

## 耐暑性を示すトマト育種素材の特性及びその利用

加藤政司<sup>1)</sup>・田中哲司<sup>2)</sup>・大藪哲也<sup>1)</sup>

**摘要**：耐暑性を持つトマトの実用品種を育成するため、耐暑性トマト系統「HTA」の特性を評価するとともに、育種素材として利用することを目的に、トマトF<sub>1</sub>品種「りんか409」との交雑後代について、選抜・固定を試みた。

- 1 「HTA」は「りんか409」と比較して、高温条件での放出花粉数及び花粉発芽率が高く、さらに長花柱花の発生が少ないため、着果率が高かった。
- 2 「りんか409」を種子親、「HTA」を花粉親として交雑した後代において、高温条件での着果率及び果色が桃色となる個体を中心に選抜・固定を図った。高温条件において、両親との比較により着果率の高い株を選抜する手法で耐暑性を示す系統を選抜できた。
- 3 選抜世代が進むほど「HTA」より高い着果率を示す株率が高まったことから、耐暑性が遺伝していることが示された。
- 4 上記の手法で選抜したトマト3系統については、高温期となる7月定植区の着果率が「りんか409」より高く、「HTA」より高い系統もあった。

**キーワード**：トマト、育種素材、耐暑性、着果率、育種

## Characteristics of a Tomato Breeding Line with Heat Tolerance and Its Utilization for Breeding

KATO Masashi, TANAKA Tetsushi and OYABU Tetsuya

**Abstrac** : To cultivate tomatoes under high temperatures, we evaluated the characteristics of the heat-tolerant tomato line “HTA,” and to use “HTA” as a breeding material, we tried to select and fix its cross-hybridization product with the tomato F<sub>1</sub> cultivar “Rinka 409”.

1. “HTA” had a higher fruit setting rate because of a higher pollen shedding number and pollen germination rate under high-temperature conditions than “Rinka 409”, and also because it has rarely occurring long-styled flowers.
2. From among the progeny obtained by crossing “Rinka 409” as a seed parent with “HTA” as a pollen parent, we selected and fixed mainly those individuals that had high fruit setting rates at high-temperature conditions and had pink colored fruits. Under high-temperature conditions, tomato lines with heat tolerance were selected by selecting lines with higher fruit setting rates than those of the parents.
3. Because the stock rate, which indicates the fruit setting rate, was found to be higher in the progeny than in “HTA,” it was indicated that heat tolerance is inherited.
4. Among the three tomato lines selected by the above-mentioned method, the fruit setting rate in the plants planted in July, which is the high temperature period, was higher than that in “Rinka 409,” and there was also a line with a higher fruit setting rate than “HTA”.

**Key Words** : Tomato, Breeding material, Heat tolerance, Fruit setting rate, Breeding

<sup>1)</sup>園芸研究部 <sup>2)</sup>園芸研究部(現山間農業研究所)

## 緒言

本県は温暖な気候を利用した冬春トマトの主産地で、その作付面積は403 ha、出荷量は34800 tと全国第2位である<sup>1)</sup>。近年では、周年生産や比較的高単価が期待できる9から11月に出荷を行うため、夏期高温時に栽培することが試みられている。

トマトは、開花前10日目頃の蕾が高温条件に遭遇すると、花粉稔性が低下して着果率が低下することが知られている<sup>2-4)</sup>。この条件では、着果促進のため植物成長調節剤を花へ処理しても、顕著な着果率の向上が認められない<sup>2,4,5)</sup>ことから、安定生産できる技術開発が望まれている。トマトを高温期に栽培するために、高軒高ハウスの利用<sup>6)</sup>、ヒートポンプ<sup>7,8)</sup>、積算日射量を指標とした遮光<sup>9)</sup>、パッドアンドファン<sup>10)</sup>、超微粒ミスト<sup>11)</sup>などを利用して温度を下げる試みがなされている。しかし、これらは多額の導入費用を要し、すべての施設で導入することは困難である。また、国内で耐暑性を示すトマト系統についてはいくつか報告があり<sup>3,12)</sup>、市販品種のカタログにも耐暑性に優れるなどの表記があるものは認められるが、実用品種の育成や耐暑性の評価に関する報告は認められない。

そこで、耐暑性を有するトマト実用品種の育成を目的に、現場が保有する遺伝資源で耐暑性を示すとされていた固定系統の特性を把握するとともに、その育種素材としての利用を試みたので報告する。

## 材料及び方法

### 1 育種素材の特性評価

供試系統は現場が保有しているトマト固定系統「HTA」で、対照品種は、本県で主に栽培されているトマトF<sub>1</sub>品種「りんか409」（株式会社サカタのタネ、神奈川県）とした。2013年6月28日に播種し、現場園芸研究部内の育苗用ガラス室で育苗した後、7月25日に面積100 m<sup>2</sup>のガラス室内に畝幅200 cm、株間30 cmの2条で定植した。各品種・系統は12株供試した。温度管理は25℃で天窓、側窓が開放するよう設定した。着果促進処理は、トマト受粉振動器（ぶんぶん太助、タキイ種苗株式会社、京都）による振動受粉を一週間に2から3回行った。摘心は第5花房開花時にその上位2葉を残して行った。その他の栽培管理は現場の慣行法に従った。花粉については、第1花房の3花開花時となる8月中旬に、花を指で振動させて花粉を花粉発芽培地<sup>13)</sup>上に採取した。花粉発芽培地は、水1 L当たり硝酸カルシウム300 mg、硫酸マグネシウム200 mg、硝酸カリウム100 mg、ホウ酸100 mg、ショ糖100 g及び寒天10 gを入れて作成し、直径9 cmのシャーレに1シャーレ当たり15 mLずつ分注した。採取した花粉は、25℃、暗黒条件下で24時間静置した後、実体顕微鏡40倍の1視野内にある花粉数、発芽数を計測し、花粉

発芽率を算出した。着果率は第1花房について、着花数及び着果数を計測して算出した。果実調査は、9月18日から11月12日までの間に収穫した第2及び第3果房の果実のうち12果について、果色、1果重及び糖度を調査した。糖度はデジタルポケット糖度計（株式会社アタゴ、東京）で計測した。生育調査は試験終了とした11月27日に、草丈及び第1、3、5果房直下の茎径と観察による5段階評価で草勢を計測した。

また、前述の2品種・系統における花柱の状況を調査するため、2014年7月4日に播種し、現場園芸研究部内の育苗用ガラス室で育苗した後、8月6日に面積70 m<sup>2</sup>の硬質フィルム室内で径28 cmポリポットに定植した。各品種・系統は24株供試した。有機被覆尿素入り粒状複合肥料（かさいLP有機140号、愛知県経済農業協同組合連合会、愛知）をN:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=1.0:0.8:1.0 g 株<sup>-1</sup>となるよう施用した。温度管理は、側窓を手動で開閉するとともに、30℃を上回る場合、換気扇にて換気するよう設定した。摘心は、第2花房開花時にその上位2葉を残して行った。第1及び2花房の各最大4花について、開花前日に葯を取り除いて花柱の状態を観察した。すなわち、葯より柱頭が出ているものを長花柱花、葯の先端と柱頭が同位置のものを中花柱花、葯の先端より柱頭が中に入り込んでいるものを短花柱花とした。

### 2 耐暑性トマト系統の育成経過

育種素材として、種子親に「りんか409」、花粉親に「HTA」を用いて、2011年に交雑した。その後代をRiA系とし、各世代の株番号を記して系統名とした。RiA系F<sub>1</sub>世代は、2012年に抑制栽培で27株栽培したうち、果実の着色が良好で、比較的糖度が高い3株を選抜した。

F<sub>2</sub>世代以降は、現場園芸研究部のガラス室にて抑制栽培と半促成栽培の年2作で選抜・固定を進めた。F<sub>2</sub>、F<sub>4</sub>、F<sub>6</sub>世代は、それぞれ2013から2015年の6月下旬に播種し、7月下旬に定植した。栽培方法は前述と同様とした。第1から第3花房について、着花数及び着果数から算出した着果率が高く、各果房間の差が小さい株を選抜した。

F<sub>3</sub>、F<sub>5</sub>、F<sub>7</sub>世代は、2013年から2015年の11月下旬もしくは12月下旬に播種し、翌年1月中旬もしくは2月中旬に定植した。温度管理は温湯暖房により12℃で加温するよう設定し、その他の栽培方法は抑制栽培と同様とした。果色が桃色となり、「HTA」と比較して大果となる株を中心に選抜した。

### 3 育成したトマト系統の特性評価

RiA系F<sub>8</sub>世代3系統を供試して、着果期が高温条件となる時期と、トマトの生育適温条件となる時期に栽培し、「HTA」及び「りんか409」の比較により、特性を評価した。各品種・系統とも各区10株とした。7月定植区は2016年6月20日に播種し、7月28日に定植した。9月定植区は7月26日に播種し、9月2日に定植した。いずれの区も育苗は現場園芸研究部の育苗用ガラス室で行い、栽培は面積100 m<sup>2</sup>のガラス室内に畝幅200 cm、株間40 cmの2条で定植して行った。施肥量は、いずれの区も

N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=1.83:1.32:3.12 kg a<sup>-1</sup>とし、その他の栽培管理は前述と同様とした。調査項目として、第1から第3花房について、着花数、着果数から着果率を算出した。

## 試験結果

### 1 育種素材の特性評価

定植した2013年7月25日から第3花房の開花期となる8月31日における温室内の日最高温度の平均は38.0℃、日最低温度の平均は24.2℃、平均温度は29.8℃であった。

「HTA」の花粉数、発芽率は183.1個、15.1%で、「りんか409」の34.0個、4.6%より多く、第1花房の着花数は7.7個 株<sup>-1</sup>で、「りんか409」5.4個 株<sup>-1</sup>と有意な差は見られなかったが、着果数、着果率は4.9個 株<sup>-1</sup>、63.6%で「りんか409」の0.3個 株<sup>-1</sup>、5.6%より有意に多かった(表1)。

「HTA」の果実は、果色が赤色で、1果重75.7 gは、「りんか409」の80.2 gと有意な差が見られず、糖度4.0°は、「りんか409」の5.9°より低かった(表2)。「HTA」の草丈は「りんか409」と同等で、草勢は弱かった。「HTA」の第1果房直下の茎径は「りんか409」と同等であったが、第3及び第5果房直下の茎径は細かった(表2)。

「HTA」及び「りんか409」の高温条件における花柱の状況を表3に示した。2014年8月8日から第2花房の開花期となる9月7日における温室内の日最高温度の平均は36.7℃、日最低温度の平均は23.5℃、平均温度は28.5℃であった。「HTA」はほとんど中花柱花であったのに対し、「りんか409」は、特に、第1花房で87花中42花が長花柱花であった。

### 2 耐暑性トマト系統の育成経過

RiA系F<sub>2</sub>世代としては、F<sub>1</sub>世代で選抜した3系統216株を供試した。定植した2013年7月25日から第3花房の開花期となる8月31日における温室内の日最高温度の平均は38.0℃、日最低温度の平均は24.2℃、平均温度は29.8℃であった。着果率をみると「HTA」は43.7%、「りんか409」は14.8%であった。RiA系216株の平均は23.2%で、「HTA」と同等以上となった株は9株、供試株数全体の4.2%であった(図1)。

RiA系F<sub>4</sub>世代においては、12系統108株を供試した。定植した2014年7月22日から第3花房の開花期となる8月31日における温室内の日最高温度の平均は38.0℃、日最低温度の平均は23.2℃、平均温度は28.9℃であった。着果率をみると「HTA」は62.8%、「りんか409」は20.3%であった。RiA系108株の平均は47.5%で、「HTA」と同等以

表1 高温条件における花粉及び着果状況

品種・系統名	花粉数 <sup>1)</sup> (個)	発芽数 <sup>1)</sup> (個)	発芽率 <sup>1)</sup> (%)	着花数 <sup>2)</sup> (個 株 <sup>-1</sup> )	着果数 <sup>2)</sup> (個 株 <sup>-1</sup> )	着果率 <sup>2)</sup> (%)
HTA	183.1	26.1	15.1	7.7	4.9	63.6
りんか409	34.0	2.9	4.6	5.4	0.3	5.6
有意性 <sup>3)</sup>	**	**	**	ns	**	**

2013年6月28日播種、7月25日定植(n=12)

- 1) 第1花房の3花が開花したときに振動させた後、花粉発芽培地にて25℃24時間静置後、実体顕微鏡40倍の1視野内の個数を計測
- 2) 第1果房で計測
- 3) \*\*は1%水準で有意差有り、nsは有意差無し(t検定法)

表2 高温条件における果実及び生育状況

品種・系統名	果実			草勢 <sup>1)</sup>	草丈 (cm)	生育		
	果色	1果重 (g 果 <sup>-1</sup> )	糖度 (° Brix)			茎径 <sup>2)</sup> (mm)		
						第1	第3	第5
HTA	赤	75.7	4.0	2	140	15.2	11.5	8.8
りんか409	桃	80.2	5.9	4	136	14.2	12.8	12.7
有意性 <sup>3)</sup>	-	ns	**	-	ns	ns	*	**

2013年6月28日播種、7月25日定植(n=12)

果実は第2から第3果房の果実(9月18日から11月12日)、生育は11月27日調査

- 1) 5段階評価：1(弱)-5(強)
- 2) 各果房直下を計測
- 3) \*、\*\*はそれぞれ5%、1%水準で有意差有り、nsは有意差無し(t検定法)

表3 高温条件における花柱の状況

品種・系統名	花房段位(段)	開花日 <sup>1)</sup>	調査花数(花)	花柱の形状		
				長花柱花(花)	中花柱花(花)	短花柱花(花)
HTA	1	8/26	90	1	89	0
	2	9/1	85	0	85	0
	計	-	175	1	174	0
りんか409	1	8/26	87	42	45	0
	2	9/1	84	1	82	1
	計	-	171	43	127	1

2014年7月4日播種、8月6日定植、2段摘心、各花房最大4花を調査

1) 各花房内における開花日の平均

上となった株は14株、供試株数全体の13.0%であった。

RiA系F<sub>6</sub>世代においては、6系統60株を供試した。定植した2015年7月28日から第3花房の開花期となる8月31日における温室内の日最高温度の平均は36.2℃、日最低温度の平均は24.5℃、平均温度は29.1℃であった。着果率をみると「HTA」は52.2%、「りんか409」は12.8%であった。RiA系60株の平均は45.4%で、「HTA」と同等以上となった株は21株、供試株数全体の35.0%であった。

国内で主に流通している大玉トマトは果色が桃色で、200g程度の重さであるが、「HTA」の果色は赤色、1果重が100g未満であることから、F<sub>3</sub>、F<sub>5</sub>、F<sub>7</sub>世代においては、できる限り果実が大玉となる個体を中心に選抜した(図2)。その結果、F<sub>7</sub>世代までに3株を選抜し、自殖をした後F<sub>8</sub>世代の種子を得た。

### 3 育成したトマト系統の特性評価

前述で選抜したRiA系F<sub>8</sub>世代3系統を系統1から系統3とした。7月定植区において、定植した2016年7月28日から第3花房の開花期となる8月26日における温室内の日最高温度の平均は38.4℃、日最低温度の平均は25.5℃、平均温度は30.5℃であった。9月定植区において、定植した9月2日から第3花房の開花期となる10月7日における日最高温度の平均は31.9℃、日最低温度の平均は21.8℃、平均温度は25.5℃であった。

供試系統における着果性を表4に示した。7月定植における3系統の着果率は、「りんか409」の5.4%と比較して高かった。特に、系統1は76.8%と「HTA」の56.6%より高かった。

7月定植と9月定植を比較したときの着花数は、系統1で7月定植が多く、系統2及び「HTA」は少なかった。着果数は、「HTA」で7月定植が多く、系統1及び系統3で有意な差が見られず、系統2及び「りんか409」で7月定植が少なかった。着果率は、系統1で7月定植が高く、他の品種・系統は低かった。

### 考 察

平均温度が29.8℃となる高温条件において、「HTA」の着果率は63.6%と、「りんか409」の5.6%より有意に

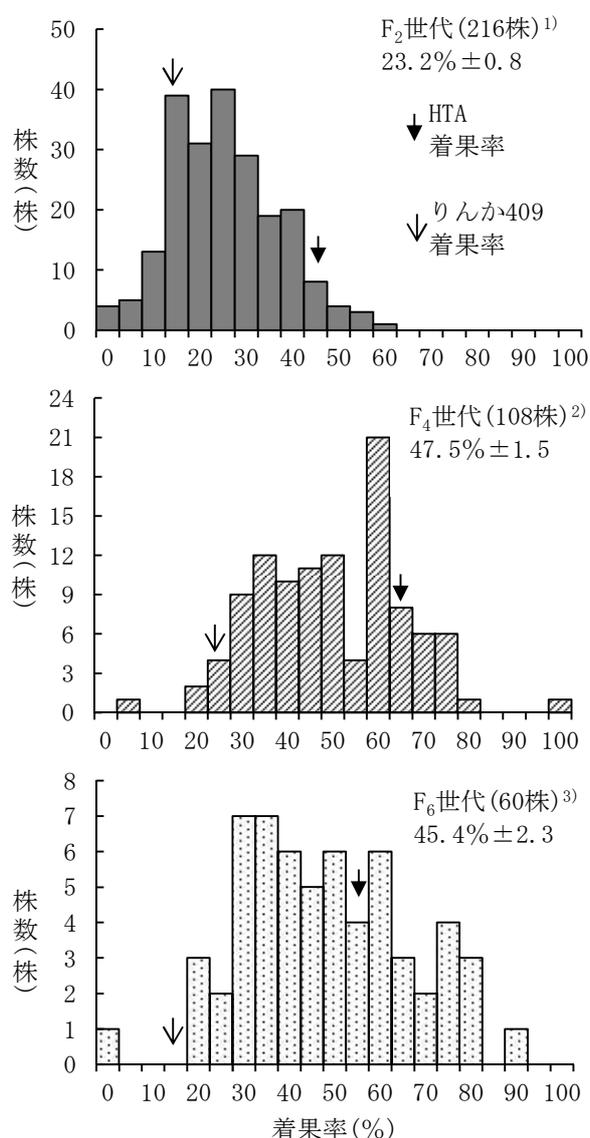


図1 高温条件におけるトマト育成系統RiA系統群の着果率別にみた株数の頻度分布

各世代図中に表記した数値は第1から第3花房における着果率の平均±標準誤差

- 1) 2013年6月28日播種、7月25日定植
- 2) 2014年6月20日播種、7月22日定植
- 3) 2015年6月22日播種、7月28日定植

高かった(表1)。そのときの放出した花粉数を比較すると、「HTA」が「りんか409」より有意に多く、また、花粉発芽率も高かった(表1)。佐藤<sup>3)</sup>は、トマトは平均気温が25℃から1℃でも上昇すると着果率が低下している。なお、耐暑性品種と比較して、非耐暑性品種は高温ストレスによる花粉稔性の低下が著しく、かつ、開葯が抑制されるとしている。また、平均温度が28.5℃となる高温条件において、長花柱花は、「りんか409」が171花中43花であったのに対し、「HTA」は175花中1花でしか確認できなかった(表3)。トマトは自家受粉を主とするが、開花、開葯前に柱頭が葯より突出し受粉が不能となる長花柱花は、高夜温等で同化生成物が少なく、消耗の激しい条件下で発生するとされる<sup>14)</sup>。これらのことから、一般的なトマト品種である「りんか409」と比較して「HTA」は、放出された花粉数が多く、花粉稔性が高く、長花柱花の発生が少ないことから、高温条件においても着果率が高く、耐暑性を示すものと考えられた。



りんか409 RiA22-94-12-1-9-1-5 HTA  
品種・系統名

図2 耐暑性トマト系統RiA系F<sub>7</sub>世代における果実の一例

次に、耐暑性を示し、かつ、国内で主に流通している桃色で大玉の果実となるトマト系統を育成するため、「りんか409」を種子親、「HTA」を花粉親として交配した。RiA系F<sub>2</sub>世代216株における着果率の平均は23.2%で、「HTA」と同等以上の着果率となる株は9株であった(図1)。着果率が高く、各果房で安定して着果した個体を選抜して世代を進めた。気候の年次変動により、温度や指標としたトマト品種・系統の着果率も変動しているものの、F<sub>4</sub>世代108株における着果率の平均は47.5%と、F<sub>2</sub>世代より24.3%向上し、「HTA」と同等以上の着果率を示す株数も増加した。このことから、高温条件で着果する形質は遺伝し、着果率を指標として耐暑性を示すトマト系統の選抜・固定を図ることは有効な選抜手法となりうると考えられた。さらに、F<sub>6</sub>世代60株において、「HTA」と同等以上の着果率を示した株は供試株数の35.0%と向上した。しかしながら、本試験では、遺伝的な固定化を促進するため、着果期が高温条件となる抑制栽培と高温条件ではない半促成栽培の年2作で選抜を進めた。そのため、RiA系F<sub>6</sub>世代においても、株ごとの着果率にばらつきが認められ、わずかではあるが「りんか409」を下回る株もあった。このことから、栽培条件を問わず、より効率的に選抜を進めるためには、DNAマーカー等の開発が望まれる。

さらに、RiA系F<sub>8</sub>世代において、着果期が高温となる7月定植と適温である9月定植で育成系統の評価を行った。7月定植で供試系統を比較すると、着果率は、「りんか409」の5.4%と比較して、いずれの系統も高かった。特に、系統1は「HTA」より高かった。7月定植と9月定植で比較すると、着果数は系統1及び系統3で有意な差が見られず、高温条件となる時期においても適温条件と同等の果数が確保できるものと考えられた。着果率は系統1を除き、7月定植と比較して、9月定植で高かった。系統1については、7月定植区で着果率が高く、他の品種・系統との違いが明確となったが、9月定植の着果率が49.1%と他の品種・系統より低かった。これは、9月定

表4 定植時期がトマト育成系統RiA系F<sub>8</sub>世代の着果性に及ぼす影響

品種・ 系統名	着花数 <sup>1)</sup> (個 株 <sup>-1</sup> )		着果数 <sup>1)</sup> (個 株 <sup>-1</sup> )			着果率 <sup>1)</sup> (%)	
	7月定植 <sup>2)</sup>	9月定植 <sup>3)</sup>	7月定植 <sup>2)</sup>	9月定植 <sup>3)</sup>	7月定植 <sup>2)</sup>	9月定植 <sup>3)</sup>	
系統1	30.1 b <sup>4)</sup>	46.3 a * <sup>5)</sup>	22.3 a	21.4 a ns	76.8 a	49.1 c **	
系統2	30.7 b	23.6 b ns	6.5 c	19.6 a **	22.1 d	84.3 a **	
系統3	40.6 a	21.6 b **	18.5 b	17.1 ab ns	47.0 c	81.0 ab **	
HTA	38.7 ab	20.7 b **	21.2 ab	16.1 bc **	56.6 b	77.7 ab **	
りんか409	18.8 c	17.8 b ns	0.9 d	12.7 c **	5.4 e	72.5 b **	

1) 第1から第3果房まで計測

2) 2016年6月20日播種、7月28日定植(n=10)

3) 7月26日播種、9月2日定植(n=10)

4) 同一定植時期内で異なる英小文字間に5%水準で有意差有り(Tukey法)

5) 定植時期間に\*、\*\*はそれぞれ5%、1%水準で有意差有り、nsは有意差無し(t検定法)

植で着花数が増加したためであった。

以上のことから、育成したRiA系F<sub>8</sub>世代3系統については、「りんか409」と比較して耐暑性を示し、特に、系統1では「HTA」と同等の耐暑性を持つものと考えられた。

本試験で育成したRiA系は、高温条件での着果性及び果色を中心に選抜・固定を進めた。そのため、今後は、本試験で固定化してきたトマト系統を育種素材として、収量性及食味、病害虫抵抗性などを総合的に評価し、幅広く栽培できる品種の育成を図る予定である。

## 引用文献

1. 農林水産省. 平成27年産野菜生産出荷統計(トマト-冬春). <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001164543> (2017. 3. 15参照)
2. 岩堀修一, 高橋和彦. トマトの高温障害に関する研究(第3報)種々のステージの花蕾に及ぼす高温の影響. 園芸学雑誌. 33, 67-74(1964)
3. 佐藤卓. 地球温暖化に伴うおだやかな高温ストレスがトマトの生産性と雄性器官の発達に与える影響. 食と緑の科学. 60, 85-89(2006)
4. 岩堀修一. トマトの高温障害に対する2, 3の生長調節物質の影響. 園芸学雑誌. 37(2), 143-147(1967)
5. SASAKI H., YANO T. and YAMASAKI A.. Reduction of High Temperature Inhibition in Tomato Fruit Set by Plant Growth Regulators. JARQ. 39(2), 135-138(2005)
6. 鈴木克己. 高軒高施設を利用したトマト生産. 野菜茶業研究集報. 3, 73-77(2006)
7. 川嶋浩樹, 高市益行, 安場健一郎. トマト栽培温室における空気熱源式ヒートポンプの冷房運転の動作特性とマルチによる夜間冷房負荷軽減効果. 野菜茶業研究所研究報告. 10, 95-104(2011)
8. 河崎靖, 安東赫. 夏季高温期の夜間における開花花房付近の局所的な冷却がトマトの果実収量に及ぼす影響. 植物環境工学. 27(3), 137-143(2015)
9. 井手治, 龍勝利, 國武みどり, 小熊光輝, 奥幸一郎. 高温期のトマト低段密植栽培における積算日射量を指標とした遮光方法. 福岡県農業総合試験場研究報告. 30, 30-33(2011)
10. 渡邊圭太, 中西幸太郎, 光川嘉則, 櫻井基生. 簡易設置型パッドアンドファン冷房が高温期のハウス内温度, 飽差並びにトマトの生育, 収量に及ぼす影響. 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告. 農業編. 62, 14-18(2014)
11. 樋江井清隆, 伊藤緑, 番喜宏, 大藪哲也. 自然換気下のトマト施設栽培において昇温抑制に及ぼす超微粒ミスト噴霧及び遮光の併用効果. 愛知県農業総合試験場研究報告. 47, 41-49(2015)
12. 藤田覚史, 星川健, 江面浩. 夏季高温環境下におけるトマト耐暑性変異系統の特性調査. 園芸学研究. 15(別1), 105(2016)
13. BREWBAKER J. L. and B. H. KWACK. The essential role of calcium ion in pollen germination and pollen tube growth. Amer. J. Bot. 50, 859-865(1963)
14. 斎藤隆. 開花, 結実の生理, 生態. 農業技術大系野菜編2トマト. 農山漁村文化協会. 東京. p. 基95-基114(1984)