定植後の最低気温が一段栽培トマトの収量と品質ならびに果実肥大に及ぼす影響

和田光生・池田英男・森本華世・古川 一

大阪府立大学農学部 599-8531 大阪府堺市学園町

Effects of Minimum Air Temperatures on the Growth, Yield and Quality of Tomatoes Grown on a Single-truss System

Teruo Wada, Hideo Ikeda, Kayo Morimoto and Hajime Furukawa

College of Agriculture, Osaka Prefecture University, Sakai, Osaka 599-8531

Summary

Tomato plants were pruned and trained to a single-truss cropping system and grown hydroponically in a greenhouse kept at minimum air temperatures of 5 °C, 10 °C, 15 °C, and 20 °C. The yield and fruit quality were studied.

When flower buds attained the size of rice grains, tomato seedlings were transplanted, and treatment began. Higher minimum air temperatures advanced maturity, considerably shortened the length of cultivation, but decreased the average weight of the fruit. Minimum air temperature had a greater affect on reducing the cultivation period than it had on decreasing fruit yield.

Fruit growth rate was not increased significantly at higher minimum air temperature. We postulate that at higher air temperatures, the fruit became mature before sufficient fruit growth occurred. Hence, the fruits were smaller at harvest.

The Brix of fruit was affected little by minimum air temperature, but the titratable acidity of the fruit juice was significantly increased by high minimum air temperatures.

Key Words: tomato, single-truss, hydroponics, temperature, fruit growth.

緒 言

トマトの一段栽培は、養液栽培の特徴を活かした施設の高度利用と作業の省力化、および周年生産による生産性の向上を図ることが可能な栽培方式として近年注目されている。これまでに一段栽培に関する研究は多くなされ、気温 (Hurd・Cooper, 1790; Lake, 1967), CO₂濃度および栽植密度 (Hand・Postlethwaite, 1971), NおよびK施肥量 (Adamsら, 1973), 遮光処理 (佐藤ら, 1994; 柳ら, 1995) が生育ならびに果実収量に及ぼす影響について調べた結果が報告されている。

久富・藤本 (1978) は9作, McAvoyら (1989) は20作を栽培した結果から、いずれも株当たりの収量と日射量との間に正の相関関係が見られることを示すとともに、播種日を基準として収量および収穫日が予測できるとしている。しかし、これらはいずれも最低気温を一定とした条件下で栽培した結果である。計画的周年生産を行う場合には、開花日や収穫日の調節が必要とされることが考えられる。特に、冬季栽培の最低気温は制御が容易

であるので、開花日や収穫日を調節するために利用しやすい。しかし、実用化するには、環境条件がトマトの生育、果実の収量あるいは品質に及ぼす影響について、詳細に検討しておく必要がある。

ところで、トマトの生育適温に関しては、比較的古くから多くの研究がある。栄養生長に関する研究では、Went (1944), 斉藤・伊東 (1962), Calvert (1964), 堀・新井 (1971) が昼夜温の組合せ試験を行っており、その結果から、トマトの好適夜温はおおむね17~24 °C付近にあるとされている。一方、果実肥大と収量に関しては、久富・藤本 (1971) は、夜温は比較的低温のほうが大果率が増加して増収するとし、冬季栽培での夜温は5~10 °Cが適当であるとしている。

しかし、一段栽培による周年生産を考えた場合は、夜温を高めに設定することにより収穫までの日数を短縮して、作付け回数を増加させた方が年間収量は高まる可能性がある。しかしながら、トマトの一段栽培における冬季の最低気温と生育、収量ならびに果実品質について調べた報告は少ない。

本研究では、冬季の施設栽培において比較的制御の容易な最低気温を5~20 °Cの4段階に設定した温室内でトマトを一段栽培し、最低気温が生育ならびに果実の収

1997年1月22日 受付, 1997年8月1日 受理.
本研究の一部は平成7年度園芸学会秋季大会にて発表した。

量と品質に及ぼす影響について検討した。本報では、定植後の最低気温の影響について検討し、高夜温管理による栽培の可能性、ならびに、収量に大きく影響する果実肥大と冬季の最低気温との関係について考察した。

材料および方法

栽培環境

間口 5.7 m, 奥行き 13.5 m のポリカーボネート温室内で、第 1 図に示すような長さ 520 cm, 幅 120 cm の高架型移動式ベンチを栽培ベッドとして、養液栽培を行った。苗は 5×5×10 cm のロックウールキューブを用いて育成し、吸水マットと防根シートを敷いた上に 4 条植えにして、上部のパイプにひもで誘引した。培養液には大塚ハウス肥料 A 処方を 1/2 濃度で用いた。給液はベッド中央部に設けた給排液口から液面上下方式により、植物の吸水量に応じて 1 日 5~10 回行った。

温風暖房機によって、4 棟のハウス内の最低気温を 5, 10, 15, 20 °C に設定した。気温は花房の高さに設置した熱電対により計測して記録した。12 月から 3 月までは保温性を高めるために、側面は終日、天井部は夜間のみ内張りカーテンを 1 枚被覆した。日中は換気扇により 28 °C 以上で換気を行った。

栽培方法

‘桃太郎’ (タキイ種苗), ‘マルチファースト’ (同), ‘TVR-2’ (サカタのタネ) の 3 品種を供試した。栽培は 2 度行い、それぞれ実験 1 および実験 2 とした。いずれの実験でも、パーミキュライトに播種して、本葉が 1.5 枚展開した時にロックウールキューブに鉢上げし、第 1 花房の蕾が米粒大になった時に、上記のように温度設定

したハウス内へ定植した。第 1 花房の約半数の花が開花した時に、トマトーン 120 倍液を花房全体に散布して、花房上の 2 葉を残して摘心した。また、その後果実肥大が見られない花に対しては再度トマトーンを散布した。側枝はすべて取り除いた。

実験 1 では、9 月 10 日に播種して無加温で育苗後、10 月 22 日に各品種 24 株ずつを各ベッドに 80 株ずつとなるように定植して、加温を開始した。また、摘果は行わなかった。実験 2 では、11 月 2 日に播種して、最低気温を 20 °C に設定したハウス内で育苗後、1 月 2 日に各品種 8 株ずつを、4 棟のハウス内の各ベッドに 96 株ずつとなるように定植した。また、1 花房当たり 5 果となるように摘果した。

調査項目

着色した果実を毎週 2 回収穫し、尻腐れ果および、空洞果、乱形果を含む奇形果を除いたものを正常果収量として集計した。いずれの品種も各ハウスから 5 果ずつを 2~3 回に分けて収穫果から採取して、果実品質の測定に供試した。供試した果実は栽培ベッドの両端を除いた株の花房中の 2~3 番目に着果した果実とした。採取した果実はミキサーで磨砕後、4 重のガーゼでろ過した。得られた果汁を用いて、糖度を屈折糖度計で、滴定酸度を NaOH 滴定法により測定した。

実験 1 において、花房の基部から 1 番目および 4 番目の果実をそれぞれ 1 番果および 4 番果とし、いずれも 6 果について、果実の縦径 a (mm) および横径 b (mm) をノギスで測定して果実体積の推定を行った。まず、果実を回転楕円体とみなして、その体積 V_c (cm³) を次式により計算した。

$$V_c = 4/3\pi(a/2)(b/2)^2 \times 10^{-3}$$

この V_c は予備実験の結果から、実際の果実体積 (V) との相関が高く ($r^2=0.995$, $n=77$), 以下のような原点を通る直線によって、回帰できることが確かめられている。

$$V = 1.16V_c$$

そこで、本実験ではこの式に基づいて果実体積を推定した。果実の縦径および横径の測定は、果実の横径が 1.5 cm を超えたときに開始して、その後 1 週間ごとに行い、各区の調査果実のうちで最初の果実が収穫された時点で打ち切った。

結 果

実験 1.

ハウス内の最低気温は 11 月中は 5 °C の区で設定値まで下らない日があったが、12 月に入るとほぼ設定値まで低下した。ただし、最低気温 5 °C の区では実際の気温は約 7 °C であった。また、根域部の温度は気温に追従して日変動し、夜間は気温に 1~2 時間遅れてほぼ

Fig. 1. Hydroponic system used in the study.

PP : permeable polyethylene sheet,
CM : capillary mat, PF : plastic film,
PS : polystyrene form.

気温と同じになった。

収穫開始日は最低気温を 5℃ 高めるごとに、約 2 週間ずつ早くなり、‘桃太郎’、‘マルチファースト’、‘TVR-2’の順に、5℃では、それぞれ 1 月 20 日、2 月 1 日、1 月 26 日、20℃では、それぞれ 12 月 17 日、12 月 20 日、12 月 20 日であった。全収穫果のうち 10% の果実が収穫されてから 80% の果実が収穫されるまでの期間を収穫期間とし、定植してから 80% の果実が収穫されるまでの期間を栽培期間として第 1 表に示した。収穫期間は‘桃太郎’では 15℃以上で、他の 2 品種では 20℃で 5℃と比較して 6~12 日間短縮した。また、栽培期間は最低気温が高くなるにつれて顕著に短縮され、いずれの品種でも 20℃では 5℃の約 60% に短縮された。

収穫果は若干の窓あき果がみられたが、ほとんどが正常果であった。ただし、5℃では正常果として集計した中に、着色にむらのある果実や、表面は着色していても内部には未着色の部分が残っている果実なども含まれている。また、最低気温が高まるにつれて果実は柔らかくなる傾向がみられた。

正常果数には有意差が認められなかったが、平均 1 果重には有意差が認められ、いずれの品種でも最低気温が高まるにつれ低下する傾向がみられた (第 2 表)。また、その傾向は‘マルチファースト’でもっとも顕著で、20℃の平均 1 果重は、‘桃太郎’、‘マルチファースト’、‘TVR-2’の順に、それぞれ 5℃の 74、59、75% となった。平均 1 果重の低下に伴い、正常果収量も有意に低下し、20℃の正常果収量は‘桃太郎’、‘マルチファースト’、‘TVR-2’の順に、5℃の 80、61、76% となった。

果実の発達に伴う果実体積の推移を第 2 図に示した。1 番果と比較して 4 番果では、果実肥大が遅く、最終的な果実体積も小さかったが、両者ともよく類似した傾向

Table 1. Effects of minimum air temperature on the length of the duration of tomato harvest and cultivation (Exp. 1).

Period ^a	Air temp. (°C)	Cultivar		
		Momotaro	Multi-first	TVR-2
Harvest	5	25	25	28
	10	35	27	30
	15	17	27	27
	20	19	19	16
Duration of cultivation	5	133 (100) ^b	136 (100)	136 (100)
	10	120 (90)	123 (90)	126 (93)
	15	90 (68)	108 (79)	108 (79)
	20	78 (59)	85 (63)	82 (60)

Each value is taken from 20 plants and represented as days.

^a Period of harvest means the days from harvest of 10 % fruits to harvest of 80 % fruits.

Period of cultivation means the days from planting to harvest of 80 % fruits.

^b The number in parenthesis is a percentage taken 5 °C as 100.

Table 2. Effects of minimum air temperature on the yield of marketable fruit (Exp. 1).

Cultivar	Air temp. (°C)	No. of marketable fruit per plant	Fruit weight (g·fruit ⁻¹)	Yield of marketable fruit (g·plant ⁻¹)
Momotaro	5	5.2	161 (100)	832 (100)
	10	5.2	156 (97)	805 (97)
	15	4.7	138 (86)	644 (77)
	20	5.6 n.s. ²	119 (74) ***	666 (80) *
Multi-first	5	4.8	2.7 (100)	996 (100)
	10	5.1	151 (73)	764 (77)
	15	5.3	134 (65)	705 (71)
	20	4.9 n.s.	123 (59) ***	603 (61) ***
TVR-2	5	4.8	176 (100)	865 (100)
	10	5.4	161 (91)	869 (100)
	15	5.5	136 (77)	747 (86)
	20	4.9 n.s.	132 (75) ***	660 (76) *

Each value is the mean of 20 plants.

² n.s., * and *** indicate nonsignificance and significance at P=0.05, P=0.001 by analysis of variance, respectively.

³ The number in parenthesis is a percentage taken 5 °C as 100.

Fig. 2. Growth curves of tomatoes on plants grown at a minimum air temperature of 5 °C (·····), 10 °C (---), 15 °C (-·-·-), 20 °C (—).

Measurements were started when the equatorial diameter of fruit became 1.5 cm. Each value is the mean of 6 fruits.

がみられた。‘桃太郎’および‘マルチファースト’ではいずれの温度でも、果実はほぼ同じ速度で肥大した。‘TVR-2’では他の 2 品種と異なり、5 および 10℃ と比

較して 15 および 20 °C で果実肥大が速かった。一方、詳細なデータは示していないが、果実の直径が 1.5 cm に達してから成熟するまでに要する日数は、いずれの品種でも最低気温が高まるにつれて顕著に短縮した。また、その短縮の程度は‘桃太郎’と比較して‘マルチファースト’および‘TVR-2’で大きかった。

低温区として 5 °C、高温区として 20 °C の果実について、糖度と滴定酸度を測定した (第 3 表)。¹ ‘桃太郎’では、滴定酸度に最低気温による差は見られなかったが、糖度は 20 °C で低下した。他の 2 品種では逆に、糖度は最低気温による影響はみられなかったが、滴定酸度は 5 °C より 20 °C で高かった。

実験 2.

収穫開始日は、‘桃太郎’、‘マルチファースト’、‘TVR-2’の順に、5 °C ではそれぞれ、4 月 11 日、15 日、20 日、20 °C ではそれぞれ、3 月 4 日、7 日、7 日であった。

果実収量を第 4 表に示した。10 °C では灰色カビ病が発生したため、いずれの品種でも正常果数が低くなった。また、灰色カビ病は 5 °C でも、特に‘桃太郎’で発生したが、15 °C および 20 °C では全く発生しなかった。

灰色カビ病による正常果数の低下により、正常果収量は 10 °C で最も低くなった。しかし、実験 1 と同様に最低気温が高まるにつれて、平均 1 果重が小さくなり、正常果収量は低下する傾向が見られた。また、最低気温を高めたときの平均 1 果重の低下は、実験 1 と同様に‘マルチファースト’で最も顕著であった。

収穫果の糖度と滴定酸度を比較したところ (第 5 表)、『桃太郎』の糖度を除いて、実験 1 とほぼ同様の結果が得られた。‘桃太郎’の糖度は実験 1 と異なり、20 °C で高くなったが、他の 2 品種の糖度は最低気温による影響は認められなかった。また、いずれの品種でも最低気温が

Table 3. Effects of minimum air temperature on the Brix and the titratable acidity of fruits (Exp. 1).

Cultivar	Air temp. (°C)	Brix	Titratable acidity (mg·100 ml ⁻¹) ¹
Momotaro	5	5.3	439
	20	4.9 * ²	452 n.s.
Multi-first	5	4.5	341
	20	4.5 n.s.	425 *
TVR-2	5	5.0	355
	20	4.8 n.s.	439 **

¹ Each value is the mean of 5 fruits.

² Data are expressed as citric acid equivalent.

³ n.s., * and ** indicate nonsignificance and significance at P=0.05, P=0.01 by T-test, respectively.

Table 4. Effects of minimum air temperature on the yield of marketable fruit (Exp. 2).

Cultivar	Air temp. (°C)	No. of marketable fruit per plant	Fruit weight (g·fruit ⁻¹)	Yield of marketable fruit (g·plant ⁻¹)
Momotaro	5	3.7	132(100)	489(100)
	10	3.6	136(103)	481 (98)
	15	4.6	128 (97)	594(121)
	20	4.1 n.s.	119 (90) n.s.	492(101) n.s.
Multi-first	5	4.3	144(100)	612(100)
	10	3.9	132 (92)	515 (77)
	15	4.8	122 (85)	579 (71)
	20	4.5 n.s.	109 (76) n.s.	492 (61) n.s.
TVR-2	5	4.5	133(100)	599(100)
	10	3.5	131 (98)	458 (76)
	15	4.8	133(100)	631(105)
	20	4.4 *	104 (78) n.s.	461 (77) n.s.

¹ Each value is the mean of 8 plants.

² n.s. and * indicate nonsignificance and significance at P=0.05 by analysis of variance, respectively.

³ The number in parenthesis is a percentage taken 5 °C as 100.

Table 5. Effects of minimum air temperature on the Brix and the titratable acidity of fruits (Exp. 2).

Cultivar	Air temp. (°C)	Brix	Titratable acidity (mg·100 ml ⁻¹) ¹
Momotaro	5	4.9	379
	10	5.0	372
	15	5.0	386
	20	5.5 * ²	449 *
Multi-first	5	4.6	314
	10	4.4	321
	15	4.7	346
	20	5.0 n.s.	460 ***
TVR-2	5	5.1	351
	10	5.2	346
	15	5.5	374
	20	5.3 n.s.	480 ***

¹ Each value is the mean of 5 fruits.

² Data are expressed as citric acid equivalent.

³ n.s., * and ** indicate nonsignificance and significance at P=0.05, P=0.001 by analysis of variance, respectively.

高まるにつれて、滴定酸度は高まる傾向が見られ、特に 20 °C の滴定酸度は顕著に高かった。

考 察

一段栽培によりトマトの周年生産を行う場合、年間収量は 1 作の収量と年間の作付け回数により決まる。年間収量を高めようとする場合には、これらのうち一方もしくは両者を効率的に高める必要がある。

人工気象室を用いた実験から、トマトの開花から収穫までの日数は、昼温 (Lake, 1967), 夜温 (Hurd・Graves, 1985) のいずれを高めても短縮することがわかっている。また、トマトの低段栽培においても、年間を通した作付けから気温の高い時期には収穫までの日数が短いことが知られている (久富・藤本, 1978; 佐々木, 1991; McAvoy ら, 1989)。本実験においても、収穫開始日は最低気温を 5°C 高めるごとに約2週間早くなった。また、'桃太郎' では 15°C 以上、他の2品種では 20°C まで最低気温を高めることにより収穫期間が短縮された。このことにより、栽培期間は本実験の定植時を基準に考えた場合、いずれの品種でも最低気温を 20°C まで高めると、 5°C と比較して約60%に短縮された。このことは、最低気温を高めることにより年間の作付け回数を増加させることが容易であることを示している。

一方、冬期栽培において最低気温を高めることは1果重の低下を引き起こし、収量を低下させる傾向があることが示された。このことは特に9月播種の実験では有意であった。本実験での処理は、昼温にはあまり影響せず、主として夜温に影響した。夜温を高めた場合に1果重が低下することは久富・藤本 (1971)、長岡ら (1979) も報告している。この原因については、夜温が低いと開花から収穫までの期間が長くなるため、果実は長期間にわたって肥大するので大果となると考えられている (長岡ら, 1979; Hurd・Graves, 1985)。ただし、この仮説は低夜温でも果実肥大速度が低下しないことが前提となる。しかしながら、Pearce ら (1993) は人工気象室を用いた実験から、トマト果実の肥大速度は温度に強く影響を受け、 $10\sim 25^{\circ}\text{C}$ の範囲では気温が高いほど速くなることを示しており、上記の仮説に反する。これは、栽培条件や品種間差が果実肥大に影響するためと考えられる。

そこで本実験では、冬季のハウス内で、栽培条件下でのトマト果実の体積生長の推定を行った。その結果、各最低気温における果実肥大には、品種間差が見られ、果実の直径が 1.5 cm を超えてからの果実肥大は、'TVR-2' では最低気温が高くなるにつれて速くなるものの、'桃太郎' および 'マルチファースト' では最低気温の影響をあまり受けないことが示唆された。一方、収穫されるまでの日数は最低気温が高まるにつれて顕著に短縮され、その効果は 'マルチファースト' と 'TVR-2' で大きかった。このことから、最低気温を高めた場合、果実肥大速度は変わらないかもしくは若干高くなるが、果実が成熟するまでに要する日数は顕著に早まる。そのため、最低気温が高いと十分に肥大する前に小果で収穫されることが示された。また、特に 'マルチファースト' では最低気温を高めた場合、果実肥大は速まらないものの、収穫までの日数は大きく短縮されたため、品種間で1果重の低下がもっとも大きかったものと推察された。なお、

実験2では1果重に有意差は見られなかった。このことは、実験2の1果重は実験1と比較して小さかったこととあわせて、灰色カビ病による影響とともに、果実肥大に季節間差や育苗時の条件が関与したものと考えられる。

最低気温の高い区で果実肥大が速まらなかった理由として、果実肥大に大きく関与する果実への炭水化物の転流量 (Walker・Ho, 1977) は最低気温を高めてもあまり増加しなかったという可能性と、夜温上昇による温室内部相対湿度の低下により、植物体が水分ストレスを受けた可能性が考えられる。実際、温室内部の相対湿度を測定したところ、日中はいずれの区でもほぼ同じであったが、夜間は最低気温の高い区で低く、 5 および 10°C ではほぼ100%に近かったのに対して、 15°C および 20°C ではそれぞれ、約70%および60%であった。この相対湿度の低下は、多湿条件で発生しやすいことがわかっている灰色カビ病 (農山漁村文化協会, 1993) の発生を抑制したが、一方で、植物体に水ストレスを与えたであろうと推察される。また、本実験では根温が気温とほぼ同じように変動した。この根温が影響した可能性は否めない。これらの点について明らかにするためには、さらなる実験が必要であろう。

このように、最低気温を高めることは1果重の低下を引き起こし、収量を低下させる傾向がある。第2表から、実験1において最低気温を 5°C から 20°C に高めた場合の正常果収量は、'桃太郎'、'マルチファースト'、'TVR-2' の順に、それぞれ、80, 61, 76%となった。しかし、前述したように栽培期間はいずれの品種でも約60%に短縮された。このことは、'桃太郎' および 'TVR-2' では最低気温を高めることによる収量低下よりも栽培期間短縮効果の方が高いことを示している。実験2では、株数が8株と少なかったため、詳細なデータは示さないが、最低気温を高めると、栽培日数は顕著に短縮されるものの、正常果収量の低下は実験1ほど大きくなく、実験1と同様に、収量低下より栽培期間短縮効果の方が高いことを示唆する結果となった。これらの結果から、 $5\sim 20^{\circ}\text{C}$ の範囲であれば、冬季の最低気温を高めて栽培した方が、年間収量は高まる可能性が示唆された。ただし、最低気温を高めることはそれだけ、暖房コストが高くなる。また、本報では育苗に要する期間や面積を考慮していない。そのため、経済的な評価のためにはさらなる検討が必要である。

最低気温 5°C では着色にむらがある果実が見られた。一般にトマト果実の色素であるカロチノイドの生成は温度の影響を強く受け、リコピンでは 10°C 、カロチンでは 8°C 以下でその生成が抑制される (斉藤, 1991)。このため、最低気温 5°C は色素の生成には低すぎる。また、果実の表面温度を測定したところ、夜間は気温とほぼ同じ温度になるものの、日中は直射日光の当たる部分

と日陰の部分では5℃前後の温度差があることが確かめられている (未発表)。このことから、果実の中心部や日陰部分は日中でも十分な温度上昇が得られず、着色不良となると考えられた。

本実験では、最低気温を高めた場合に、糖度には一定の傾向はないものの、酸度は高くなった。特に、実験2の結果から、20℃まで高めると顕著に高まることが示された。トマトの果実品質に及ぼす気温の影響について、崎山 (1968) は昼夜温一定もしくは昼温のみ制御した条件下で栽培した場合、20℃と30℃では糖度に差はなかったが、遊離酸含量は30℃で高かったと報告している。また、夜温の影響について、長岡ら (1979) は糖度には一定の傾向が見られないが、酸度は低日照下では夜温が高いと高まることを報告している。本実験の結果はこれらの報告とよく一致するものであった。

以上のように、冬季トマト栽培において最低気温を高めることは1果重を低下させ、株当たりの収量を低下させた。しかしながら、最低気温は収量低下よりも栽培期間短縮に大きく影響したことから、年間収量を考えた場合には、冬季の最低気温を高めた方が、収量は増加する可能性が示された。また、最低気温の高い区で果実が小果となるのは、果実肥大が最低気温を高めてもあまり速くならないことが大きく関与していることが明らかとなった。

摘 要

冬期に最低気温を5, 10, 15, 20℃に設定したハウス内でトマトを一段栽培し、収量と品質ならびに果実肥大について調査した。

花蕾が米粒大となった時に定植して、処理を開始した。最低気温を高めると、収穫開始までの日数は短縮して栽培期間は顕著に短縮された。また、1果実重が低下して収量は低下したが、最低気温は収量低下よりも栽培期間短縮に大きく影響した。

果実肥大は最低気温を高めても顕著には高まらなかった。このため、最低気温を高めると十分に肥大する前に成熟して、小果で収穫されるものと推察された。

収穫果の糖度に気温による一定の傾向は見られなかったが、酸度は最低気温が高まるにつれて増加する傾向がみられた。

引用文献

- Adams, P., W. Winsor and J. D. Donald. 1973. The effects of nitrogen, potassium and sub-irrigation on the yield, quality and composition of single-truss tomatoes. *J. Hort. Sci.* 48 : 123-133.
- Calvert, A. 1964. The effects of air temperature on growth of young tomato plants in natural light conditions. *J. Hort. Sci.* 39 : 194-211.
- Hand, D. W. and J. D. Postlethwaite. 1971. The response to CO₂ enrichment of capillary-watered single-truss tomatoes at different plant densities and seasons. *J. Hort. Sci.* 46 : 461-470.
- 久富時夫・藤本幸平. 1971. 低温期のトマトの生育調整に関する研究. 第2報. 夜温, 土壌水分, 光量, 苗質および窒素施用量がトマトの生育収量に及ぼす影響—2⁵ 要因実験の1/2実施. 奈良農試研究報告. 3 : 37-54.
- 久富時夫・藤本幸平. 1978. トマトの一段密植栽培に関する研究. 第1報. は種期別の生育, 収量について. 園学雑誌. 46 : 487-494.
- 堀 裕・新井和夫. 1971. 昼夜温とその組合せがそ菜の生育に及ぼす影響. I. 育苗時の昼夜温の組合せとトマトおよびキュウリ苗の生育, ならびにそれらを均一栽培した場合の収量・草型について. 園試報. A. 10 : 205-227.
- Hurd, R. G. and A. J. Cooper. 1970. The effect of early low temperature treatment on the yield of single-inflorescence tomatoes. *J. Hort. Sci.* 45 : 19-27.
- Hurd, R. G. and C. J. Graves. 1985. Some effects of air and root temperatures on the yield and quality of glass-house tomatoes. *J. Hort. Sci.* 60 : 359-371.
- Lake, J. V. 1967. The temperature response of single-truss tomatoes. *J. Hort. Sci.* 42 : 1-12.
- McAvoy, R. J., H. W. Janes, B. L. Godfriaux, M. Secks, D. Duchai and W. K. Wittman. 1989. The effect of total available photosynthetic photon flux on single-truss tomato growth and production. *J. Hort. Sci.* 64 : 331-338.
- 長岡正昭・高橋和彦・新井和夫・花田俊雄・吉岡 宏. 1979. 光の強さ・夜温・CO₂濃度が施設栽培トマトの生育・収量に及ぼす影響. 野菜試報. A. 6 : 105-102.
- 農山漁村文化協会. 1993. 加除式農業総覧原色病害虫診断防除編. 2-1. 野菜・果菜/ナス科その他. p. 57-64. 農山漁村文化協会. 東京.
- Pearce, B. D., R. I. Grange and K. Hardwick 1993. The growth of young tomato fruits. I. Effects of temperature and irradiance on fruit growth in controlled environments. *J. Hort. Sci.* 68 : 1-11.
- 齊藤 隆. 1991. 野菜園芸の辞典. p 63-64. 朝倉書店. 東京.
- 齊藤 隆・伊東秀夫. 1962. トマトの生育ならびに開花結実に関する研究. 第1報. 育苗期の温度が生育ならびに開花結実に及ぼす影響. 園学雑誌. 31 : 303-314.
- 崎山亮三. 1968. トマト果実の酸含量に及ぼす灌水・温度・遮光の影響. 園学雑誌. 37 : 67-72.
- 佐々木浩二. 1991. NFTを用いた2段階心栽培による周年計画生産技術の確立. 生物環境調節. 29 : 117-126.
- 佐藤治雄・柳 智博・平井宏昭・上田悦範・織田弥三郎. 1994. 遮光処理が一段栽培トマト個体の生長, 果実収量および各器官への乾物分配に及ぼす影響. 生物環境調節. 32 : 231-237.
- Walker, A. J. and L. C. Ho. 1977. Carbon translocation in the tomato : Carbon import and fruit growth. *Ann. Bot.* 41 : 813-823.
- Went, F. W. 1944. Plant growth under controlled conditions. II. Thermoperiodicity in growth and fruiting of tomato. *Amer. J. Bot.* 31 : 303-314.
- 柳 智博・上田悦範・佐藤治雄・平井宏昭・織田弥三郎. 1995. 一段摘心栽培トマトの収穫果実の品質に及ぼす遮光処理と着果順位の影響. 園学雑誌. 64 : 291-297.