1.5
	Second	96.2	3.8	0
C	First	84.6	15.4	0
	Second	93.9	4.9	1.2

* See Table 4.

培養液給液停止後の溶存酸素濃度の推移は、各処理区とも同じパターンを示した。定植22日後の各経過時間ごとの溶存酸素濃度が極端に低下し、それ以後の各経過時間ごとの溶存酸素濃度は高くなった (Fig. 5)。この定植後22日後のトマトの生育段階は第2段花房の開花期であった。

考 察

トマトの根に必要な最低溶存酸素濃度は本実験から 1.3 ppm 以下にあると推察され、これまで報告された濃

度より低い値にあると考えられる。位田⁷⁾はトマト苗が溶存酸素濃度 1.05~2.40 ppm で萎凋を始めたと報告している。また、並木ら⁴⁾は水耕栽培トマトの栽培管理基準として 2 ppm 以上の溶存酸素濃度に保つ必要を述べている。しかし、本実験では通気停止後3時間から5時間のあいだ 0.9 ppm を示したが、再び通気した後も植物体に萎凋症状、根ぐされ症状は観察されなかった。育苗期からの苗の環境条件への適応力、実験時の環境条件の問題もあるが、トマトは位田の報告よりもさらに低い溶存酸素濃度に耐えうると考えられ、濃度と同時に根へ

Fig. 5 Effects of circulation frequencies on dissolved-oxygen concentration in cultural solution one hour (A) and two hours (B) after circulation was stopped (Experiment 4).
 ●—●, Cultural solution was circulated for 15 min in every 30 min; ●—●, Cultural solution was circulated for 15 min in every 60 min; ○—○, Cultural solution was circulated for 15 min in every 120 min.
 From 30 days forth after planting cultural solution was circulated for 15 min in every 60 min.

の酸素の供給量をも問題にしなければならないと考えられる。

8月から10月まきにおいて、定植直後から給液サイクルを高めれば収量は増大するが、茎葉の繁茂が著しく、空どう果が多発する結果になる。溶存酸素濃度が高くなれば茎葉重が増加することは、すでに Clark ら⁹⁾ が報告している。また、並木らも葉の重量が溶存酸素濃度の最も著しい影響を受け、溶存酸素濃度が十分に供給されると葉が旺盛に繁茂することを認めている。しかし、密植栽培では株間を極端に狭くすることから、このような状態は好ましくない。したがって、定植後の給液サイクルは極力減らして草勢を抑えていく必要がある。しかし、給液サイクルをいつまでも減らしたままにしておくと果実肥大、とくに第2段果房の肥大が劣り、収量があがらないことになる。そこでどの発育段階から給液サイクルを高め、養水分の吸収を促し、収量を増大させるかが問題となる。さらに、給液サイクルの長短は培養液濃度の変化と溶存酸素濃度の変化を結果するが、著者らは前者の植物体の生育と果実の肥大に及ぼす影響はあまり問題ではないと考える。Table 9 のトマトの各生育段階での液温と溶存酸素濃度の時間的推移との関係をみても、根の少ない第1段花房着果時における溶存酸素濃度の時間的推移と、ベッド内に根がいっぱい張りつめた収穫時のそれは温度が同一であれば、同じ減少パターンを示した。これは溶存酸素の減少速度が根の多少によるのではなく、活力のある根がベッド内にどれだけ存在するかによることを示している。

著者らは上記の結果から水耕トマトの密植低段摘心栽培の定植後の管理方法を次のように推論している。

定植後から第2段花房着果時までは夜間の給液サイクルを極力減らす。つまり、培養液中の溶存酸素濃度が 2 ppm 以下まで下った時にポンプを作動させ、給液を行い溶存酸素を供給する。昼間は光合成を充分に行わせる意味からも給液サイクルを増やし、溶存酸素濃度を高く保つ。第2段花房着果時から夜間の給液サイクルを昼間のそれと同様にして（本実験では60分間に1回15分間給液）、溶存酸素濃度を高く保ち、果実の肥大をはかることが望ましい。さらに、定植直後から溶存酸素量を高めて根量を多くすることは、限られたベッド内で根の活力維持のためにも好ましくなく、こうした点からも第2段花房着果時まで極力給液サイクルを減らし、栽培ベッド内の溶存酸素量を低めた栽培管理方法が望ましいと推察される。

このような考え方で4月まきと9月まきトマトについて、夜間の給液サイクルを変えた実験の結果は、4月まきでは気象条件もよく、全区で果実は平均比重 0.96 以上となり、比重 0.90 以上となる果実の割合も 90% 以上となったが、9月まきでは夜間の給液を第2段花房着果時まで行わない場合のみ果実の平均比重 0.96 であり、比重 0.90 以上の果実の割合は 96.8% となった。したがって、高品質のトマト果実を得るためには、上記で推察した管理方法が妥当であったことを示している。

7月まき栽培では、昼間の給液サイクルは収量に影響を及ぼさなかった。平均1果重では2段果房で 220 g 以

上となり裂果が多く発生した。これは第1に、花芽分化期から着果期までが高温期であり、着果数が少なかったこと、第2に、果実肥大期がトマトの生育適温期であり、果実の肥大が促されたこと、第3に、液温が低下し溶存酸素濃度は高くなり、根の活力は8月から4月まきのように低下せず、いつまでも果実の肥大が促されたことによるものと考えられる。したがって、夏まき年内どり栽培では、8月から4月まき栽培で推論したように、第2段花房着果時から夜間の給液サイクルを増やし、溶存酸素濃度を高める方法では、裂果を発生させるおそれがあり、第2段花房着果後もあまり溶存酸素濃度を高めない管理方法がよいと考えられるが、詳細は今後さらに検討する必要がある。

本研究を進めるに当たり、終始ご協力をいただいた京都大学農学部附属農場技官松本明峰氏、久保田鉄工株式会社開発プロジェクト課長西新也氏に深く謝意を表します。

文 献

- 1) 大河内信夫・榊田正治・浅平 端. 1978. トマトの水耕密植低段栽培の育苗時における培養液温と培養液に対する酸素供給が苗の生育と果実生産に及ぼす影響. 生物環境調節 **16**: 119-128.
- 2) ARRINGTON, L. B., and J. W. SHIVE. 1936. Oxygen and carbon dioxide content of cultural solutions in relation to cation and anion nitrogen absorption by tomato plants. *Soil Sci.* **42**: 341-356.
- 3) DURELL, W. D. 1941. The effect of aeration on growth of the tomato in nutrient solution. *Plant Physiol.* **16**: 327-341.
- 4) 並木隆和・西 新也・羽根田明子・高嶋四郎. 1973. 蔬菜水耕栽培の実用化に関する研究. V. 溶存酸素濃度が春作および秋作のトマトの生育、収量におよぼす影響. 京府大学術報告 **26**: 37-43.
- 5) 堀 裕. 1966. 「蔬菜・花卉のれき耕栽培」 71, 養賢堂, 東京.
- 6) 涌田忠雄. 1970. 久保田式水耕 プラント. 「野菜の養液栽培」(農耕と園芸編) 34-39, 誠文堂新光社,

東京.

- 7) 位田藤久太郎. 1951. 果菜類の根の耐水性と水中酸素吸収量. 農及園 **26**: 472.
- 8) CLARK, H. E., and J. W. SHIVE. 1932. Influence of continuous aeration upon the growth of tomato plants in solution culture. *Soil Sci.* **34**: 37-42.

Summary

Effects of circulation frequencies of cultural solution after planting on growth, and fruit yield and quality were studied, in solution culture of tomato plants bearing only two trusses and planted in high density.

Tomato plants, which had grown at low dissolved-oxygen concentration in cultural solution from the stage of young seedlings, did not show wilt-symptom and root-rot at the low dissolved-oxygen concentration of 1.3 ppm after planting and could survive even at the concentration of 0.9 ppm which was maintained about 2 hours.

The relation between dissolved-oxygen concentration after planting and occurrence of puffy fruits was investigated. The degree of puffiness was indicated with specific gravity of fruit. The specific gravity of fruit which had marketable quality was above 0.90. In the culture of the plants sown from August to April, circulation frequencies of cultural solution in the nighttime (6 p.m.-6 a.m.) were decreased to 15 minutes in every 360 minutes almost until fruit setting in the second truss was ensured. After fruit-setting in the second truss, circulation frequencies of cultural solution in the nighttime were increased up to that in the daytime (6 a.m.-6 p.m.), which were 15 minutes in every 60 minutes. Such circulation frequencies for controlling dissolved-oxygen concentration prevented overgrowth of foliage and ensured high yield of fruits without puffiness. In the culture of the plants sown in July, the circulation frequencies above mentioned for controlling dissolved-oxygen concentration produced cracking fruits.

(Received April 2, 1979)