果実肥大期における温度と培養液濃度が水耕トマトの 尻ぐされ発生に及ぼす影響

宇井 睦・高野 泰吉

名城大学農学部

Effect of Temperature and Concentration of Nutrient Solution during the
Stage of the Fruit Development on the Incidence of Blossom-End Rot in
Fruits of Tomato, *Lycopersicon esculentum* L.

Mutsumi WUI and Taikichi TAKANO

College of Agriculture, Meijo University, Tempaku-ku, Nagoya 468, Japan

Experiments were done to clarify whether an incidence of blossom-end rot (BER) in fruits of tomato was induced by faulty nutritional conditions in plant associated with elevated nutrients or high temperatures. Their results were as follow. The incidence of BER increased with raising temperature from 20 to 30°C, especially in air temperature as compared with root-zone temperatures. An increase in electrical conductivity (EC) of nutrient solution from 1.2 to 1.8 mS cm⁻¹ also increased the incidence of BER. The BER incidence due to higher temperatures was correlated with a rapid growth rate of fruits during early stages of fruit development in high temperature. There was no difference in fruit size at different EC values of nutrient solutions. Ca Content in fruits tended to decrease in the treatment inducing high BER incidence. The distribution of Ca giving 0.67-fold at the fruit apex and 0.9-fold in content at the fruit base in BER fruit at compared with that in healthy fruits. Contents of K and N in distal and basal part in BER fruits were high as compared with those in healthy fruits. The ratios of P/Ca, K/Ca and N/Ca in fruits with severe BER were high. Conclusively, the incidence of BER in fruits of tomato was induced by faulty nutritional conditions in plants associated with the rapid growth rate of fruits, high temperatures, and water deficits due to high EC values of nutrient solutions.

(Received February 10, 1994)

1994年2月10日受付

結 言

トマト尻ぐされ症（以後 BER と記す）研究の総説において橘（1993）は Ca²⁺（以後 Ca と記す）の吸収および果実への移行と各種環境要因との関係を説明することの重要性を強調している。その総説では、BER を発生させる環境要因のひとつとして培養液濃度をあげており、培養液濃度の上昇による吸水阻害、陽イオン間の拮抗作用などが原因であるとしている。また、飯塚（1991）は野菜の生育障害に関する総説中に、高温期の N、K 過多による生育量の急増が原因して生じる Ca 欠乏症の例

をあげている。これらのことより、水耕栽培でみられる夏場の BER 発生においては、温度条件と培養液の全濃度および窒素（以後 N と記す）、K⁺（以後 K と記す）濃度が体内の Ca 濃度および Ca と他要素とのバランスに関与している可能性がある。とくに、後者に関しては、レタスの Ca 欠乏であるチップバーンでは Mg²⁺（以後 Mg と記す）が高く（Barta and Tibbitts, 1991）、トマトの Ca 欠乏である BER では K の含有率が高い（Murray et al., 1971）ことが知られていることから推測できる。しかし、Ca 欠乏症を他の無機要素との関連において検討した報告は少ない。

本試験では気温、根温、培養液濃度もしくは培養液の

N と K の濃度を増加させるなどの BER 果の発生しやすい条件でトマトを栽培し、植物体の生育状況、器官別の無機成分含有率および無機成分間のバランスを調べ、BER 発生との関係について明らかにした。

材料および方法

実験 1. 果実肥大期の気温、培養液濃度が尻ぐされ発生に及ぼす影響

トマト品種『ファーストパワー』を 1990 年 6 月 1 日に播種した。播種後 11 日苗を自然光ファイトロン内ハイポニカ水耕装置 6 基にそれぞれ 9 株移植した。水耕装置は、66 cm×66 cm、水深 2 cm の栽培槽であり、通気した培養液を循環させた。発育に伴って隣どうしの葉が重なり密植状態になるので、栽培装置の端の個体は斜めに誘引し、個体間隔が約 30 cm 以上になるようにした。培養液標準組成は、多量要素として $\text{KNO}_3=3.6$ 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2=3.6$ 、 $\text{MgSO}_4=2.4$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4=2.4 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ とし、微量元素として $\text{Fe}=2.5$ 、 $\text{Mn}=0.5$ 、 $\text{B}=0.5$ 、 $\text{Cu}=0.02$ 、 $\text{Zn}=0.05$ 、 $\text{Mo}=0.02 \text{ ppm}$ であった ($\text{EC } 1.2 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$)。開花 (播種後 49 日) までは、標準組成の培養液で、昼温 25/夜温 20°C の気温条件で栽培した。開花後は昼/夜温を 30/25°C と 20/15°C の 2 処理に分け、それぞれに対して次のような培養液処理を付け加えた。培養液処理は標準組成を持続するものを対照区とし、N と K のみを 1.5 倍濃度にした +K.N 区 ($\text{EC } 1.6 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) と、標準組成の全濃度を 1.5 倍にした 1.5×区 ($\text{EC } 1.8 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) とした。+K.N 区では標準組成の KNO_3 を 1.5 倍の $5.4 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ とし、それに NaNO_3 を $1.8 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ を加え、N として $11.6 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ とした。pH は 2 日ごとに 6 に調整し、基本培養液を加えて所定 EC に調整した。また、実際栽培では培養液は頻繁に更新されていないことを考慮して、本実験においても培養液の更新は行わなかった。各果房開花時にトマトトーンを散布し果房当たり 4 果とし、第 4 果房まで着果させた。開花後 19 日に 1 段果房と 2 段果房の果実につき果径を測り、果実肥大程度を調査した。第 1 果房の果実着色時 8 月 24 日に植物体を 2 段果房までを下部、4 段果房までを中間部、それ以上を上部に分けて器官別に乾物重、体内無機成分を分析した。実験終了時に 1~4 果房までの合計で BER 果発生率を求めた。また、正常果と BER 果を混合して無機分析に供した。

実験 2. 果実肥大期の気温、培養液濃度が尻ぐされ発生に及ぼす影響

トマト品種『瑞光 102』を 1990 年 12 月 29 日に播種した。播種後 20 日苗を自然光ファイトロン内 (昼温

25°C/夜温 20°C) ハイポニカ水耕装置 6 基に各 9 本定植した。個体の誘引法は実験 1 に準じ、植物体上部での株間は 40 cm を確保した。培養液標準組成は多量要素として $\text{KNO}_3=6$ 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2=6$ 、 $\text{MgSO}_4=4$ 、 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4=4 \text{ meq}\cdot\text{L}^{-1}$ 、微量元素は実験 1 と同様とした ($\text{EC } 2.0 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$)。開花直前の播種後 40 日 (2 月 8 日) に 6 基の水耕装置のうち 2 基を昼/夜温を 30/25°C にあげたファイトロン内に移した (気温 30°C 区)。また、残りの水耕装置 4 基を最低夜温を 15°C に設定したガラス温室に移し、そのうち 2 基については培養液温度を 30°C に加温した (根温 30°C 区)。残りの 2 基は培養液は加温せず対照区とした。培養液の pH と EC の調節は 3 日ごとに行い、pH は 6.0 に、EC は基本培養液を加えて $2.0 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ に調整した。また、全培養液は 15 日ごとに更新した。各果房開花時にトマトトーンを散布し、果房当たり 4 果着果させた。果実着色時の 4 月 8 日に植物体を第 3 花房を境に上下に分け器官別に乾物重を求めた。また、分析用試料として、下位として第 3 花房下葉 (第 14 葉) とその下 20 cm の茎、上位として先端葉 (第 19~21 葉) とその間の茎を採取した。BER 発生率は個体の果実全体に対して求めた。BER 斑が 2~3 cm 程度の BER 果と、同程度の大きさの正常果を BER 発生時に採取して、果実を赤道面で切断し先端部と基部に分けて分析用の試料とした。

分析方法

体内無機成分分析は、全窒素はガニング氏変法で行い、他の成分については、試料を硝酸と過塩素酸で湿式灰化したのち、リンはモリブデン青法、K は炎光分析法、Ca・Mg は原子吸光分光法で行った。

結 果

1. 果実肥大期の気温、培養液濃度が尻ぐされ発生に及ぼす影響

個体および葉の乾物重と Ca 含有率、果径に及ぼす各処理の影響を Table 1 に示す。まず個体乾物重は、20°C 区で重く、30°C 区で軽かった。各温度区内では対照区で重く、+K.N 区および 1.5×区で軽かった。30°C 区においては、対照区に対し +K.N 区および 1.5×区で下位葉と中位葉の乾物重が減少し、逆に上位葉の乾物重は増加した。Ca 含有率は 30°C 処理の +K.N 区および 1.5×区の下位葉において著しく増加した。開花後 19 日目の果径は 1 段と 2 段果房で、20°C 区に対し 30°C 区で大きかった。各果房ごとの果実生体重に及ぼす各処理の影響を Fig. 1 に示す。いずれの培養液条件でも気温 30°C 区で果房ごとの果実重が低下した。BER 発生率と果

Table 1 Effects of air temperatures and concentrations of the nutrient solution on the plant growth and Ca content in leaves.

Treatment		Plant (Dry Wt., g)	Leaves (Dry Wt., g)			Leaf Ca (%) (in Dry Wt.)			Fruit: Diameter (cm)	
Nutr. Sol'n	Air temp.		Low.	Mid.	Upper	Low.	Mid.	Upper	1st truss	2nd truss
Cont ^z	20°C	201a*	19.1a	19.1b	12.4b	3.38	4.25	3.30	3.54c	1.46c
+K.N ^y	20°C	181b	13.9c	19.1b	16.2a	3.89	5.44	2.79	3.63c	1.23c
1.5× ^x	20°C	192b	20.0a	20.5a	15.5a	4.14	5.91	2.74	3.44c	1.53c
Cont	30°C	143c	16.9b	16.6c	7.74d	5.87	4.97	3.15	4.79b	2.50b
+K.N	30°C	129d	11.3d	14.2d	9.44c	6.16	4.97	2.65	5.46a	3.28a
1.5×	30°C	125d	12.4d	14.3d	9.05c	6.41	5.22	2.59	5.23a	3.29a

^z Standard concentrations of nutrients such as, NO₃-N, NH₄-N, P, K, Ca and Mg are 7.2, 0.8, 2.4, 3.6, 3.6 and 2.4 meq/L, respectively.

^y Increased K.N solution: NO₃-N and K concentrations were elevated 1.5 times as large as that of standard solution.

^x Increased high EC solution: Total concentration was elevated 1.5 times as large as that of standard solution.

* Different letters within a column represent significant differences according to Duncan's multiple range test, at 5% level.

Abbreviations: Low., 6th–12th leaf; Mid., 13th–18th leaf; Upper, 19th–24th leaf.

Fig. 1 Effects of air temperatures and concentrations of the nutrient solution on the fresh weight of tomato fruit.

Different letters indicate significant differences by Duncan's new multiple range test, at 5% level. Treatments are as described in Table 1.

実 Ca 含有率に及ぼす各処理の影響を Fig. 2 に示す。BER 発生率は気温 20°C 区に比べ 30°C 区で著しく高く、+K.N 区、1.5×区で高かった。BER 発生率が高い処理区で、Ca 含有率が減少する傾向が認められた。Ca 含有率は温度処理区にかかわらず、培養液濃度を上昇させた処理区ではほぼ同様な値を示したが、BER 発生率には大きな差が認められた。器官別無機含有率に及ぼす影響を Table 2 に示す。それぞれの温度において培養液濃度の上昇 (+K.N 区および 1.5×区) に伴って

Fig. 2 Effects of air temperatures and concentrations of the nutrient solution on the incidence of blossom-end rot and concentration of Ca in tomato fruits.

Treatments are as described in Table 1.

BER 発生率は増加した。このような BER 発生率の増加に伴い、下位葉では N, Ca が増加したのに対し、上位葉では Ca が減少した。また、茎では Mg が減少し、根では Ca, Mg が減少する傾向が認められた。果実では BER 発生率の増加に伴い K 含有率が増加し、Ca, Mg 含有率が減少した。果実の K/Mg, N/Mg, P/Ca, K/Ca, N/Ca 比に及ぼす各処理の影響を Fig. 3 に示す。いずれのイオン比も BER 発生率の増加に伴い増加した。しかし、気温 20°C 区の BER 発生率は 30°C 区に比べ低い値であったが、20°C 区のイオン比は 30°C 区と大差がなかった。

Table 2 Effects of air temperatures and concentrations of the nutrient solution on mineral contents (% DW) in leaves, stems, roots, and fruits of tomato plants.

Treatment ^z	BER (%)	N		P		K		Ca		Mg	
		Lower Le. ^z	Upper Le. ^z	Lower Le.	Upper Le.	Lower Le.	Upper Le.	Lower Le.	Upper Le.	Lower Le.	Upper Le.
Cont 20°C	0	3.26	4.94	0.77	0.78	3.26	3.92	3.38	3.30	1.52	1.04
+K.N 20°C	13.5	3.76	4.60	0.98	0.75	3.98	4.90	3.89	2.70	1.48	0.75
1.5× 20°C	12.0	3.43	5.20	0.91	0.84	3.58	4.78	4.14	2.74	1.35	0.79
Cont 30°C	20.8	3.68	5.11	0.80	0.74	3.17	3.69	5.87	3.15	1.22	0.94
+K.N 30°C	40.3	4.20	5.04	0.97	0.80	3.92	4.09	6.16	2.65	1.37	0.88
1.5× 30°C	45.5	4.66	5.04	0.84	0.73	3.23	3.29	6.41	2.59	1.17	0.70
		Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root	Stem	Root
Cont 20°C	0	1.62	3.80	0.65	0.71	4.09	3.23	1.75	1.26	0.75	0.93
+K.N 20°C	13.5	2.41	3.89	0.73	0.67	5.89	4.96	1.76	1.08	0.65	0.24
1.5× 20°C	12.0	2.00	3.76	0.80	1.15	4.54	4.73	1.71	1.13	0.41	0.53
Cont 30°C	20.8	1.60	3.99	0.58	1.04	4.18	5.13	1.54	1.58	0.54	0.50
+K.N 30°C	40.3	1.93	3.55	0.62	1.05	4.82	6.05	1.69	1.20	0.49	0.43
1.5× 30°C	45.5	1.89	3.50	0.61	1.26	3.76	5.76	1.42	1.06	0.32	0.37
		Fruit		Fruit		Fruit		Fruit		Fruit	
Cont 20°C	0	2.29		0.47		3.75		0.11		0.41	
+K.N 20°C	13.5	2.71		0.59		4.09		0.07		0.23	
1.5× 20°C	12.0	2.49		0.58		3.86		0.07		0.24	
Cont 30°C	20.8	1.76		0.48		3.65		0.11		0.36	
+K.N 30°C	40.3	2.26		0.50		3.95		0.07		0.29	
1.5× 30°C	45.5	2.07		0.50		3.86		0.07		0.20	

^z Treatment and abbreviation are as described in Table 1.

Fig. 3 Relationships between the incidence of BER and ionic ratios in fruits of tomato plants grown under different temperature and concentration of nutrient solution.

□, control; ○, K.N; △, ×1.5. Treatments are as described in Table 1. Upper: —, K/Ca; ----, N/Ca; Lower: —, K/Mg; ----, N/Mg; ·····, P/Ca.

2. 果実肥大期の気温、培養液温度が尻ぐされ発生に及ぼす影響

生育期間の温室平均昼温は生育期間を通して 21°C から 25°C まで徐々に上昇し、夜温は昼温より 4°C 低かった。対照区の培養液温度は 15°C から 19°C に徐々に上昇した。開花時 (2 月 26 日) の温室とファイトロン内の温度、湿度、飽差の日変化を Fig. 4 に示す。温室の気温は 11 時から 14 時にかけて 25°C 以上に達し、そのときの湿度は約 20% まで低下した。したがって、飽差は 11 時から 13 時に 17 g·m⁻³ 以上を示した。ファイトロン内の湿度は午前中に上昇し、午後は 16 時にかけて低下した。逆に飽差は 14 時から 18 時に 17 g·m⁻³ 以上を示した。器官別乾物重、BER 発生率、果実 Ca 含有率を Table 3 に示す。地上部乾物重は対照区で重く、ついで根温 30°C 区、気温 30°C 区の順に軽くなった。BER 発生率は対照区、根温 30°C 区、気温 30°C 区の順に増加した。Ca 含有率は、気温 30°C 区のみ 0.07% と低下し他の区は 0.09% と差がなかった。器官別の無機含有率を Table 4 に示す。BER 発生率の増加に伴

Table 3 Effects of air and root temperatures on the plant growth and Ca content in fruits.

Treatment	Plant (DW: g)	Leaf (DW: g)	Stem (DW: g)	Fruit		
				(DW: g)	BER(%)	Ca(%)
Air-30°C ^z	71.2	26.1b*	16.2b	28.9	44.9	0.07
Root-30°C ^y	84.9	28.4ab	24.0a	32.5	24.7	0.09
Control ^x	91.0	30.6a	24.2a	36.2	3.2	0.09

^z Plants were grown in the air-conditioned room (Koito-tron) at 30°C day and 25°C night air temperatures.

^y Plants were grown at 30°C solution (root) temperature in a glasshouse.

^x Plants were grown in a glasshouse without air temperature control.

* Different letters within a column represent significant differences according to Duncan's new multiple range test, at 5% level.

Fig. 4 Diurnal changes in temperature, humidity and saturation deficit in a phytotron or a glasshouse where plants were grown.

Lower: —, temp. in glasshouse; ----, temp. in Koito-tron; ·····, relative humidity in glasshouse, — · —, relative humidity in Koito-tron.

い含有率が増加したものは葉の K のみであり、BER 発生率の増加に伴い含有率が低下したものは下位茎の P、上位茎の K、上位茎と根の Ca、茎と根の Mg であった。BER 果と正常果を比較して、BER 果では部位に関係なく N と K の含有率が高かった。正常果の Ca 含有率を 100 とした場合、BER 果では先端部で 60、基部では 90 であった。正常果と BER 果におけるイオン比の違いを Fig. 5 に示す。K/Ca、N/Ca、N/P、P/Ca 比はいずれも BER 果で高い値を示した。BER の発生率は対照区、根温 30°C 区、気温 30°C 区の順で増加しており同

Fig. 5 Relationships between the incidence of BER and ionic ratios in the distal end of fruit of tomato plants grown under different air and root temperatures.

^z Treatments are as described in Table 3. Upper: —, K/Ca; ----, N/Ca; Lower: ----, N/P; ·····, P/Ca. Open symbol, normal fruits; solid symbol, BER fruit.

様な順でイオン比の増加を示したものは、K/Ca、N/Ca、P/Ca 比であった。しかし、Ca 含有率は同様な順で低下していなかった (Table 4)。

考 察

20°C に対し 30°C の高温条件で BER 発生は多く、茎葉、果実の乾物重は減少した。それら高温による影響は根温よりも気温において大であった。また、葉の無機イオン含有率は根温より気温の影響を受けやすく (Papadopoulos and Tiessen, 1987)、気温の高い条件では Ca

Table 4 Effects of air and root temperatures on mineral content in leaves, stems, roots, and basal- and distal-part of fruit in tomato plants (% DW).

Treatment ^z	BER (%)	Organ	N		P		K		Ca		Mg	
			Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper
Air-30°C	44.9	Leaf	5.79	6.47	0.89	0.93	4.48	2.84	2.83	1.04	0.86	0.56
Root-30°C	24.7		5.04	5.52	0.57	0.57	3.97	2.58	3.63	0.86	0.83	0.49
Control	3.2		5.40	5.83	0.68	0.68	3.35	2.48	2.95	0.97	0.85	0.54
			Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper
Air-30°C	44.9	Stem	2.35	4.24	0.60	0.75	4.54	5.71	1.12	0.61	0.27	0.36
Root-30°C	24.7		1.85	3.06	0.66	0.53	4.54	6.95	1.05	0.76	0.43	0.40
Control	3.2		2.36	3.90	0.75	0.63	4.94	7.06	1.23	0.88	0.46	0.44
Air-30°C	44.9	Root	3.89		1.32		4.34		1.16		0.44	
Root-30°C	24.7		3.91		0.81		2.29		1.53		0.71	
Control	3.2		3.93		1.17		2.71		1.99		0.78	
			BER	Normal	BER	Normal	BER	Normal	BER	Normal	BER	Normal
Air-30°C	44.9	Fruit	2.45	2.05	0.48	0.43	3.30	3.10	0.01	0.11	0.14	0.16
Root-30°C	24.7		2.95	2.40	0.52	0.50	3.98	3.75	0.09	0.10	0.16	0.16
Control	3.2		2.80	2.27	0.53	0.47	3.86	3.34	0.01	0.14	0.15	0.18
Air-30°C	44.9	Fruit	2.90	2.30	0.47	0.46	4.00	3.20	0.07	0.11	0.15	0.15
Root-30°C	24.7		2.95	2.50	0.46	0.48	4.29	3.75	0.09	0.13	0.13	0.16
Control	3.2		3.00	2.50	0.43	0.42	3.90	3.40	0.09	0.13	0.14	0.16

^z Treatments are as described in Table 3.

含有率は根での吸収抑制によって影響されるよりも、果実への Ca の分配とくに果柄部での転流抑制によって大きく影響を受け (Himelrick and McDuffie, 1983), したがって、根温と Ca 吸収は関係ない (Drew and Bidulph, 1971) とする報告もある。これらより、30°C 区の BER 発生と乾物生産に対する高温の影響は根温より気温で顕著であり、高温条件で地上部の Ca の分配に障害が発生したと考えられる。

開花時期を同じにした果実の開花後 19 日目の果径は 20°C 区と比較し 30°C 区で大きい値を示していた。トマト果実の SGR (=RGR) は開花後約 20 日でピークを示し (宇井・高野, 1994a), この直後乾物重の増加速度もピークを迎えた。Cox *et al.* (1976) はレタスにおいて、ま

た、Tazuke and Sakiyama (1986) はキュウリ果実において気温の上昇が RGR を上昇させることを報告している。したがって、本実験においても 20°C 区に比べ 30°C 区では開花 19 日までの果実の果径の SGR が高く、肥大初期の果径伸長が 30°C 区で高かったものと推測できる。また、Cox *et al.* (1976) はレタスのチップバーン発生は RGR と正の相関にあると報告していることから、トマトにおいても 30°C 区で SGR が高く、BER が発生しやすくなったと考えられる。事実、著者らが気温 24°C と 28°C で果径の増加速度を比較した実験では、28°C で高く BER 発生率も高かった (宇井・高野, 1994b)。

果実の K 含有率が BER の発生しやすい条件で高く

っており、K と BER 発生の関連が考えられる。一般に成長速度が高い場合に無機成分含有率は低下し、K 含有率が高い場合に成長が停滞していると考えられる。しかし、水耕栽培のトマトの場合、果実の K 吸収は SGR と密接な関係にある（宇井・高野，1994a）ので、果実の成長速度が高い場合 K の吸収性および含有率が高いとも考えられる。また、N と K は果実肥大期に要求性が高く優先的に果実へ吸収される（宇井・高野，1994a）。したがって、果実の K 含有率は葉に比べ変動が少なく、果実肥大全期を通してほぼ均一に保たれている場合が多い（宇井・高野，1994a; Halbbooks and Wilcox, 1980）。これらのことより、高温により果実の成長速度が高くなり、K に比べ Ca の供給が成長に追いつかなくなり、かつ K と拮抗的に Ca の果実への移動が抑制され、結果とし果実内の K/Ca 比が上昇し、このことが原因となり BER が発生した可能性が考えられる。

本試験では BER の発生率と Ca 含有率は果実においてほぼ逆の相関を示していたが、BER 発生率に差があるのに対し Ca 含有率には差がない場合が観察された（Fig. 2）。このことは果実全体の Ca 含有率のみで BER 発生を論じることが困難であることを示す。BER 果では果実搾汁液中の Ca が著しく低いが（趙ら，1992）、とくに果頂部での水分画の Ca 含量が低いことが報告されている（寺林ら，1988）。また、Ca は果実内での局在性が大きいことが知られており（Barta and Tibbitts, 1991; Murray *et al.*, 1971）、本試験でも果実の先端部と基部では Ca 含有率にして 0.02% 程度の差が認められた。これらの事実から、Ca の果実内での先端部への移動について調べ、果実内での Ca 分布の不均一性を明らかにする必要がある。また、果実先端組織内での Ca 存在形態が問題となり、Ca の移動性に起因してその差がでるものと推測できる。

葉の成分と BER 発生の関連については、BER がみられた個体の葉において K 含有率が高くまた N もやや高い傾向にあった。趙ら（1992）も同様な傾向を報告しており、葉の比成長率とこれらのイオンは相関が高く、葉の成長が旺盛な状況が推測できる。また、Ca は冬期より夏期で下位葉の含有率が増加すること（宇井・高野，1994a）や葉の一部を摘除した場合 BER の発生が抑制された（Wiersum, 1966）ことから考えて、高温期では Ca が下位葉に蓄積されやすく、相対的に果実への Ca の転流が低下するものと考えられる。

温度の生育に及ぼす影響を考える場合、温度条件を制御しておいた場合は湿度の変化の影響が重要となる場合がある。本実験 2 においても、BER 発生が高かった高

温条件で湿度が高かった（Fig. 4）。Ca の移動は屋の湿度が低く夜の湿度が高い条件で良好であることが知られている（Collier and Tibbitts, 1984）。いっぽう、植物体の蒸散、気孔の開閉に影響している指標として飽差がある。本試験では気温 30°C 区で生育が抑制され、BER は多発した。これは、30°C 処理で飽差が $17\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ 以上を示している時間が温室では 2 時間程度であるのに対し、ファイトロン内では 3.5 時間と著しく長かった。一般に、飽差が $17\sim 18\text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ になれば気孔が閉じると考えられることから、高温処理を行ったファイトロン内の植物体は温室の植物体に比べ長い間蒸散が抑制されていると考えられる。結果として、Ca の果実への移動が抑制されたと推測できる。

培養液濃度の上昇により果実肥大は抑制されるとする報告（趙ら，1992）が多いが、本試験において、EC の上昇は果実肥大に及ぼす影響はほとんど認められなかった（Table 1）。本試験で行った 1.2 から $1.8\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ までの EC 上昇では、果実肥大に対する影響は現れないものと考えられる。しかし、EC の高い区は BER 発生が高かった。Ehret and Ho (1986) は EC の上昇により水の吸収が著しく抑制され果柄の横径も低下し、その結果、果実の Ca 含有率が低下すると結論づけている。したがって、EC 上昇によって BER の発生が増大したことは、吸水抑制とそれによって起こる蒸散抑制によるものと考えられる。

Ca 欠乏部では K/Ca 比が高いとする報告は多く（Gerard and Hipp, 1968; Shear, 1975）、Ca/Mg 比がより重要であるとする報告（Murray *et al.*, 1971）もある。逆に Ca が直接関与しておりイオン比は関係ないとする報告（Sonneveld and Mook, 1983）もある。本試験では K/Ca 比が BER 発生に重要な影響を及ぼしていることが暗示されたが、イオンバランスと生理障害の関連を検討した報告は少ない。今後、Anion/Cation 比や陽イオン内の 1 価と 2 価のイオン比（ $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})$ ）などの検討が必要と考えられる。

摘 要

本試験は温度および培養液濃度を増加させることによりトマト体内の栄養状態を好ましくない状態にし、トマトの尻ぐされ症が発生するかどうかを調査し、以下の結果を得た。

尻ぐされ（BER）発生率は気温を 20°C から 30°C にあげると増加し、とくに、根温より気温を 30°C 加温したほうが高い発生率を示した。培養液濃度を EC 1.2 から $1.8\text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ に上昇させた場合にも BER の高い発

生率を示した。高温条件下での BER 発生率の増加は、高温条件下の果実肥大初期の果径増加と関係していた。EC 1.2 と 1.8 mS $\cdot$ cm $^{-1}$ の違いは果実肥大には影響しなかった。

BER 発生率が高い場合においては果実の Ca 含有率が低下する傾向であった。Ca 含有率は正常果に対し BER 果では、果実の先端部で 0.6 倍であるのに対し基部では 0.9 は倍であった。また、先端および基部の N, K 含有率は正常果に対し BER 果で高い値を示した。BER 発生率の増加に伴い K/Ca, N/Ca, P/Ca 比が増加した。

以上より BER の発生しやすい条件、1) 果実、葉の K/Ca, N/Ca 比の増加、2) 高温、3) 高濃度培養液による吸水抑制が重なると Ca の果実先端での局所的欠乏が生じるものと考えられる。

文 献

- Barta, D.J., Tibbitts, T.W. 1991. Calcium localization in lettuce leaves with and without tipburn: Comparison of controlled-environment and field grown plants. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **116**: 870-875.
- 趙 日煥・野並 浩・福山寿雄・逸見彰男・橋本 康 1992. 高 Ca 濃度培養液処理で起こるトマト果実の尻腐れとその原因. *日本植物工場学会誌* **4**: 40-46.
- Collier, G.F., Tibbitts, T.W. 1984. Effects of relative humidity and root temperature on calcium concentration and tipburn development in lettuce. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **109**: 128-131.
- Cox, E.F., McKee, J.M.T., Dearman, A.S. 1976. The effect of growth rate on tipburn occurrence in lettuce. *J. Hortic. Sci.* **51**: 297-309.
- Drew, M.C., Biddulph, O. 1971. Effect of metabolic inhibitors and temperature on uptake and translocation of ^{45}Ca and ^{42}K by intact bean plants. *Plant. Physiol.* **48**: 426-432.
- Ehert, D.L., Ho, L.C. 1986. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *Ann. Bot.* **58**: 679-688.
- Gerard, C.J., Hipp, B.W. 1968. Blossom-end rot of 'Chico' and 'Chico Grande' tomatoes. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **93**: 521-531.
- Halblooks, M.C., Wilcox, G.E. 1980. Tomato plant development and elemental accumulation. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **105**: 826-828.
- Himelrick, D.G., McDuffie, R.F. 1983. The calcium cycle: Uptake and distribution in apple trees. *HortScience* **18**: 147-151.
- 飯塚隆治 1991. 野菜の生育障害 (2). *化学と生物* **29**: 746-753.
- Murray, S.A., Spurr, A.R., Paulson, K.N. 1971. Electron probe analysis of Ca, Mg, and K in the fruit of tomato, *lycopersicon esculentum*, with reference to blossom-end rot. *Agron. J.* **64**: 586-588.
- Papadopoulos, A.P., Tiessen, H. 1987. Root and air temperature effect on the elemental composition of tomato. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* **112**: 988-993.
- Shear, C.B. 1975. Calcium-related disorders of fruits and vegetables. *HortScience* **10**: 361-365.
- Sonneveld, C., Mook, E. 1983. Lettuce tipburn as related to the cation contents of different plant parts. *Plant Soil* **75**: 29-40.
- 橘 昌司 1993. トマト尻腐れ症の研究の展望. *ハイドロポニックス* **7**: 15-18.
- Tazuke, A., Sakiyama, R. 1986. Effect of fruit temperature on the growth of cucumber fruit. *J. Jpn. Soc. Hortic. Sci.* **62**: 62-68.
- 寺林 敏・宮負要一・高畠俊郎・並木隆和 1988. 水耕トマトの尻腐れ果発生と果実内 Ca 含量との関係. *京都府大農学報* **40**: 8-14.
- 宇井 睦・高野泰吉 1994a. トマトの成長と体内無機栄養状態の量的解析. *生物環境調節* **32**: 163-170.
- 宇井 睦・高野泰吉 1994b. 気温, 送風, ウニコナゾール散布がトマト尻ぐされ発生に及ぼす影響. *園学雑別冊* **1** **63**: 300-301.
- Wiersum, L.K. 1966. Calcium content of fruits and storage tissue in relation to the mode of water supply. *Acta Bot. Neerl.* **15**: 406-418.