高温および低温条件下における単為結果性トマト ‘ルネッサンス’の着果および果実肥大特性

大川浩司^{1*}・菅原眞治^{1a}・高市益行²・矢部和則¹

¹ 愛知県農業総合試験場 480-1193 愛知県愛知郡長久手町

² 農業・食品産業技術総合研究機構野菜茶業研究所 470-2351 愛知県知多郡武豊町

Effects of High and Low Temperature Conditions on the Fruit Setting and Growth of the Parthenocarpic Tomato ‘Renaissance’

Hiroshi Ohkawa^{1*}, Shinji Sugahara^{1a}, Masuyuki Takaichi² and Kazunori Yabe¹

¹ Aichi-ken Agricultural Research Center, Nagakute-cho, Aichi 480-1193

² National Institute of Vegetables and Tea Science (NIVTS), National Agriculture and Food Research Organization, Taketoyo-cho, Aichi 470-2351

Abstract

Effects of high and low temperature conditions in greenhouse on the fruit setting and growth of the parthenocarpic tomato ‘Renaissance’ were examined. Under high temperatures with a mean peak daytime temperature of 39.2°C, the fruit setting rate of ‘Renaissance’ was 100%, and there were no undergrown fruit due to the steady expression of parthenocarpy. At the same condition, the non-parthenocarpic tomato cultivar ‘Momotaro york’ was not able to fertilize, and the fruits did not develop normally without treatment using 4-chlorophenoxy acetic acid (4CPA). Furthermore, under low temperatures with a mean daytime low of 5.9°C, the fruit setting rate of ‘Renaissance’ was 100%, and there were no undergrown fruit due to the steady expression of parthenocarpy. Under the same condition, ‘Momotaro york’ fertilized imperfectly, the incidence of undergrown fruit was 61%, and treatment with 4CPA was necessary to achieve normal fruit development. It was suggested that the productivity of ‘Renaissance’ was higher than that of the non-parthenocarpic tomato cultivar because the fruits of ‘Renaissance’ developed normally without pollination and the synthetic auxin treatment under high and low temperatures as in this experiment.

Key Words : cultivation under structure, environmental stress, *pat-2*

キーワード : 環境ストレス, *pat-2*, 施設栽培

緒 言

ロシアのトマト品種 ‘Severianin’ が持つ単為結果性遺伝子 *pat-2* (Philouze・Maisonnette, 1978a, b) を導入して育成された ‘ルネッサンス’ (菅原ら, 2002) について, 前報 (大川ら, 2006) では, 愛知県の主要作型の開花時期に当たる春季, 初夏, 秋季および冬季のいずれの時期でも, 着果率が非常に高く, かつ, 発育不良果が全く発生せず, 単為結果性の発現は安定していること, 種子の形成や 4-chlorophenoxy acetic acid (以下 4CPA) 液処理 (15 mg・L⁻¹) が, 1 果重, 開花から収穫までの日数に影響を及ぼさないことを明らかにした。しかし, 我が国の栽培環境は, 温度,

日射, 湿度などの日変化, 季節変化が大きく, 栽培中に様々な環境ストレス条件下におかれる場合が多い。トマトの販売単価が低迷している現在, 作期の拡大によって生産性を向上させることは重要であり, 一層厳しい温度条件下における安定した生産が求められている。

そこで本報では, 施設内における高温および低温条件が単為結果性トマト ‘ルネッサンス’ の着果および果実肥大に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

供試材料は, 単為結果性を示す品種として ‘ルネッサンス’ を, 単為結果性を示さない品種として ‘桃太郎ヨーク’ (対照品種) を用いた。

試験 1 高温処理の影響

両品種とも 2003 年 8 月 7 日に播種, 9 月 8 日に 7 号ポットに定植し, 複合肥肥 (OK-F-2, 14-8-16) を用いて養液土耕栽培を行った。第 1 花房開花前の 9 月 12 日から換気温度

2006 年 10 月 13 日 受付. 2007 年 2 月 15 日 受理.

本報告の一部は, 園芸学会平成 16 年度春季大会および秋季大会で発表した。

* Corresponding author. E-mail: hiroshi_ookawa@pref.aichi.lg.jp

^a 現在: 愛知県日進市

を40℃に設定した高温区と25℃に設定した慣行区を設け、それぞれのガラス温室内において2段階摘心栽培を行った。単為結果性の発現、合成オーキシシン、受粉・受精による着果を比較するため、除雄、除雄+4CPA、振動受粉の3種類の花（花蕾）の処理を行った。除雄は開花1～3日前の花蕾から雄ずいを除去し、除雄+4CPAは除雄した花を開花当日に4CPA液（15 mg・L⁻¹）に浸漬した。また、振動受粉は開花当日に花を振動させた。花房当たりの処理花数は3花で、その他の花はすべて除去し、調査対象果数は1区当たり36果とした。調査項目は、正常果数、発育不良果（着色が通常に比べ遅れ、つやがなく、肥大が明らかに悪い果実）数、有種子果数、1果重および種子数とした。なお、発育不良果および尻腐れ果は、1果重および種子数の調査対象から除外した。

試験2 最低温度の影響

両品種とも2003年11月7日に播種、12月22日に7号ポットに定植し、複合液肥（OK-F-2, 14-8-16）を用いて養液土耕栽培を行った。定植後は換気温度28℃、最低温度12℃に設定したガラス温室内で管理し、第1花房開花前の2004年1月4日から最低温度を6℃、9℃、12℃に設定した温室に移動し、それぞれ2段階摘心栽培を行った。また、両品種とも試験1と同様な花（花蕾）処理を行った。花房当たりの処理花数は3花で、その他の花はすべて除去し、調査対象果数は1区当たり24果とした。調査項目、1果重および種子数の調査対象除外果は試験1と同様にした。

結 果

試験1 高温処理の影響

第1花房開花前（9月12日）～第2花房開花期（9月30日）における高温区の日最高気温の平均値は39.2℃、日平均気温の平均値は27.4℃、慣行区の日最高気温の平均値は32.2℃、日平均気温の平均値は25.5℃であった。

‘ルネッサンス’では、高温区および慣行区とも、いずれの花（花蕾）処理でも着果率は100%で、発育不良果は全

第1図 トマトの単為結果性品種における高温および花（花蕾）処理が着果率に及ぼす影響

^z着果数／開花数 × 100

^y着色が通常に比べ遅れ、つやがなく、肥大が明らかに悪い果実

第2図 トマトの単為結果性品種における高温および花（花蕾）処理が有種子果率に及ぼす影響

^z有種子果数／着果数 × 100

第1表 トマトの単為結果性品種における高温および花（花蕾）処理が1果重、種子数に及ぼす影響

品種	温度	花（花蕾）処理	調査果数	1果重 (g)	種子数 (粒／果)
ルネッサンス	高温	除雄	35	183 a ^z	0.0 a
		除雄+4CPA	36	189 a	0.0 a
		振動受粉	36	191 a	9.7 b
	慣行	除雄	35	198 a	0.0 a
		除雄+4CPA	35	208 a	0.0 a
		振動受粉	30	220 a	14.0 b
桃太郎ヨーク	高温	除雄 ^y	—	—	—
		除雄+4CPA	36	240 b	0.0 a
		振動受粉 ^y	—	—	—
	慣行	除雄 ^y	—	—	—
		除雄+4CPA	28	272 b	0.0 a
		振動受粉	24	189 a	50.8 b

^z同一品種内の異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり（Tukey-Kramer test）

^y着果した果実のすべてが発育不良果のため、数値非表示

く発生しなかった（第1図）．‘桃太郎ヨーク’は、除雄+4CPAでは高温区および慣行区とも着果率は100%で、発育不良果の発生もみられなかったが、振動受粉では高温区が75%、慣行区が89%と着果率が低下し、高温区でそのすべてが、慣行区でその25%が発育不良果であった．また、除雄では、高温区が65%、慣行区が100%の着果率であったが、両区とも着果したすべての果実が発育不良果であった．有種子果は、両品種とも振動受粉でのみ発生し、‘ルネッサンス’の有種子果率は、高温区および慣行区ともに39%、‘桃太郎ヨーク’の有種子果率は高温区が0%、慣行区が75%であった（第2図）．‘ルネッサンス’の1果重は、処理区間に有意な差はなかったが、‘桃太郎ヨーク’の1果重

は、慣行区の振動受粉が高温区および慣行区の除雄+4CPAに比べて軽かった（第1表）．‘ルネッサンス’の1果当たりの種子数は、高温区の振動受粉が9.7粒、慣行区の振動受粉が14.0粒であった．‘桃太郎ヨーク’の1果当たりの種子数は、慣行区の振動受粉が50.8粒であった．

試験2 最低温度の影響

第1花房開花前（1月4日）から第2花房開花期における日最低気温の平均値は、最低6℃区が5.9℃、最低9℃区が8.6℃、最低12℃区が10.6℃で、ほぼ目標の最低温度で推移した．また、日平均気温の平均値は、最低6℃区が12.8℃、最低9℃区が14.9℃、最低12℃区が17.6℃であった．

第3図 トマトの単為結果性品種における最低温度および花（花蕾）処理が着果率に及ぼす影響
z 着果数／開花数 × 100
y 着色が通常に比べ遅れ、つやがなく、肥大が明らかに悪い果実

第4図 トマトの単為結果性品種における最低温度および花（花蕾）処理が有種子果率に及ぼす影響
z 有種子果数／着果数 × 100

第2表 トマトの単為結果性品種における最低温度および花（花蕾）処理が1果重、種子数に及ぼす影響

品種	最低温度（℃）	花（花蕾）処理	調査果数	1果重（g）	種子数（粒／果）
ルネッサンス	6	除雄	24	202 a ^z	0.0 a
		除雄+4CPA	24	211 a	0.0 a
		振動受粉	23	207 a	0.0 a
	9	除雄	22	195 a	0.0 a
		除雄+4CPA	23	187 a	0.0 a
		振動受粉	23	184 a	0.6 a
	12	除雄	24	221 a	0.0 a
		除雄+4CPA	24	194 a	0.0 a
		振動受粉	22	214 a	27.1 b
桃太郎ヨーク	6	除雄 ^y	—	—	—
		除雄+4CPA	22	222 b	0.0 a
		振動受粉	9	140 a	26.7 a
	9	除雄 ^y	—	—	—
		除雄+4CPA	21	204 b	0.0 a
		振動受粉	21	203 b	87.2 b
	12	除雄 ^y	—	—	—
		除雄+4CPA	24	215 b	0.0 a
		振動受粉	24	226 b	129.2 c

^z 同一品種内の異なるアルファベット間には5%水準で有意差あり（Tukey-Kramer test）

^y 着果した果実のすべてが発育不良果のため、数値非表示

‘ルネッサンス’は、花（花蕾）の処理に関係なく、いずれの温度でも着果率は100%で、発育不良果は全く発生しなかった（第3図）．‘桃太郎ヨーク’も、花（花蕾）処理に関係なく、いずれの温度でも着果率は100%で、除雄+4CPAでは、最低6°C区で発育不良果が7%発生した以外はすべて正常果であったが、除雄ではいずれの温度でもすべて発育不良果であった．振動受粉では最低9°C区および12°C区の場合、発育不良果の発生は少なかったが、最低6°C区では発育不良果が61%発生し、これらはすべて無種子果であった．有種子果は、‘ルネッサンス’の最低6°C区を除く両品種の振動受粉で発生し、‘ルネッサンス’の有種子果率は、最低9°C区が23%、最低12°C区が61%、‘桃太郎ヨーク’の有種子果率は、最低6°C区が39%、最低9°C区が92%、最低12°C区が100%であった（第4図）．‘ルネッサンス’の1果重は、処理区間に有意な差はなかったが、‘桃太郎ヨーク’の1果重は、最低6°C区の振動受粉が140 gと他処理区に比べて軽かった（第2表）．‘ルネッサンス’の1果当たりの種子数は、振動受粉の最低9°C区が0.6粒、最低12°C区が27.1粒、‘桃太郎ヨーク’の1果当たりの種子数は、振動受粉の最低6°C区が26.7粒、最低9°C区が87.2粒、最低12°C区が129.2粒であった．

考 察

我が国における一般的な非単為結果性トマトの栽培では、近年、着果を安定させるためにセイヨウオオマルハナバチ（*Bombus terrestris*）やクロマルハナバチ（*Bombus ignitus*）（以下、両方をマルハナバチと略する）を利用した受粉が行われている（光畑・和田，2005）．しかし、マルハナバチは高温に弱いため（小出・林，1993）、施設に導入するには最高30°C以下の温度条件が必要とされる．愛知県の平坦地における抑制作型および促成長期作型のトマト栽培では、6～8月に播種が行われるため、開花初期は高温な時期に当たり、マルハナバチの導入による受粉を行うことは難しい．また、トマトでは開花期に35°Cを超えると子房が褐変枯死したり、花粉の発芽率が急速に減退すること（藤井，1946）、開花9～5日前の減数分裂期と開花当日～3日後の段階における蕾は高温抵抗性がなく、前者では35°C、後者では40°Cで落花し、着果しないこと（高橋，1964）が報告されている．

本試験における非単為結果性トマトの‘桃太郎ヨーク’は、除雄では高温区が65%、慣行区が100%着果したが、そのすべてが発育不良果であった．無受粉でも着果したことから、‘桃太郎ヨーク’は弱い単為結果性を保持していると考えられたが、その後の肥大は不十分で、実用に供することは難しい．振動受粉では高温区が75%、慣行区が89%着果したが、高温区でそのすべてが、慣行区でもその25%の果実が発育不良果であった．振動受粉におけるこれら発育不良果の発生は、高温による子房や花粉の障害によるものと推察される．慣行区の振動受粉において得られた正常

果も、1果当たり種子数は50.8粒で、一般的な200粒程度（関口，1988）と比較して少なかったことから、高温による受精への悪影響がうかがえた．しかし、4CPA液を処理すれば、同じ温度条件でも‘桃太郎ヨーク’の着果率は100%となり、果実は正常に肥大したことから、日最高気温の平均値が39.2°Cという高温条件下でも人為的に与えた合成オーキシンの効果は非常に高い．

一方、‘ルネッサンス’は、高温区および慣行区とも花（花蕾）の処理にかかわらず100%着果し、発育不良果も全く発生せず、前報（大川ら，2006）と同様に種子の有無と1果重に関連はみられなかった．同じナス科果菜類の単為結果性ナスでは、高温ストレス条件下において単為結果性の発現は不十分になること（小田ら，1996；吉田ら，2001）が報告されている．しかし、‘ルネッサンス’の単為結果性は、非単為結果性トマトの受精が不完全となり、4CPA液の処理を行わないと正常に肥大しない高温条件下でも発現し、非単為結果性トマトの4CPA液処理と同等の果実肥大性があると考えられた．従って、‘ルネッサンス’は開花初期が高温期に当たる抑制栽培や促成長期栽培はもちろん、春から秋にかけて栽培する夏秋栽培でも安定した生産が期待できる．また、曇雨天後の晴天で異常高温になりやすい春季における施設内でも、同様に高い着果率と果実肥大性が得られると思われる．近年、ハウスの高軒高化による施設内気温上昇抑制効果が報告（鈴木，2006）されていることから、今後、高温期におけるトマトの安定生産には、高軒高ハウスに適した栽培技術と安定した着果および果実肥大が得られる品種の組合せが一層重要になると考えられる．

次に、最低温度が‘桃太郎ヨーク’の着果に及ぼす影響をみると、振動受粉では最低9°C区および12°C区の場合、正常に受精が行われたものが多かったが、最低6°C区では発育不良果の割合が61%と高く、これらはすべて無種子果であった．得られた正常果の1果重も140 gと他処理区に比べて軽かった．これらには、雄ずい花粉稔性低下による影響（藤下，1970）が強いものと推察される．藤井ら（1942）は夜間に5°Cの低温処理を行っても、昼間にガラス室で加温して平均33°Cで生育させれば、結実に問題はなかったことを報告していることから、最低6°C区において受精が不完全になったのは、日最低気温の平均値が5.9°Cの低温条件であったことだけでなく、28°Cでの換気も一要因と考えられる．一方、除雄+4CPAでは最低6°C区でも最低9°C区および12°C区と同様に正常果率は高く、本試験で設定した最低温度の範囲では、温度の差異による4CPA液処理の影響はみられなかった．マルハナバチが日本へ導入される前の、4CPA液やクロキシホナック液（4-chloro-2-hydroxymethylphenoxy) aceate, HCPA) による着果促進処理が一般的（池田・忠内，1992）であった1991年12月以前は、開花時の温度管理を厳密に行う必要性は低かった．しかし近年では、マルハナバチの活発な行動や花粉稔性の向上によって受粉を確実にを行うため、最低を12°C以上と

する温度管理が行われている。冬期のトマト生産では光合成産物の転流促進や呼吸による消耗防止のため、前夜半を比較的高温に保ち、後夜半を低温で管理することが望ましい（吉岡・高橋, 1981）とされていることから、マルハナバチの活動等を主眼にした温度管理は、光合成産物の順調な転流や、呼吸消耗の軽減による果実の正常な肥大を図るには、必ずしも合っていないと推察される。

他方、‘ルネッサンス’では、最低 6°C 区の着果率は花（花蕾）の処理にかかわらずすべて 100%で、いずれも果実の肥大は正常であった。有種子果の発生も全くなかったことから、日最低気温の平均値が 5.9°C という低温条件下でも単為結果性の発現は強く安定していると考えられた。従って、冬季における施設暖房のための燃料代が高騰している現在、‘ルネッサンス’を用いたトマト生産では、受精に適した温度条件に特段留意することなく、光合成産物の転流促進と呼吸による消耗防止を主に考慮した効率的な温度管理が可能と思われる。

なお、花芽分化時の低温条件では、子室数が増加し、乱形果などが多発することが報告されている（藤村ら, 1964; 太田ら, 2002; 斎藤・伊東, 1971）。本試験は 2 段階摘心栽培で、第 1 花房の開花直前からの低温処理であったため、乱形果の発生はみられなかったが、連続的な花芽分化が行われる 5～6 段階摘心以上の栽培では極端な低温管理を継続するのは好ましくない。今後、低温期に花芽分化が行われる 5～6 段階摘心の短期作や 10 段以上の長期作において、果実肥大性、効率性および乱形果発生防止を総合的に勘案した‘ルネッサンス’の最適な温度管理の検討が必要と考えられる。

摘 要

施設内における高温および低温条件が、単為結果性トマト‘ルネッサンス’の着果および果実肥大特性に及ぼす影響について検討した。

日最高気温の平均値が 39.2°C の高温条件において、‘ルネッサンス’は単為結果性の安定した発現により 100%着果し、發育不良果の発生もみられなかった。同条件において、非単為結果性トマト‘桃太郎ヨーク’は受精できず、4CPA 液の処理なしでは果実が正常に肥大しなかった。一方、日最低気温の平均値が 5.9°C の低温条件においても、‘ルネッサンス’は単為結果性の安定した発現により 100%着果し、發育不良果も発生しなかった。同条件における‘桃太郎ヨーク’は、受精が不完全となって、發育不良果が 61%発生し、果実の正常な肥大には 4CPA 液の処理が不可欠であった。

上述したような高温および低温条件において、‘ルネッサンス’は受粉や合成オーキシン処理を省略しても果実は正常に肥大したことから、非単為結果性トマトに比べて栽培適応性が広く、生産性の高い栽培が可能と考えられる。

引用文献

- 藤井健雄. 1946. 蕃茄の落花に関する研究（第 3 報）. 高温が落花に及ぼす影響. 園学研集録. 3: 12–28.
- 藤井健雄・戸井田義孝・稲子幸元. 1942. 蕃茄の落花に関する研究（第 2 報）. 低温が落花に及ぼす影響. 農及園. 17: 426–432.
- 藤村 良・伊藤純吉・藤本治夫. 1964. トマトの奇形果に関する研究（第 3 報）育苗期間中の低温処理時期と苗勢が乱形果の発生に及ぼす影響. 兵庫農試研報. 12: 66–69.
- 藤下典之. 1970. 各種蔬菜における低温, 高温, 暗黒, 除雄剤などの処理にもとづく花粉退化とその機構に関する研究. 大阪府大紀要（農・生）. 22: 111–208.
- 池田二三高・忠内雄次. 1992. わが国へのツチマルハナバチの導入経過と果菜類のポリネーターとしての実用性. 農及園. 67: 1213–1216.
- 小出哲哉・林 悟朗. 1993. 果菜類におけるマルハナバチ（*Bombus terrestris*）の利用に関する研究（第 1 報）マルハナバチの温室内における活動生態とミニトマトの着果及び果実品質に対する効果. 愛知農総試研報. 25: 165–170.
- 光畑雅宏・和田哲夫. 2005. 作物受粉における在来種マルハナバチの利用の可能性と課題. 植物防疫. 59: 305–309.
- 小田雅行・岡田邦彦・佐々木英和. 1996. 単為結果性ナスの結実に及ぼす弱光および高温ストレスの影響. 農気東海誌. 54: 1–4.
- 大川浩司・菅原眞治・矢部和則. 2006. 時季および花（花蕾）の処理が単為結果性トマト品種‘ルネッサンス’の着果および果実特性に及ぼす影響. 園学研. 5: 111–115.
- 太田勝巳・豊田賢司・細木高志. 2002. トマト乱形果の花芽分化の品種比較. 園学研. 1: 107–110.
- Philouze, J. and B. Maisonneuve. 1978a. Heredity of the natural ability to set parthenocarpic fruits in the soviet variety Severianin. Tomato Genet. Coop. Rep. 28: 12–13.
- Philouze, J. and B. Maisonneuve. 1978b. Breeding tomatoes for their ability to set fruit at low temperatures p. 54–64. In: Breeding Proc. Eucarpia Tomato Working Group (ed.). Genotype and Environment in Glasshouse Tomato. Leningrad, USSR.
- 斎藤 隆・伊東秀夫. 1971. トマトの生育ならびに開花・結実に関する研究（第 11 報）花の發育ならびに形態に及ぼす温度の影響. 園学雑. 40: 128–138.
- 関口 勲. 1988. 採種栽培における施設利用. トマト. p. 349–357. そ菜種子生産研究会編. ハイテックによる野菜の採種. 誠文堂新光社. 東京.
- 菅原眞治・榎本真也・大藪哲也・矢部和則・野口博正. 2002.

- 完熟収穫型単為結果性トマト品種‘ルネッサンス’の育成経過と特性. 愛知農総試研報. 34: 37-42.
- 鈴木克己. 2006. 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.
- 高橋和彦. 1964. 果菜類の高温障害と対策. 農及園. 39: 803-806.
- 吉田建実・松永 啓・齊藤猛雄. 2001. ナスの単為結果性の発現に及ぼす環境要因および遺伝子型の影響. 園学雑. 70 (別 2) : 388.
- 吉岡 宏・高橋和彦. 1981. 果菜類における光合成産物の動態に関する研究. V. トマトにおける ^{14}C 同化産物の昼夜間の転流割合と, 転流・分配に及ぼす光・夜温の影響. 野菜試報. A9: 63-81.