

灌水量の違いがトマト作物体および果実に及ぼす影響

馬西 清徳¹・上田 英臣²・福元 康文³・吉田 徹志²

(¹ 愛媛大学大学院連合農学研究科生産環境学連合講座・² 農学部生物環境化学講座・³ 農学部暖地園芸学講座)

Effects of Different Amount of Irrigation on Tomato Plant and Fruit

Kiyonori MANISHI¹, Hideomi UEDA², Yasufumi FUKUMOTO³,
and Tetsushi YOSHIDA²

¹ Major Chair of Environmental Science, The United Graduate School of Agricultural Sciences, Ehime University; ² Chair of Agro-Environmental Chemistry; ³ Chair of Horticulture, Faculty of Agriculture

Abstract : An experiment was conducted with two tomato cultivars *viz.* Momotaro and Yuyake under 3 different irrigation regimes (dry, medium and wet) in sandy soil. Fruit yields, quality and chemical constituents of plant parts were investigated.

1. Nitrogen concentration in leaf and stem was higher under dry condition while it was lower in wet condition. P content in leaf and stem decreased with increasing amount of irrigation. Although K content in leaf was tend to decrease with increasing amount of irrigation but not observed in case of stem. Both Ca and Mg contents in leaf and stem were little affected by irrigation amount.

2. Fruit yield, size and number of fruits per plant increased in both the cultivars with increasing amount of irrigation. Fruit size of Momotaro was larger than Yuyake because of varietal characteristics. Under same irrigation condition, fruit yield of Momoraro did not differ from Yuyake. This was due to larger size but lower number of fruits per plant of the former while smaller size with higher number of fruits per plant in the latter.

3. Brix readings and titratable acidity decreased with increasing amount of irrigation but it was reversed in case of Brix/acidity ratio. Brix in both the cultivars were highly correlated with titratable acidity but the coefficient in Yuyake was higher than Momotaro.

4. Sucrose content in fruit juice was less than other analyzed sugars extremely. Concentration of glucose was almost equal to fructose in both the cultivar. Contents of glucose, fructose and sucrose in Yuyake and only sucrose in Momotaro increase with increasing amount of irrigation. Contents of glucose and fructose in Momotaro were not affected by irrigation amount.

5. Disordered fruits were almost cracked. Incidence of fruit cracking increase with increasing amount of irrigation in case of Momotaro but was almost constant in Yuyake. Although in this experiment plants were exposed to severe water stress condition during the growth period, blossom-end rots of fruits were observed very few. It was probably due to application of less amount of fertilizers.

緒 言

近年、食生活の多様化に伴い、農作物に対する消費者の要求はその品質に向けられるようになった。トマトでも灌水量の制限や塩を投与することで作物体に給水制限させ高糖度のトマト栽培が試みられるようになり、多方面からさまざまな研究が行われている。トマトに水ストレスを与える方法として、灌水量を制限する方法、隔離床や防根シートで根域を制限する方法、養液栽培では養液濃度を高めたり¹⁻³⁾、NaClを添加して養液の浸透圧を高める方法⁴⁻⁶⁾などが報告されている。しかし、水ストレスによって果実糖度が上がる反面、結果数の減少、果実の小玉化、生理障害果の発生を招き、その結果として収量低下や品質の悪化など栽培上の問題点が指摘されている。本研究はこれらの問題を踏まえて、水ストレスがトマトの生育、果実の品質、収量に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

トマト (品種: '桃太郎' と 'ゆうやけ') を1993年2月27日播種し、山土とバーク堆肥を1:1の比で混入した育苗土にN, P₂O₅, K₂Oをそれぞれ2.5kg/a (CDU化成), 苦土石灰を12kg/a加えて混ぜ、直径7.5cmの黒ビニールポットに入れ移植育苗した。4月17日、施肥量を育苗土と同様にした砂質土壌を充填した1/5000aワグネルポットに各ポット1株定植した。第1花房開花期から第3花房開花期まで200, 300, 400ml/day, 第3花房開花期から収穫終了まで300, 400, 500ml/day灌漑をおこない、それぞれ乾燥区、中湿区、湿潤区とした (各処理区1ポット)。花房当たり発育良好な4花を残し他は切除し、第3花房上の2葉を残して摘心した。着花ホルモン処理は花房当たり2つ目の開花が認められた時点 (第1花房は4月30日~5月4日, 第2花房は5月10~14日, 第3花房は5月22~24日) で花房に4-CPA (トマトーン, 100倍液) による噴霧処理をおこなった。収穫は6月17日に開始し、7月20日終了した。

乾物重測定と無機成分分析は各処理区および品種ごとに5月15日 (5月試料) と、6月12日 (6月試料) に2株ずつ採取し、茎、葉にわけて、90°Cで2時間、60°Cで2日間乾燥し、乾物重測定後粉碎し、硫酸-過酸化水素水分解法で分解後、Nは水蒸気蒸留法、Pはモリブデン硫酸法、K, Mg, Caは原子吸光法によって定量した。

果実の糖度はATAGO HAND REFRACTOMETER ATC-1で、滴定酸は1/10N-NaOH溶液で中和滴定し、クエン酸相当量 (滴定値×0.128) に換算して示した。

果実のグルコース、フルクトース、スクロースは、トマトの果汁をろ過し、-27°Cで凍結保存した後常温で解凍し、高速液体クロマトグラフィ (日立L-3300 RIモニター, L-6000ポンプ, NH2P-50カラム, 移動層 アセトニトリル:水=75:25, 流量0.90ml/min, カラム温度40°C) で測定した。

結果および考察

1. 作物の生育と無機成分含有率 地上部乾物重 (葉+茎) は '桃太郎', 'ゆうやけ' の両品種ともに5, 6月試料とも灌水量に対応して重くなり (Fig.1.), '桃太郎' の6月試料は乾燥区が11g/株であり、湿潤区は16g/株に増加した。また, 'ゆうやけ' についても乾燥区では12g/

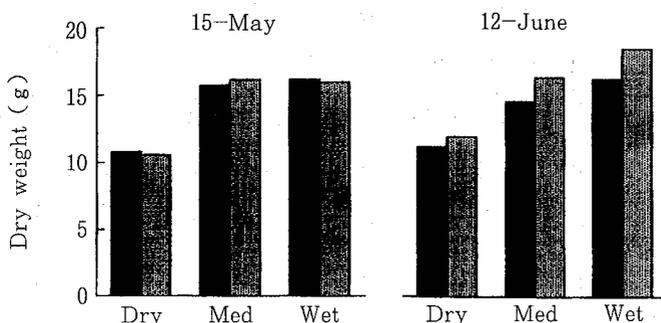


Fig.1. Dry weight of tomato plant. 'Momotaro' (left bars) and 'Yuyake' (right bars)

株、湿潤区は19g/株となり、同時期の乾物重は「桃太郎」より「ゆうやけ」の方が重い傾向がみられた。処理開始時から栽培終了時までの株当たりの灌水量は乾燥区12.2ℓ、中湿区17.1ℓ、湿潤区47.4ℓであり、灌水量の多少による施肥成分の溶解量に対応したと思われる生育がみられた。また、地上部乾物重/根乾物重比では両品種ともに各生育時期に大きな差はなく、灌水量に対応した差はみられなかった。

ADAMS and Ho⁷⁾は通常のトマトに比べて水ストレスを与えたものは果実へのCa転流量が減少し、果実肥大時の代謝異常のため、不良果の発生と関係があることを推論している。そこで本実験では各処理区の作物体内の無機成分の分布を検討するために、葉、茎のN, P, K, Ca, Mgを測定した (Table 1.)。Nの含有率は葉、茎ともに乾燥区で高く湿潤区で低かった。また、生育とともに低下する傾向がみられた。Pは葉、茎ともに灌水量の増加とともに減少し、生育とともに低下する傾向がみられた。Kは葉では湿潤区で低い傾向を示したが、茎ではその傾向はみられなかった。また、茎では5月試料に比べて6月試料は約半分に減少した。Caは葉、茎ともに灌水量の違いによる差異は認められず、品種の差もあまりみられなかったが、茎は生育とともに増加がみられた。Mgは葉、茎ともに一定の傾向はみられなかった。PILL and LAMBETH⁸⁾は土壤水分ポテンシャルを変えて栽培し、葉のK, Ca, Mgの含有率は土壤水分の違いに影響されなかったと報告している。また、CERDAら⁴⁾はNaClを添加し、浸透ポテンシャルを変えて養液栽培した結果では、葉のN, K, Caは浸透ポテンシャルに影響されなかったが、浸透ポテンシャルの減少にしたがってPは増加し、Mgは減少したと報告している。PEREZら⁹⁾はNaClを添加して養液栽培した結果、NaCl添加量の増加にしたがってK, Ca, Mgともに減少したと報告している。以上のように、水ストレスによる葉と茎の無機成分の含有率に及ぼす影響は、トマトの栽培法や生育時期などによって異なることが考えられ、本実験においても、葉や茎のCaの含有率は灌水量による差は認められなかった。今後は、果実、葉、または茎の限定した部位での分析を行い、時期別に作物体内における水ストレスの影響を考える必要がある。

2. 果実の収量 株当たりの果実数、平均1果重、株当たりの収量をTable 2. に示した。

株当たりの果実数は両品種ともに灌水量とともに増加し、乾燥区で3.3~3.8、湿潤区で4.4~4.9であった。また、「ゆうやけ」のほうが「桃太郎」よりも多い傾向がみられた。

平均1果実重は両品種ともに灌水量とともに増加し、乾燥区に比べて湿潤区では56~63g重かった。また、「桃太郎」が「ゆうやけ」よりも果実重が8~12g重かった。これは、「桃太郎」が大玉品種であるのに対して「ゆうやけ」が中玉品種であることに起因すると考えられた。

Table 1. Composition of chemical constituents of tomato leaves and stems (%)

Variety	Sampling time	Part	Treatment	N	P	K	Ca	Mg
Momotaro	15-May	Leaf	Dry	3.22	0.321	1.75	2.99	0.392
			Medium	3.16	0.346	1.74	2.99	0.344
			Wet	2.80	0.329	1.56	3.14	0.346
		Stem	Dry	1.22	0.379	3.31	1.10	0.240
			Medium	1.17	0.470	3.53	1.55	0.296
			Wet	0.97	0.488	3.66	1.61	0.341
	12-June	Leaf	Dry	2.11	0.199	1.27	4.09	0.376
			Medium	1.89	0.196	1.11	3.91	0.357
			Wet	1.71	0.244	1.11	4.34	0.291
		Stem	Dry	0.90	0.148	1.33	1.98	0.357
			Medium	0.75	0.167	1.25	1.33	0.308
			Wet	0.67	0.250	0.93	1.42	0.326
Yuyake	15-May	Leaf	Dry	3.05	0.261	1.85	2.68	0.354
			Medium	2.77	0.300	1.92	2.69	0.307
			Wet	2.32	0.290	1.73	2.60	0.255
		Stem	Dry	1.30	0.353	3.05	1.13	0.254
			Medium	1.11	0.462	3.44	1.49	0.325
			Wet	1.00	0.508	3.38	1.62	0.328
	12-June	Leaf	Dry	2.13	0.189	1.67	3.61	0.340
			Medium	1.71	0.253	1.60	3.42	0.326
			Wet	1.56	0.220	1.24	3.87	0.275
		Stem	Dry	0.97	0.147	1.58	1.54	0.298
			Medium	0.81	0.242	1.33	1.59	0.333
			Wet	0.64	0.255	0.71	1.61	0.360

Table 2. Yield of tomato fruit

	Variety	Dry	Medium	Wet
Number of fruit per plant	Momotaro	3.3	4.0	4.4
	Yuyake	3.8	4.0	4.9
Fresh weight of a fruit (g)	Momotaro	85	120	141
	Yuyake	65	118	128
Yield per plant (g)	Momotaro	281	480	620
	Yuyake	247	472	627

株当たりの収量は両品種ともに灌水量の増加にしたがって増加し、乾燥区で242~279g, 湿潤区で619~622gであった。'桃太郎'は'ゆうやけ'よりも果実重が重かったが果実数が少なかったため、収量はほぼ同じ様相を呈した。

3. 果実の糖、酸含有率 糖度、酸度および糖/酸比の結果をTable 3. に示した。両品種ともに灌水量の増加にしたがって糖度は減少し、'桃太郎'では乾燥区7.2~7.4%, 湿潤区5.6~5.8%, 'ゆうやけ'では乾燥区7.3~8.5%, 湿潤区4.9~5.1%で、乾燥区では'ゆうやけ'が'桃太郎'よりも約1%高かった。酸度も糖度と同じように灌水量の増加とともに減少した。また、品種間では大きな差はみられなかった。糖/酸比は両品種ともに灌水量とともに増加した。また第1果房では、乾燥区は'桃太郎'14.7, 'ゆうやけ'16.2, 中湿区で'桃太郎'14.5, 'ゆうやけ'18.0, 湿

Table 3. Brix, titratable acidity and Brix/acidity ratio

			Dry	Medium	Wet
	Variety	Truss No.			
Brix (%)	Momotaro	1 st	7.4	6.3	5.6
		2 nd	7.2	5.9	5.8
		3 rd	—	5.6	—
	Yuyake	1 st	8.4	6.6	5.1
		2 nd	7.3	6.0	4.9
		3 rd	8.5	7.4	4.9
Titratable acidity (g/100ml juice)	Momotaro	1 st	0.503	0.433	0.288
		2 nd	0.348	0.324	0.260
		3 rd	—	0.417	0.299
	Yuyake	1 st	0.517	0.367	0.242
		2 nd	0.389	0.292	0.205
		3 rd	0.713	—	0.274
Brix/acidity ratio	Momotaro	1 st	14.7	14.5	19.4
		2 nd	20.7	18.2	22.3
		3 rd	—	13.4	—
	Yuyake	1 st	16.2	18.0	21.1
		2 nd	18.8	20.5	23.9
		3 rd	11.9	—	17.9

潤区で '桃太郎' 19.4, 'ゆうやけ' 21.1であり, 各処理区とも 1% のレベルで品種間に有意差が認められ, 'ゆうやけ' で高い値を示した。

梶田ら³⁾は養液濃度を変えてトマトを栽培し, 高濃度で糖度および酸度が高かったことを報告している。そのデータより糖/酸比を計算すると高糖度の果実で糖/酸比が低くなった。本実験でも乾燥区で糖度が高くなったが, 糖/酸比が低くなる傾向がみられた。良食味果実としては糖度が高く, さらに, 糖/酸比が高い果実が望まれ, 今後の検討が必要である。

糖度と果実重との関係をFig.2. に示した。両品種とも湿潤区と中湿区では糖度と果実重の間には密接な関係はみられなかった。乾燥区では '桃太郎' は果実重と糖度間に有意な相関関係は

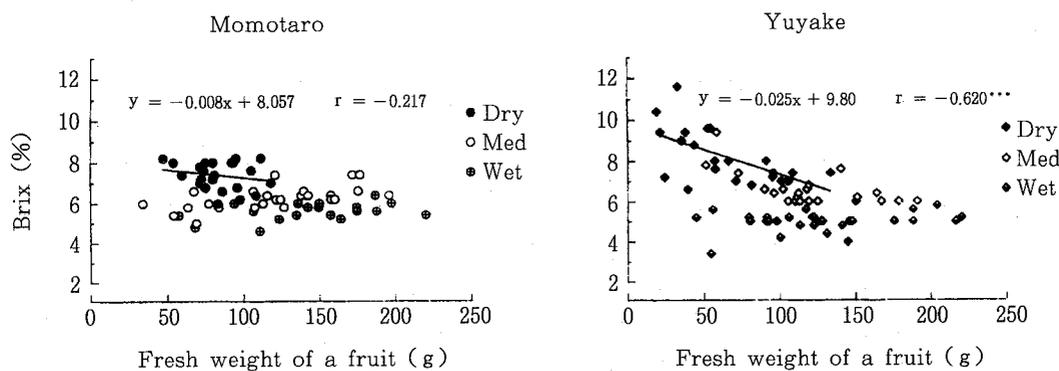


Fig.2. Relationship between Brix and fresh weight of a fruit.

***: Significant at 0.1%

みられなかった($r=-0.217$)が, 'ゆうやけ' は有意な負の相関関係($r=-0.602^{***}$)がみられ果実重が重くなるほど糖度は低下する傾向にあった. また, 両品種ともに糖度と酸度に有意な正の相関関係 ($r=0.955\sim 0.982^{***}$) が成り立ち, 'ゆうやけ' でその直線の傾きが大きかった.

PILL and LAMBETH⁸⁾ は土壤水分ポテンシャルを変え, 窒素形態をアンモニア態と硝酸態にわけて栽培し, どちらの窒素形態でも土壤水分が低いほど果実数ならびに果実重が減少した. CERDAら⁴⁾ がNaClを添加し, 浸透ポテンシャルを変えて養液栽培した結果では果実数, 果実重ともに浸透ポテンシャルの低下とともに減少した. ADAMS¹⁾ が水耕で塩分ストレスによって給水制限させた栽培では, 播種時期によってその傾向に差異がみられたが, 塩分による給水制限により株当たりの果実数は減少した. また, 果実重も給水制限によって減少し, その結果収量も減少した. また糖度, 酸度においても塩分ストレスによって増加し, 本実験と同様の傾向を示した. しかし, 糖含量は果実当たりに計算すればほとんど差はなく, 同化産物の果実への供給は作物体の水分生理には一般的に影響されないと, 彼らは考察している.

果実の可溶性糖含有率をTable 4. に示した. すべての処理区, 品種でスクロースは他の糖成分

Table 4. Composition of soluble sugars (%)

		Dry	Medium	Wet
Glucose	Momotaro	2.74	2.97	2.68
	Yuyake	3.19	2.79	2.10
Fructose	Momotaro	2.83	3.09	2.95
	Yuyake	3.24	3.06	2.32
Sucrose	Momotaro	0.09	0.09	0.05
	Yuyake	0.23	0.10	0.05
Total	Momotaro	5.66	6.15	5.68
	Yuyake	6.66	5.95	4.47

に比べて低かった. またグルコースとフルクトースはほぼ同量存在した. 'ゆうやけ' では灌水量の増加にしたがってグルコースは3.2から2.1%へ, フルクトースは3.2から2.3%へ, スクロースは0.22から0.05%へ低下した. '桃太郎' ではグルコース, フルクトースは灌水量の違いによる差異はみられず, スクロースのみ灌水量の増加にしたがって低下する傾向がみられた.

4. 不良果発生率 不良果の発生はほとんどが裂果(全果実165個に対して82個発生)で奇形果が4, 尻腐れ果が1, 窓空き果が1と裂果の発生にくらべて極めて少なかった.

裂果発生率については, '桃太郎' では乾燥区で56.5%, 湿潤区で18.8%と灌水量の増加とともに減少したが, 'ゆうやけ' では乾燥区16.7%, 湿潤区20.6%と灌水量の違いによる影響はあまりみられなかった (Fig.3).

裂果は果皮が硬化して弾力性を失ったり¹¹⁾, 土壤水分の急激な変化¹²⁾が主な原因とされている. 本実験はポット土壌として砂質土壌を使用したため, 乾燥区では土壤水分の変化が大きく, 作物が強い水ストレスを受け, 果実が硬くなり, 裂果の発生率が高くなったと考えられた. また, '桃太郎' は大玉品種であるのに対して 'ゆうやけ' は中玉品種であったため, 果実の肥大要求性が低いために 'ゆうやけ' では裂果発生率が低かったと考えられた.

トマトでは水ストレスを与えて栽培すると果実中のCa欠乏によって尻腐れ果が発生しやすいこ

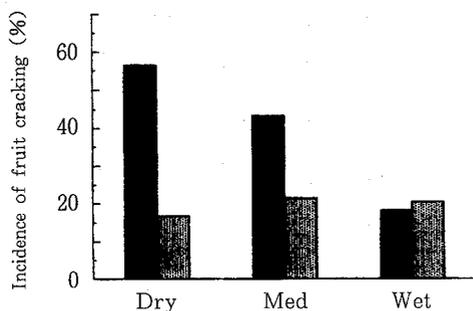


Fig.3. Incidence of fruit cracking 'Momotaro' (left bars) and 'Yuyake' (right bars).

とが報告されている^{13, 14}。また、一般的にNやKを多量施用するとイオン吸収の拮抗作用によってCaの吸収が阻害され尻腐れ果が発生しやすいと考えられている¹⁵。本実験では、乾燥区では栽培期間中、かなりの水ストレスが作物体にかかったにもかかわらず尻腐れ果はほとんど発生しなかったのは施肥量が少なかったためではないかと考えられた。今後は、施肥量と灌水量の差異による尻腐れ果発生に及ぼす影響についてさらに詳しく検討する必要がある。

要 約

トマト（'桃太郎' と 'ゆうやけ'）を異なる灌水量で栽培し、作物体の無機成分含有率、収量、果実の品質を調査した。

1. 作物体の無機成分含有率では、Nは葉、茎ともに乾燥区で高く、湿潤区で低かった。Pは葉、茎ともに灌水量の増加とともに減少した。Kは葉で湿潤区で低い傾向を示したが、茎ではその傾向はみられなかった。Ca, Mgは葉、茎ともに灌水量の違いによる差異は認められなかった。

2. 株当たりの果実数は'桃太郎'、'ゆうやけ'両品種ともに灌水量の増加とともに増加した。平均果実重は両品種ともに灌水量の増加とともに増加した。また、'桃太郎'は'ゆうやけ'よりも果実重が重かった。これは'桃太郎'が大玉品種であるのに対して'ゆうやけ'は中玉品種であることに起因していると考えられた。株当たりの収量は両品種ともに灌水量の増加とともに増加した。'桃太郎'は'ゆうやけ'よりも果実重が重かったが果実数が少なかったため収量はほぼ同じ様相を呈した。

3. 糖度、酸度ともに灌水量の増加にしたがって減少したが糖/酸比は増加した。また、糖度と酸度には正の相関関係が認められ、'ゆうやけ'でその傾きが大きかった。

4. 果汁中の可溶性糖含有率において、すべての処理区、品種でスクロースは他の糖成分に比べて低かった。またグルコースとフルクトースはほぼ同量存在した。'ゆうやけ'では灌水量の増加にしたがってグルコース、フルクトース、スクロースすべて低下した。'桃太郎'ではグルコース、フルクトースは灌水量の違いによる差異はみられず、スクロースのみ灌水量の増加にしたがって低下がみられた。

5. 不良果の発生はほとんどが裂果であった。'桃太郎'では灌水量の増加とともに減少したが、'ゆうやけ'ではほぼ一定であった。これは'桃太郎'が大玉品種であったために果実の肥大要求

性が‘ゆうやけ’よりも強く、裂果発生率が高くなったと考えられた。本実験では乾燥区では栽培期間中、かなりの水ストレスが作物体にかかったにもかかわらず尻腐れ果はほとんど発生しなかったのは施肥量が少なかったためではないかと考えられた。

キーワード：トマト，灌水量，無機成分，糖度，滴定酸度

文 献

- 1) ADAMS, P.: Effects on increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrients or sodium chloride on the yield, quality and composition of tomatoes grown in rockwool. *J. Horti. Sci.*, **66**, 201-207(1991).
- 2) ADAMS, P. and HO, L.C.: Effects of constant and fluctuating salinity on the yield, quality and calcium status of tomatoes. *J. Horti. Sci.*, **64**, 725-732(1989).
- 3) 榊田正治・瀧口 武・松原 幸子：培養液濃度がトマトの収量と品質および養液成分の濃度変化に及ぼす影響。園学雑, **58**, 641-648(1989).
- 4) CERDA, A., BINGHAM, F.T. and LABANAUSKAS, C.K.: Blossom-end rot of tomato fruit as influenced by osmotic potential and phosphorus concentrations of nutrient solution media. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **104**, 236-239(1979).
- 5) MIZRAHI, Y.: Effect of salinity on tomato fruit ripening. *Plant Pysiol.*, **69**, 966-970(1982).
- 6) MIZRAHI, Y., TALEISNIK, E., and KAGAN-ZUR, V.K.: A salinity irrigation regime for improving tomato fruit quality without reducing yield. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **113**, 202-205(1988).
- 7) ADAMS, P. and HO, L.C.: Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and on the incidence of blossom-end rot. *Plant and Soil*, **154**, 127-132(1993).
- 8) PILL, W.G. and LAMBETH, V.N.: Effects of soil water regime and nitrogen form on blossom-end rot, yield, water relations, and elemental composition of tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **105**, 730-734.(1980).
- 9) PEREZ ALFOCEA, F., ESTAN, M., CARO, M.T. and BOLARIN, M.C.: Response of tomato cultivars to salinity. *Plant and Soil*, **150**, 203-211(1993).
- 10) EHRET, D.L. and HO, L.C.: The effects of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culture. *J. Horti. Sci.*, **61**, 361-367(1986).
- 11) VOISEY, P.W., LYALL, L.H. and KLOEK, M.: Tomato skin strength -its measurement and relation to cracking. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **95**, 485-488(1970).
- 12) SHOEMAKER, J. S.: "Vegetable Growing", 3rd ed., p.373, John Wiley & Sons, New York(1947).
- 13) BOON, J. van der .: Influence of K/Ca ratio and drought on physiological disorders in tomato. *Neth. J. Agric. Sci.*, **21**, 56-67(1973).
- 14) CAROLUS, R.L., ERICKSON, A.E., KIDDER, E.H. and WHEATON, R.Z.: The interaction of climate and soil moisture on water use, growth and development of tomatoes. *Mich. Agric. Exp. Sta. Q. bull.*, **147**, 524-581(1965).
- 15) RALEIGH, S.M. and CHUCKA, J.A.: Effect of nutrient ratio and concentration on growth and composition of tomato plants and on the occurrence of blossom-end rot of the fruit. *Plant Physiol.*, **19**, 671-678(1944).

平成6(1994)年9月30日受理

平成6(1994)年12月26日発行