夏秋期における栽培時期および果房による遭遇温度の違いが トマト果実肥大に及ぼす影響

長菅香織*・上野広樹・松尾 哲・今西俊介・松永 啓

農業・食品産業技術総合研究機構野菜花き研究部門 514-2392 三重県津市安濃町

Tomato Fruit Development under Summer-to-autumn Temperature Conditions with Different Planting Seasons and in Each Fruit Truss

Kaori Nagasuga*, Hiroki Ueno, Satoshi Matsuo, Shunsuke Imanishi and Hiroshi Matsunaga

Institute of Vegetable and Floriculture Science, NARO, Anou, Tsu, Mie 514-2392

Abstract

Effects of temperature conditions on fruit development were examined in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) with different planting seasons and in each fruit truss. Nine cultivars were planted in July and September in 2014 and 2015. The period during anthesis and fruit set (fruit-set stage) was longer, and the period during fruit set and break (fruit-development stage) was significantly shorter with July planting than September planting for all cultivars at both years tested. The fruit weight, diameter, and number of seeds were reduced significantly in most cultivars with July planting compared with September planting. Additionally, with July planting in both years, more than half of the cultivars showed a significant increase in the production ratio of small fruit (less than 50 g). The cultivars showing a markedly decreased fruit weight with July planting also showed a markedly reduced number of seeds, and the number of days in the fruit-set stage was much higher and that in the fruit-development stage was much lower. In the cultivars, the fruit weight was markedly reduced in the first truss with July planting in both years tested, and the temperature of the fruit-set stage was higher in the first truss. The fluctuations in the fruit weight and seed number of each fruit truss were correlated with the temperatures of the fruit-set stage of each fruit truss with July planting. In this experiment, it was considered that the decrease in fruit development with July planting was correlated with the seed number and days of the fruit-development stage, and strongly affected by the temperature of the fruit-set stage.

Key Words : fruit-development stage, fruit-set stage, high temperature, small fruit, tomato cultivars

キーワード : 着果期, 果実肥大期, 高温, 小果, トマト品種

緒 言

国内のトマト生産では、施設栽培における周年生産が図られているが、不良環境による収量や品質の不安定性が、経営上の大きな問題となっている。周年にわたる安定的な高品質多収生産を実現するためには、その対策技術の開発が不可欠である。トマト夏秋期生産において、9～10月は出荷量が減少し、単価が高い時期である（農林水産省, 2015）。これには夏期高温による肥大不良果の発生が原因のひとつとして関与していると考えられる。

これまでに、温度条件とトマト果実肥大に関する報告はみられるが、10～26℃程度の温度域で調べられている場合が多く（Adams ら, 2001; Bertin, 2005; Tomer ら, 1998; Van Der Ploeg・Heuvelink, 2005）、国内施設生産で想定される、昼温が40℃近くに達する夏期高温条件とは大きく異なる。

また、多くは国内において一般的に生産されている品種とは異なり、国内での技術開発につなげるためには未解明な点が残されている。国内では1960年代に‘福寿2号’の果実発達における高温障害について、形態学および組織解剖学的な報告がある（Iwahori, 1965, 1966; 岩堀ら, 1963）。しかし、一連の報告は、40℃以上の非常に高い温度を短時間処理した結果であり、より実際栽培に近い温度条件における解析が必要である。また、この50年間で品種は大きく変遷しており、現在の国内品種における果実発達に対する高温の影響は明らかではない。高温によるトマト肥大不良果の発生を抑制する技術を開発するためには、近年の国内トマト品種における夏秋期の果実肥大様相を詳細に把握する必要がある。

そこで、本実験では夏秋期の異なる時期に栽培した国内トマト9品種において、開花から収穫までの果実発達段階別の所要日数、収穫果実形質および果房別遭遇温度と果実肥大との関係を比較し、夏期高温下における国内主力品種の果実肥大様相の把握を行い、肥大不良果の形態的な発生機構について考察した。

2017年5月15日 受付. 2017年10月30日 受理.
本報告の一部は園芸学会平成27年度春季大会および平成28年度春季大会で発表した。

* Corresponding author. E-mail: nkaori@affrc.go.jp

材料および方法

1. 2014 年の供試品種および栽培条件

供試株の栽培および試験は、三重県津市の野菜花き研究部門において行った。国内の夏秋期栽培に用いられる主力品種である、‘桃太郎8’、‘桃太郎はるか’、‘桃太郎ヨーク’、‘大型福寿’（タキイ種苗(株)）、‘りんか409’、‘麗夏’、‘麗容’（(株)サカタのタネ）、‘冠美’、‘スーパー優美’（丸種(株)）を供試した。各品種を6月9日および7月23日の2回に分けて播種し、それぞれ6月30日および8月12日に園芸培土、バーミキュライトおよびピートモスの配合土を詰めた直径12 cm、700 mL 容量の黒プラスチック鉢に鉢上げした。第1花房の発生が認められた7月24日（7月定植）および9月3日（9月定植）に、それぞれ異なるプラスチックハウスに、畝幅80 cm、株間40 cm、1条植えで本圃に定植した。各定植時期において各品種3株3反復とした。各花房について、花房内の花の花弁がほぼ完全に開いている段階に、週3回程度の振動授粉を行った。7月定植においては第6果房まで、9月定植においては第5果房まで、果房当たり最大4花となるように摘花および摘心した。9月定植においては10月29日から15°C加温とした。7月定植においては10月31日、9月定植においては12月25日に調査を終了した。

2. 2015 年の供試品種および栽培条件

2014 年の供試品種のうち、‘桃太郎はるか’、‘桃太郎ヨーク’、‘大型福寿’（タキイ種苗(株)）、‘りんか409’、‘麗容’（(株)サカタのタネ）、‘スーパー優美’（丸種(株)）を供試した。各品種を6月11日および7月24日の2回に分けて播種し、それぞれ6月30日および8月11日に2014年と同様に鉢上げした。7月23日（7月定植）および9月3日（9月定植）に、2014年と同様に定植および管理し、第6果房まで調査した。9月定植においては10月15日から15°C加温とした。7月定植においては11月6日、9月定植においては12月25日に調査を終了した。

3. 気温測定および調査方法

いずれの年についてもプラスチックハウスでの試験期間中に、ハウス東西方向の中央付近における北、中央および南の地上1 mでの気温を、2014年については10分ごと、2015年については1分ごとに測定した。また、開花日は花弁が完全に開いた日、着果日は子房が6 mm 径程度になり肥大の兆候が認められた日、催色日は果実が色づき始めた日、収穫日は果皮の8割以上が色づいた日とし、それぞれについて果実ごとに調査した。着果率については、摘花後の花数当たりの着果数を株ごとに算出した。収穫した果実については、重量、直径、種子数を調査し、50 g 以下の果実を小果として、その発生率を株ごとに算出した。

結 果

1. 試験ハウスにおける気温条件

定植から試験終了までの期間における試験ハウス内の旬別平均気温は、2014年の7月定植では30°Cから18°Cへと推移し、9月定植では24°Cから15°Cへと推移した（第1図）。同様に、2015年の7月定植における試験ハウス内の旬別平均気温は30°Cから19°Cへと推移し、9月定植では24°Cから17°Cへと推移した。両年における試験ハウス内の旬別平均気温は、7月下旬はほぼ同様であり、8月上旬では2015年において2014年に比べて3.5°C高かった。その後、9月下旬まではほぼ同様に推移し、10月上旬では2015年において2014年に比べて2.4°C低かった。10月中旬は同様であったが、10月下旬から12月下旬では2014年に比べて2015年で1~4°C高く推移した。いずれの年についても、定植時における試験ハウス内の旬別平均気温は、9月定植に比べて7月定植で6°C高かった。

2. 栽培時期がトマト果実肥大に及ぼす影響

調査した全果実における開花から着果まで（着果期）の平均日数は、2014年の7月定植において12~29日、2015年の7月定植において12~35日、9月定植についてはいずれの年も7~15日であり、いずれの年もすべての品種において9月定植に比べて7月定植で有意に長かった（第2図）。その程度が大きかったのは、2014年では‘桃太郎8’、2015年では‘桃太郎ヨーク’および‘桃太郎はるか’であった。調査した全果実における着果から催色まで（果実肥大期）の平均日数は、2014年の7月定植において30~37日、9月定植において46~51日、2015年の7月定植において30~39日、9月定植において44~51日であり、いずれの年もすべての品種において9月定植に比べて7月定植で有意に短かった。その程度が大きかったのは、2014年では‘冠美’、2015年では‘桃太郎ヨーク’および‘桃太郎はるか’であった。調査した全果実における催色から収穫までの平均日数は、2014年においては7月定植で有意に短い品種が多かったが、2015年においては栽培

Fig. 1. Change of mean air temperature in a plastic house during planting and harvesting in 2014 (triangle) and 2015 (circle). B, M, and E indicate beginning, middle, and end.

Fig. 2. Effect of planting season on days of tomato fruit development.

Data represent mean values calculated for all fruits investigated. NS, * and ** indicate non-significant and significant differences with $P < 0.05$ and 0.01 by the t-test, respectively.

時期の差はほとんどみられなかった。2か年ともに供試した6品種における7月定植の着果期は、概ね2014年に比べて2015年で長く、その程度は‘桃太郎ヨーク’、‘桃太郎はるか’および‘麗容’で大きかった。一方、7月定植における果実肥大期は、‘桃太郎ヨーク’および‘麗容’においては2015年で短かった。

2014年における着果率は、7月定植では14～70%であったが、9月定植では概ね90%以上であった（第1表）。2015年においては、9月定植での振動授粉の回数が少なかったため着果率が低下し、栽培時期による差はほぼみられなかった。2014年における果重は、9月定植で約180～270gであったのに対し、7月定植では約40～150gであり、すべての品種において9月定植に比べて7月定植で有意に小さかった。2014年における果径は、9月定植で約7.5～9.0cmであったのに対し、7月定植では約4.5～7.0cmであり、すべての品種において9月定植に比べて7月定植で有意に小さかった。2015年においても、すべての品種で、果重および果径は9月定植に比べて7月定植で有意に小さかった。栽培時期における果重の差は、2014年では‘スーパー優美’および‘りんか409’、2015年では‘桃太郎ヨーク’および‘桃太郎はるか’で大きかった。‘桃太郎ヨーク’および‘桃太郎はるか’の7月定植においては、2014年に比べて2015年で果重が小さかった。また、いずれの年においても、ほぼすべての品種で、9月定植に対する7月定植の果重比は、9月定植に対する7月定植の果実肥大期の日数比より小さかった。小果発生率は、いずれの年においても9月定植では5%以下の非常に低い品種が多

かったのに対し、7月定植ではほとんどの品種が5%以上であった。種子数は、7月定植で50以下、9月定植で30～180程度であり、ほとんどの品種で9月定植に比べて7月定植において有意に少なかった。その程度は、2014年では‘スーパー優美’、‘りんか409’、‘麗夏’および‘桃太郎8’、2015年では‘桃太郎ヨーク’および‘桃太郎はるか’で大きかった。

3. 果房別の遭遇温度がトマト果実肥大に及ぼす影響

2か年ともに供試した6品種について、7月定植における着果期の果房別平均遭遇温度は、いずれの年も第1果房で高い品種が多かった（第2表）。‘大型福寿’、‘麗容’および‘りんか409’では、2015年において下位ほど高く、第1果房から第6果房まで3～4℃低下した。果実肥大期の果房別平均遭遇温度は、2014年では第1果房で高い品種が多かったが、2015年では果房位置との関連性はほとんどみられなかった。各品種の各果房において、果実肥大期に比べて着果期の果房別平均遭遇温度が高く、着果期および果実肥大期の果房別平均遭遇温度は2014年に比べて2015年で低下した。7月定植における果重の果房別平均値は、‘大型福寿’および‘麗容’では両年、‘スーパー優美’では2014年、‘桃太郎はるか’および‘りんか409’では2015年において、下位で有意に小さかった。7月定植における種子数の果房別平均値は、‘麗容’では両年、‘りんか409’では2015年において、下位で有意に小さかったが、その他では果房間における差は概ね認められなかった。9月定植における着果期の果房別平均遭遇温度は、各品種の各果房において7月定植に比べて2～7℃程度低下し、

Table 1. Effect of planting season on fruit set and fruit development of tomato.

Year	Cultivar	Fruit set (%)		Weight (g)		Diameter (cm)		Small fruit (%)		Number of seeds		Days of fruit development stage					
		Jul.	Sep.	Jul.	Sep.	Jul.	Sep.	Jul.	Sep.	Jul.	Sep.	Weight	Jul./Sep.				
2014	Momotaro-Yoku	14.2	89.0	134.9	202.4	**	**	6.6	7.6	**	NS	36.9	96.0	**	0.7	0.8	
	Momotaro-Haruka	17.1	92.1	**	94.6	190.8	**	**	5.9	7.5	**	NS	19.1	54.5	**	0.5	0.6
	Momotaro8	17.4	93.4	**	110.0	192.6	**	**	6.0	7.6	**	*	21.7	121.8	**	0.6	0.6
	Ogatahukuju	41.4	99.3	**	125.6	259.5	**	**	6.3	8.6	**	**	35.0	117.9	**	0.5	0.6
	Reiyo	69.9	98.2	**	145.3	271.1	**	**	6.8	8.6	**	NS	47.5	181.0	**	0.5	0.7
	Reika	43.9	97.5	**	125.6	268.2	**	**	6.6	8.8	**	**	30.1	173.0	**	0.5	0.7
	Rinka409	46.5	94.9	**	86.1	225.8	**	**	5.4	8.0	**	**	13.3	82.1	**	0.4	0.7
	Super-Yubi	26.9	77.2	**	43.9	181.6	**	**	4.6	7.5	**	**	2.6	27.9	**	0.2	0.7
	Kanbi	59.4	96.5	**	118.4	237.4	**	**	6.3	8.2	**	*	20.8	99.4	**	0.5	0.6
2015	Momotaro-Yoku	48.6	49.8	NS	116.5	215.7	**	**	6.2	8.0	**	*	24.9	64.8	**	0.5	0.7
	Momotaro-Haruka	58.8	62.1	NS	85.3	198.7	**	**	5.5	7.6	**	**	15.0	60.8	**	0.4	0.7
	Ogatahukuju	76.5	77.8	NS	177.4	280.4	**	**	7.3	8.9	**	**	39.1	138.5	**	0.6	0.8
	Reiyo	74.4	81.6	NS	158.0	243.8	**	**	7.0	8.3	**	**	45.8	130.6	**	0.6	0.7
	Rinka409	67.9	65.3	NS	147.9	183.9	*	**	6.7	7.6	**	NS	26.4	47.6	**	0.8	0.8
	Super-Yubi	61.8	46.1	*	124.8	172.9	*	**	6.4	7.5	**	NS	20.9	33.1	NS	0.7	0.8

Data represent mean values calculated for all fruits investigated.

* NS, * and ** indicate non-significant and significant differences with $P < 0.05$ and 0.01 by the t-test, respectively.

Table 2. Effect of temperature of fruit-set and fruit-development stages in each fruit truss on the fruit development of tomato.

Cultivar	Year	Truss position	July planting				September planting			
			Temperature (°C)		Weight (g)	Number of seeds	Temperature (°C)		Weight (g)	Number of seeds
			Anthesis–Fruit set	Fruit set–Break			Anthesis–Fruit set	Fruit set–Break		
Momotaro-Yoku	2014	1	26.0	24.7	115.4 a ^y	4.5 a	20.6	19.7	101.6 a	44.2 a
		2	26.3	21.0	98.3 a	12.9 a	22.7	19.2	174.9 ab	75.3 ab
		3	24.6	21.5	98.6 a	19.5 a	20.6	18.1	241.5 bc	122.9 b
		4	23.7	20.6	154.9 a	19.5 a	18.5	17.4	288.8 c	137.6 b
		5	23.9	20.8	170.9 a	58.4 a	18.0	17.0	279.2 c	109.9 ab
		6	22.7	20.8	154.2 a	41.3 a	–	–	–	–
	2015	1	23.7	19.0	29.8 a	0.0 a	20.1	18.6	190.3 a	62.4 a
		2	– ^z	–	–	–	18.1	18.6	276.5 a	74.0 a
		3	22.4	18.3	75.6 ab	0.0 a	18.6	18.5	190.3 a	40.3 a
		4	21.9	18.2	176.9 b	24.0 a	18.4	18.4	198.6 a	63.0 a
		5	21.9	18.7	198.5 b	55.3 a	18.9	18.2	123.9	13.0
		6	22.1	19.8	121.0 ab	25.4 a	18.6	18.3	150.6	80.0
Momotaro-Haruka	2014	1	25.6	22.6	48.3 a	1.0 a	21.8	18.7	78.1 a	18.3 a
		2	24.1	21.5	62.4 a	1.0 a	21.9	18.4	196.3 b	52.5 a
		3	23.6	20.4	59.0	6.0	19.3	17.6	241.4 b	65.7 a
		4	23.6	21.3	88.3 a	16.0 a	17.9	17.2	216.1 b	71.3 a
		5	23.7	20.7	148.5 b	51.6 a	17.4	17.1	204.8 b	61.1 a
		6	23.7	20.8	90.9 ab	11.0 a	–	–	–	–
	2015	1	25.1	19.4	29.3 a	1.7 a	20.1	18.6	118.4 a	33.4 a
		2	–	–	–	–	19.1	18.6	238.7 b	92.5 b
		3	22.5	18.6	52.6	0.0	18.3	18.6	213.7 b	56.7 ab
		4	22.8	18.7	93.3 ab	5.7 a	19.1	18.4	218.7 b	56.0 ab
		5	21.9	18.6	63.2 ab	0.2 a	18.6	18.2	141.2 ab	47.8 ab
		6	22.5	19.7	143.1 b	36.5 a	18.4	18.2	180.5 ab	26.3 a
Ogatahukuju	2014	1	25.5	22.7	57.2 a	8.8 a	22.1	19.5	166.5 a	72.9 a
		2	25.5	22.7	97.1 ab	16.9 a	22.8	18.4	250.8 ab	108.9 ab
		3	24.0	21.1	156.7 b	48.7 a	20.0	17.7	342.2 b	154.9 b
		4	24.0	21.1	160.1 b	45.1 a	18.5	17.2	352.0 b	146.1 b
		5	23.2	20.7	167.3 b	64.4 a	19.2	16.5	294.9 ab	86.3 ab
		6	–	–	–	–	–	–	–	–
	2015	1	24.6	19.6	46.6 a	0.0 a	19.6	18.6	190.3 a	87.6 a
		2	23.7	19.2	94.1 ab	4.9 a	18.4	18.6	357.6 a	187.0 b
		3	23.4	19.8	195.5 ab	21.8 a	18.6	18.5	248.8 a	129.6 ab
		4	22.7	19.3	155.0 ab	23.8 a	19.0	18.5	310.0 a	151.7 ab
		5	22.0	19.6	231.4 b	73.9 a	–	–	–	–
		6	21.6	18.9	281.5 b	69.7 a	–	–	–	–
Reiyo	2014	1	26.1	22.8	69.1 a	16.9 a	22.1	19.8	166.8 a	109.3 a
		2	27.1	23.0	105.9 ab	33.0 ab	22.8	18.7	268.7 b	188.3 ab
		3	24.7	22.8	156.8 bc	51.1 ab	20.2	17.8	311.9 b	196.4 ab
		4	24.0	22.5	168.5 c	41.5 ab	17.4	17.4	313.4 b	244.6 b
		5	24.2	21.5	165.5 c	70.3 ab	19.1	16.6	278.1 b	211.5 ab
		6	23.2	21.4	171.5 c	81.8 b	–	–	–	–
	2015	1	25.8	22.5	53.8 a	0.0 a	20.4	18.6	154.6 a	76.4 a
		2	24.7	19.4	53.1	0.0	18.8	18.6	276.8 bc	156.0 ab
		3	23.9	20.2	164.9 b	23.3 b	18.3	18.6	240.5 abc	119.1 a
		4	23.2	20.0	193.1 b	46.4 b	19.2	18.5	253.1 abc	109.0 a
		5	22.9	19.9	168.7 b	41.9 b	18.3	18.4	367.6 c	289.0 c
		6	22.0	19.8	191.5 b	96.9 b	18.8	18.1	376.9 c	277.8 bc

Table 2. Continued.

Cultivar	Year	Truss position	July planting				September planting			
			Temperature (°C)		Weight (g)	Number of seeds	Temperature (°C)		Weight (g)	Number of seeds
			Anthesis–Fruit set	Fruit set–Break			Anthesis–Fruit set	Fruit set–Break		
Rinka409	2014	1	25.5	22.5	55.9 ab	3.2 a	22.1	19.6	137.7 a	40.2 a
		2	25.3	21.3	47.9 a	1.1 a	22.6	18.5	210.1 b	95.4 a
		3	24.1	21.7	133.9 bc	15.1 ab	19.8	17.5	276.4 bc	95.0 a
		4	23.8	21.5	146.0 c	37.9 b	17.7	17.2	268.7 bc	93.3 a
		5	23.1	21.4	122.9 abc	28.7 ab	20.0	16.1	312.5 c	103.0 a
		6	23.3	20.1	174.5 c	18.3 ab	–	–	–	–
	2015	1	25.5	20.9	101.8 a	0.0 a	19.5	18.7	148.9 a	28.7 a
		2	24.5	20.2	88.5 a	0.3 a	18.2	18.6	213.1 a	62.9 a
		3	23.4	19.2	86.4 a	0.4 a	18.6	18.5	185.0 a	47.7 a
		4	23.3	19.8	142.9 ab	13.0 a	19.0	18.4	194.3 a	41.1 a
		5	22.9	19.9	171.2 ab	34.1 ab	18.3	18.4	166.0 a	42.7 a
		6	22.1	19.5	215.6 b	65.9 b	19.0	18.2	269.4	135.0
Super-Yubi	2014	1	25.1	21.6	29.2 a	3.3 a	21.5	18.0	125.3 a	24.2 a
		2	24.6	20.4	36.0 a	0.0 a	21.5	18.2	204.0 b	32.5 a
		3	23.9	20.3	37.2 ab	0.0 a	19.5	17.5	197.4 b	28.3 a
		4	23.1	20.4	87.6	15.5	17.6	17.2	189.7 ab	27.7 a
		5	23.6	20.4	82.6 b	10.3 a	19.0	16.5	168.0 ab	22.3 a
		6	22.9	20.4	127.4	3.0	–	–	–	–
	2015	1	24.2	18.7	39.9 a	0.0 a	19.6	18.7	126.2 a	18.1 a
		2	22.4	18.6	55.4	0.0	18.1	18.7	247.0 b	65.2 a
		3	23.3	19.5	140.3 a	42.4 a	18.7	18.5	185.4 ab	24.7 a
		4	22.1	18.7	99.4 a	18.2 a	18.4	18.5	157.4 ab	10.0
		5	21.8	18.8	115.0 a	18.0 a	–	–	–	–
		6	21.5	19.5	153.0 a	17.1 a	–	–	–	–

^z Fruits were not harvested from the fruit truss.

^y Mean separation by Tukey's multiple range test, 5% level. It was not examined in trusses with one fruit.

果実肥大期の果房別平均遭遇温度は、各品種の各果房において7月定植に比べて同程度か最大で5°C低下した。9月定植における各品種の各果房における果重および種子数の果房別平均値は、7月定植に比べて概ね増加した。いずれの年もすべての品種において下位で高く、各品種の各果房において果実肥大期に比べて高かった7月定植における全品種の着果期の果房別平均遭遇温度と、全品種の果重および種子数の果房別平均値には、強い相関関係が認められた(第3図)。

考 察

1. 栽培時期がトマト果実肥大に及ぼす影響

本実験では、いずれの年もすべての品種において、7月定植で9月定植に比べて着果期は長かった(第2図)。トマトでは、夏の圃場栽培や秋の温室栽培において、受粉後、果実肥大が始まらず、非常に小さい未発達果の状態、長い期間果房に残る現象が報告されている(Liverman・Johnson, 1957)。Satoら(2001)は、28/22°C(昼/夜温)に比べて32/26°C条件下では、種子を持つ正

常果が減少するため、未受精花と正常果との競合が少なく、その多くが落花せず単為結果することを明らかにしている。本実験で供試した国内主力品種においても、7月定植では、特に第1果房および第2果房で、受粉後の花が未発達果の状態を経過した後、果実肥大する場合が多く認められており、7月定植における着果期の長さに影響したと考えられる。

一方、本実験ではいずれの年もすべての品種において、7月定植で9月定植に比べて果実肥大期は短かった(第2図)。トマトの果実発達初期において、14°Cから26°C程度の温度域では、高温ほど果実発達期間の短縮および果実発達速度の増加を招き、その結果、最終的な果実サイズは減少することが明らかにされている(Adamsら, 2001; Bertin, 2005; Fanwouaら, 2012; Van Der Ploeg・Heuvelink, 2005)。また、本実験では、いずれの年においても、ほぼすべての品種で、9月定植に対する7月定植の果重比は、9月定植に対する7月定植の果実肥大期の日数比より小さかった(第1表)。これは、9月定植に比べて7月定植において果実肥大速度が小さかったことを示唆しており、果実

Fig. 3. Association between fruit development and temperature of fruit-set stage in each fruit truss of July-planting tomato in 2014 (diamond) and 2015 (circle).

サイズが小さい段階で催色に至ったと考えられる。従って、本実験では果実肥大期が短縮され、果実肥大速度が小さかったことが、すべての品種の7月定植における果重の減少につながったと考えられる。

‘桃太郎ヨーク’および‘桃太郎はるか’では、2015年において、9月定植と比較した場合、7月定植の果重が他の品種に比べて大きく減少した(第1表)。これらの品種では、9月定植に比べて7月定植の着果期が3倍程度と他の品種より長く、果実肥大期も他の品種より短かったためと考えられる(第2図)。また、これらの品種では2015年における果重が2014年に比べて小さく(第1表)、これは2014年に比べて2015年の着果期が2倍以上長く、果実肥大期が短かったためと考えられる(第2図)。一方、着果期および果実肥大期日数の年度間での違いについて、‘桃太郎ヨーク’と同様の傾向であった‘麗容’では2015年における果重の減少はみられなかった(第1表)。「麗容」では上位果房において、2014年に比べて2015年の果重の増加が大きかったためと考えられるが(第2表)、着果期および果実肥大期日数と果実肥大抑制との関連性については品種間による傾向の違いが認められた。

本実験では、種子数はいずれの年においても7月定植で9月定植に比べて概ね減少した(第1表)。Iwahori (1965, 1966)は‘福寿2号’において開花前および授粉後の短時間の40°Cおよび45°C処理が雌雄蕊の形態や受精および胚発生に及ぼす影響について報告している。花粉では開花前

9～8日、胚嚢では開花前7～3日のそれぞれ減数分裂期に高温処理を行うと形態的な異常が確認された(Iwahori, 1965)。また、概ね受精前である授粉後18時間に高温処理を行うと胚珠の発達は停止し、授粉後24～96時間に高温処理を行うと胚珠では主として胚乳の崩壊が認められた(Iwahori, 1966)。種子は果実肥大に関わるオーキシンおよびジベレリンの生合成の場であり(Serraniら, 2007; Ruanら, 2012)、種子数と果重に正の相関があること(Imanishi・Hiura, 1975)や、小果においては種子がほとんど形成されないこと(Tomerら, 1998)が明らかにされている。本実験では、7月定植において、開花前および授粉後に9月定植に比べて高温に遭遇し、胚珠形成に影響を受けた果実が多かったことが、種子数の減少を招き、果実肥大抑制の一因となったと考えられる。9月定植に対する7月定植での果実肥大抑制程度が大きかった、2014年の‘りんか409’および‘スーパー優美’、2015年の‘桃太郎ヨーク’および‘桃太郎はるか’では、7月定植において種子数も大きく減少した(第1表)。一方、2014年の7月定植における種子数の減少程度が大きかった‘桃太郎8’では、果実肥大抑制は認められたものの、その程度は小さかった。従って、果実肥大が抑制されやすい品種では、高温により種子数が減少しやすいことが示唆されたが、これには品種により傾向の違いがみられた。

2. 果房別の遭遇温度がトマト果実肥大に及ぼす影響

本実験では、より詳細な温度解析を試みるため、2か年ともに供試した6品種について、果房別平均遭遇温度と果実肥大抑制との関連性を果実発達段階および栽培時期について比較した。7月定植における果重の果房別平均値が、両年とも第1果房で最小であった‘桃太郎はるか’、‘大型福寿’および‘スーパー優美’では、着果期の果房別平均遭遇温度が両年とも第1果房で最高であった(第2表)。また、‘大型福寿’では、7月定植における果重の果房別平均値が両年とも果房位置が高まるにつれて増加し、着果期の果房別平均遭遇温度は両年とも果房位置が高まるにつれて低下した。他の3品種についてもいずれかの年で同様であり、全品種の着果期における果房別平均遭遇温度と果実肥大には強い相関が認められた(第3図)。一方、‘桃太郎はるか’、‘大型福寿’および‘スーパー優美’においては、2015年の果実肥大期の果房別平均遭遇温度と果実肥大には関連性がみられなかったが、低い果房位置における果実肥大抑制が認められ、果実肥大における着果期の遭遇温度の影響は非常に大きいと考えられた。ただし、果実肥大期においても着果期と同様の高温条件に遭遇した場合の果実肥大との関連性について検討する必要があると考えられる。

本実験においては、8月上旬における平均気温が2014年に比べて2015年で3.5°C高かった(第1図)。「桃太郎ヨーク」, ‘桃太郎はるか’, ‘大型福寿’および‘麗容’においては、8月上旬に着果期を経過した第1果房の果重お

および種子数の果房別平均値が、2014年に比べて2015年で減少しており、着果期の遭遇温度と果実肥大との関連性がみられた。2015年における着果期の果房別遭遇温度は2014年に比べて低下した(第2表)が、2015年における6品種の着果は2014年に比べて概ね遅れ(第2図)、気温が低下した時期まで着果期に含まれたためと考えられる。また、各品種の果房別平均遭遇温度は、果実肥大期に比べて着果期において、7月定植から9月定植への低下の程度が大きく、9月定植における果実肥大の回復には着果期の温度低下がより大きく影響したと考えられる。

果実肥大が抑制される高温条件および高温遭遇時期については、第1花房出蕾期の32/26°C(昼/夜温)処理(Satoら, 2001)や、開花から果実発達初期までの段階における短時間の40°C処理(岩堀ら, 1963)、開花後7日間の32/26°C(昼/夜温)処理(Fanwouaら, 2012)、開花後3週間の26°C処理(Adamsら, 2001)など、実験条件や品種によって詳細は異なるが、果実発達初期までの高温の影響が大きいとされている。Fanwouaら(2012)は、開花後7日間の32/26°C(昼/夜温)により果皮細胞が小さくなるため、果実が小さくなることを明らかにしている。細胞肥大にはジベレリンの関与が大きく、トマト果実では高温によりジベレリン合成が抑制される(Sasakiら, 2005)。これには先に述べた胚珠形成における高温障害が影響すると考えられる。本実験の7月定植において、第1果房の果重および種子数の果房別平均値が、2014年に比べて2015年で減少した品種では、開花時期である8月上旬の平均気温が2014年に比べて2015年で高かったことが影響したと考えられた。また、7月定植の果房別平均遭遇温度より、着果期の平均温度が24°C前後から果実肥大抑制程度は強まると考えられた。この温度域は、これらの品種の胚珠形成にも影響したと考えられ、7月定植の第1果房における果房別平均種子数は、9月定植においてほぼ正常に肥大したと考えられる、果房別平均果重が200 g以上の果房における平均種子数の15%以下と非常に少なかった。

本実験はプラスチックハウス内におけるなりゆきの温度条件下で行っており、国内の夏期施設生産において遭遇し得る条件と考えられる。本実験で供試した国内主力品種においては、7月下旬に定植した場合には、9月上旬に定植した場合に比べ、果実肥大抑制が認められた。この要因として、果実肥大速度が小さかった一方で、催色は早まったため、果実肥大期は短縮されたことが考えられた。また、果実肥大抑制には種子数の減少が一因であると考えられた。さらに、7月下旬定植の場合、着果期の平均温度が24°C前後から大きく果実肥大抑制されると考えられた。トマト肥大不良果発生の機構解明には、さらに定量的な温度解析による発生温度域の特定や、組織および遺伝子レベルでの生理機構の解析が必要であると考えられる。

摘 要

栽培時期および果房による遭遇温度の違いがトマト国内品種の果実肥大に及ぼす影響を調査した。9品種を2014年および2015年の7月および9月に定植した。すべての品種で、いずれの年も9月定植に比べて7月定植において、調査した全果実における着果期の平均日数は長く、果実肥大期の平均日数は短かった。果重、果径および種子数は、いずれの年も9月定植に比べて7月定植において概ね有意に減少した。また、50 g以下の小果発生率は、いずれの年も半数以上の品種で、7月定植において有意に高かった。9月定植に比べて7月定植における果実肥大抑制程度が大きかった品種では種子数が減少しやすく、着果期日数の増加程度および果実肥大期日数の減少程度が大きかった。7月定植において、いずれの年も第1果房で果重が最小であった品種では、いずれの年も着果期における果房別平均遭遇温度が第1果房で最高であった。また、7月定植における全品種の着果期の果房別平均遭遇温度と果重および種子数の果房別平均値は強い相関関係を示した。本実験の7月定植における国内主力品種の果実肥大抑制には、種子数および果実肥大日数の減少が関与し、これには着果期の温度が大きく影響したと考えられた。

引用文献

- Adams, S. R., K. E. Cockshull and C. R. J. Cave. 2001. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Ann. Bot.* 88: 869–877.
- Bertin, N. 2005. Analysis of the tomato fruit growth response to temperature and plant fruit load in relation to cell division, cell expansion and DNA endoreduplication. *Ann. Bot.* 95: 439–447.
- Fanwoua, J., P. de Visser, E. Heuvelink, G. Angenent, X. Yin, L. Marcelis and P. Struik. 2012. Response of cell division and cell expansion to local fruit heating in tomato fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 137: 294–301.
- Imanishi, S. and I. Hiura. 1975. Relationship between fruit weight and seed content in the tomato. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 44: 33–40.
- Iwahori, S. 1965. High temperature injuries in tomato. IV. Development of normal flower buds and morphological abnormalities of flower buds treated with high temperature. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 34: 33–41.
- Iwahori, S. 1966. High temperature injuries in tomato. V. Fertilization and development of embryo with special reference to the abnormalities caused by high temperature. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 35: 55–61.
- 岩堀修一・崎山亮三・高橋和彦. 1963. トマトの高温障害に関する研究(第1報) 苗齢と障害の程度. *園学雑.* 32: 49–56.

- Liverman, J. L. and S. P. Johnson. 1957. Control of arrested fruit growth in tomato by gibberellins. *Science* 125: 1086–1087.
- 農林水産省. 2015. 青果物卸売市場調査. <http://www.maff.go.jp/tokei/kouhyou/seika_orosi/index.html>.
- Ruan, Y.-L., J. W. Patrick, M. Bouzayen, S. Osorio and A. R. Fernie. 2012. Molecular regulation of seed and fruit set. *Trends Plant Sci.* 17: 656–665.
- Sasaki, H., T. Yano and A. Yamasaki. 2005. Reduction of high temperature inhibition in tomato fruit set by plant growth regulators. *JARQ.* 39: 135–138.
- Sato, S., M. M. Peet and R. G. Gardner. 2001. Formation of parthenocarpic fruit, undeveloped flowers and aborted flowers in tomato under moderately elevated temperatures. *Sci. Hortic.* 90: 243–254.
- Serrani, J. C., R. Sanjuan, O. Ruiz-Rivero, M. Fos and J. L. Garcia-Martinez. 2007. Gibberellin regulation of fruit set and growth in tomato. *Plant Physiol.* 145: 246–257.
- Tomer, E., H. Moshkovits, K. Rosenfeld, R. Shaked, M. Cohen, B. Aloni and E. Pressman. 1998. Varietal differences in the susceptibility to pointed fruit malformation in tomatoes: histological studies of the ovaries. *Sci. Hortic.* 77: 145–154.
- Van Der Ploeg, A. and E. Heuvelink. 2005. Influence of sub-optimal temperature on tomato growth and yield: a review. *J. Hort. Sci. Biotech.* 80: 652–659.