単為結果性トマトの種子形成に及ぼす交配親および交配時期の影響

大川浩司^{*a}・菅原眞治^b・矢部和則

愛知県農業総合試験場 480-1193 愛知県愛知郡長久手町

Effects of Crossing Parents and Artificial Crossing Stage on Seed Development of Parthenocarpic Tomato

Hiroshi Ohkawa^{*a}, Shinji Sugahara^b and Kazunori Yabe

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

Abstract

To identify factors involved in seed development of parthenocarpic tomato, the effects of combinations of crossing parents and crossing stage on seed development of parthenocarpic tomato were examined. And the ovary size of parthenocarpic tomato before and after the flowering stage was compared with that of non-parthenocarpic tomato. When the seed parent was the non-parthenocarpic tomato cultivar 'Momotaro york', the seeded fruit rate was 100% irrespective of the pollen parent, there were about two hundred seeds per fruit. When the seed parent was the parthenocarpic tomato pure bred strain 'PASK-1' or 'PF-811K', the seeded fruit rate was 72 ~ 94% irrespective of the pollen parent, there were 7.6 ~ 29.9 seeds per fruit. Therefore, it was suggested that seed development of parthenocarpic tomato was affected by the seed parent irrespective of the pollen parent, and seeds were apt to remain undeveloped when the seed parent was parthenocarpic. Concerning artificial crossing stage on seed development of parthenocarpic tomato, the seeded fruit rate of non-parthenocarpic tomato cultivar 'Momotaro york' was 100% irrespective of artificial crossing stage, and the numbers of seeds per fruit of 'Momotaro york' remained standard. The seeded fruit rate of 'Renaissance' two days after flowering was 8% in spring and 33% in autumn. Those values were very low compared with 96% in spring and 87% in autumn on flowering. And the numbers of seeds per fruit of 'Renaissance' were as few as 0.8 in spring and 4.0 in autumn. Furthermore, the ovary of 'Renaissance' from bud stage to two days after flowering enlarged successively in length and breadth. Accordingly it was suggested that the decline of seed development faculty of the parthenocarpic tomato cultivar 'Renaissance' by two days after flowering was not influenced by the decline of fertilization faculty of pistil, but the expression of parthenocarp before flowering.

Key Words : flowering, ovary, seeded fruit

キーワード : 開花, 子房, 有種子果

緒 言

合成ホルモン剤処理や訪花昆虫による受粉を必要としない単為結果性トマトは、省力化と低コスト化が期待できることから農家の関心が高い。我が国では、近年になってロシアのトマト品種 'Severianin' 由来の単為結果性遺伝子 *pat-2* (Philouze・Maisonnette, 1978a, b) の導入により、1994年に初めての実用的な単為結果性品種として 'ラクナファースト' (菅原ら, 1995) が、2000年には完熟収穫型の 'ルネッサンス' (菅原ら, 2002) が育成された。'ルネッサンス' は、春、夏、秋および冬のいずれの季節でも着果

率が非常に高く、発育不良果の発生もみられず、単為結果性の発現が安定していること (大川ら, 2006)、日最高気温の平均値が 39.2°C の高温や日最低気温の平均値が 5.9°C の低温のような環境ストレス条件下でも優れた着果性と安定した果実肥大性を発揮すること (大川ら, 2007) から、一般的な非単為結果性トマトに比べて生産性の向上が可能であることが明らかにされている。しかしながら、単為結果性トマトの F₁ 採種時における種子生産量は、非単為結果性トマトに比べて少なく、かつ、安定していない。そのため、採種労力や種子生産コストが通常の F₁ 品種より多く必要となり、単為結果性トマトの栽培を普及するうえでの問題となっている。そこで、単為結果性トマトの種子形成に関する要因を明らかにし、採種効率を向上させるため、本研究では交配親の組み合わせおよび交配時期が単為結果性トマトの種子形成に及ぼす影響を検討した。また、種子形成に及ぼす交配時の子房の影響についてみるため、開花の前後における子房の大きさの変化について、単為結果性トマト

2007年10月26日 受付. 2007年12月27日 受理.

本報告の一部は、園芸学会平成17年度春季大会で発表した。

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

^a現在: 愛知県農業総合試験場園芸研究部 (弥富) 498-0003 愛知県弥富市

^b現在: 愛知県日進市

と非単為結果性トマトの品種比較を行った。

材料および方法

試験 1. 交配親の組み合わせが種子形成に及ぼす影響

供試材料は、単為結果性 F_1 品種‘ルネッサンス’の母親系統‘PASK-1’（単為結果性、固定系統）、父親系統‘PF811K’（単為結果性、固定系統）および‘桃太郎ヨーク’（非単為結果性、 F_1 品種）の3品種・系統で、それぞれを種子親または花粉親とする9組み合わせの交配を行った。種子親は開花前に除雄し、開花時に当日開花した花粉親の花粉を交配した。なお、開花は花卉が完全に外側に展開し、花卉の色が最も黄味を帯びた時とした。3品種・系統とも、2004年4月1日に播種、5月5日に隔離ベッドに定植し、複合液肥（OK-F-2, 14-8-16）を用いて養液土耕栽培を行った。種子親が‘PASK-1’と‘PF811K’では第1花房と第2花房を、‘桃太郎ヨーク’では他2系統よりも開花が早かったために第1花房は切除して第2花房と第3花房を用いた。種子親が‘PASK-1’と‘PF811K’では第2花房上の2葉を残し、‘桃太郎ヨーク’では第3花房上の2葉を残して摘心した。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、1組み合わせ当たり18果を調査した。換気温度は28°C、最低温度は15°Cで管理した。

試験 2. 交配時期が種子形成に及ぼす影響

供試材料は、単為結果性 F_1 品種の‘ルネッサンス’、非単為結果性 F_1 品種の‘桃太郎ヨーク’とした。‘ルネッサンス’は F_1 品種であるが、母親系統‘PASK-1’および父親系統‘PF811K’と同様に劣性の単為結果性遺伝子 *pat-2* をホモに持つ（菅原ら、2002）ことから材料として選択した。両品種とも、交配時期を蕾時（開花2～3日前を目標）、開花時、開花2日後とする3処理区を設けた。いずれも開花前に除雄し、所定の交配時期に当日開花した同一品種の花粉を交配した。試験は、春季と秋季の2回行った。春季試

験では、2004年4月1日に播種、5月5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。換気温度は28°C、最低温度は15°Cで管理し、2段階摘心栽培とした。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、1組み合わせ当たり24果を調査した。秋季試験では、2004年9月3日に播種、9月13日に3.5号ポットに鉢上げし、10月6日に地床に定植した。3段階摘心栽培の第1花房を供試し、1組み合わせ当たり15果を調査した。第2、第3花房については‘ルネッサンス’は放任とし、‘桃太郎ヨーク’は4-chlorophenoxy acetic acid 液（15 mg・L⁻¹）の処理を行って着果させた。その他の耕種概要は春季試験と同様とした。

試験 3. 開花の前後における子房の大きさの変化

供試材料は試験2と同様とした。調査時期は両品種とも蕾時（開花2～3日前を目標）、開花時、開花2日後の3回とした。各時期に花を摘除し、花から花卉と葯を分離して、子房の横径および縦径をデジタルノギスで測定した。なお、両品種とも開花時と開花2日後に調査する子房は、受精による肥大を防ぐため予め蕾時に除雄した。2004年9月3日に播種、9月13日に3.5号ポットに鉢上げし、10月6日に地床に定植した。2段階摘心栽培とし、1花房当たり4花に制限して、各区当たり16花を調査した。その他の耕種概要は試験2の秋季と同様とした。

結 果

試験 1. 交配親の組み合わせが種子形成に及ぼす影響

交配親の組み合わせが、着果率、有種子果率、1果重および種子数に及ぼす影響を第1表に示した。着果率は、1組み合わせ（‘PF811K’×‘PASK-1’）を除きいずれも100%であった。有種子果率は、‘桃太郎ヨーク’を種子親とした場合には花粉親の種類に関係なくいずれも100%であった。‘PASK-1’を種子親とした場合、花粉親が‘PASK-1’では

第1表 単為結果性および非単為結果性を異にした交配親の組み合わせが着果率、有種子果率、1果重および種子数に及ぼす影響

種子親	花粉親	着果率 ^z (%)	有種子果率 ^y (%)	1果重 (g)	種子数 (粒/果 ^x)
PASK-1	× PASK-1	100	72	214 ± 15 ^w	27.9 ± 12.1 ^w
	× PF811K	100	89	221 ± 12	15.5 ± 4.6
	× 桃太郎ヨーク	100	78	214 ± 16	7.6 ± 2.5
PF811K	× PASK-1	94	94	267 ± 15	22.4 ± 5.8
	× PF811K	100	89	263 ± 8	18.7 ± 4.2
	× 桃太郎ヨーク	100	94	262 ± 10	29.9 ± 4.4
桃太郎ヨーク	× PASK-1	100	100	238 ± 16	183.2 ± 17.1
	× PF811K	100	100	247 ± 11	210.6 ± 11.4
	× 桃太郎ヨーク	100	100	267 ± 11	175.4 ± 15.9

PASK-1：単為結果性固定系統（単為結果性 F_1 品種‘ルネッサンス’の母親系統）

PF811K：単為結果性固定系統（単為結果性 F_1 品種‘ルネッサンス’の父親系統）

桃太郎ヨーク：非単為結果性 F_1 品種

^z着果数/開花数 × 100

^y有種子果数/着果数 × 100

^x着果数

^w平均 ± SE (n = 17 ~ 18)

72%, ‘PF811K’では89%, ‘桃太郎ヨーク’では78%の有種子果率であった. ‘PF811K’を種子親とした場合, 花粉親が‘PASK-1’では94%, ‘PF811K’では89%, ‘桃太郎ヨーク’では94%の有種子果率であった. 1果重は, 種子親が同一の場合, 花粉親の違いによる影響はみられなかった. 1果当たりの種子数は, ‘PASK-1’を種子親とした場合, 花粉親が‘PASK-1’では27.9粒, ‘PF811K’では15.5粒, ‘桃太郎ヨーク’では7.6粒であった. ‘PF811K’を種子親とした場合, 花粉親が‘PASK-1’では22.4粒, ‘PF811K’では18.7粒, ‘桃太郎ヨーク’では29.9粒であった. 一方, ‘桃太郎ヨーク’を種子親とした場合, 花粉親が‘PASK-1’では183.2粒, ‘PF811K’では210.6粒, ‘桃太郎ヨーク’では175.4粒と, いずれの花粉親との組み合わせも前記2系統を種子親とする場合に比べて明らかに多かった.

試験2. 交配時期が種子形成に及ぼす影響

春季における交配時期が, 着果率, 有種子果率, 1果重および種子数に及ぼす影響を第2表に示した. 開花2～3日前を目標にした蕾時の交配時期は, ‘ルネッサンス’が開

花2.8日前, ‘桃太郎ヨーク’が開花2.3日前であった. 着果率は, 両品種ともいずれの交配時期でも96%以上であった. 有種子果率は‘桃太郎ヨーク’がいずれの交配時期でも100%であったのに対し, ‘ルネッサンス’は蕾時と開花時では96%であったが, 開花2日後では8%と著しく低かった. 1果重は, 両品種とも交配時期による差異はみられなかった. 1果当たりの種子数は, ‘桃太郎ヨーク’が開花時218.5粒, 開花2日後100.4粒, 蕾時81.0粒の順であったが, ‘ルネッサンス’は蕾時が40.9粒, 開花時が38.3粒で, 有種子果率の低かった開花2日後は0.8粒であった.

秋季における交配時期が, 着果率, 有種子果率, 1果重および種子数に及ぼす影響を第3表に示した. 開花2～3日前を目標にした蕾時の交配時期は, ‘ルネッサンス’が開花2.5日前, ‘桃太郎ヨーク’が開花2.8日前であった. 着果率は, 両品種ともいずれの交配時期でも100%であった. 有種子果率は‘桃太郎ヨーク’がいずれの交配時期でも100%であったのに対し, ‘ルネッサンス’は蕾時では100%, 開花時では87%, 開花2日後では33%であった. 1果重は,

第2表 春季における単為結果性および非単為結果性トマトの交配時期が着果率, 有種子果率, 1果重および種子数に及ぼす影響

品種	交配時期	着果率 ^z (%)	有種子果率 ^y (%)	1果重 (g)	種子数 (粒/果 ^x)
ルネッサンス	蕾時 ^v	96	96	148 ± 8 ^w	40.9 ± 6.2 ^w
	開花時	100	96	164 ± 9	38.3 ± 5.9
	開花2日後	100	8	163 ± 10	0.8 ± 0.6
桃太郎ヨーク	蕾時 ^u	96	100	154 ± 9	81.0 ± 11.4
	開花時	100	100	183 ± 7	218.5 ± 10.6
	開花2日後	96	100	178 ± 12	100.4 ± 11.7

ルネッサンス: 単為結果性 F₁ 品種

桃太郎ヨーク: 非単為結果性 F₁ 品種

^z着果数/開花数 × 100

^y有種子果数/着果数 × 100

^x着果数

^w平均 ± SE (n = 23 ~ 24)

^v開花2.8日前

^u開花2.3日前

第3表 秋季における単為結果性および非単為結果性トマトの交配時期が着果率, 有種子果率, 1果重および種子数に及ぼす影響

品種	交配時期	着果率 ^z (%)	有種子果率 ^y (%)	1果重 (g)	種子数 (粒/果 ^x)
ルネッサンス	蕾時 ^v	100	100	168 ± 4 ^w	35.7 ± 6.5 ^w
	開花時	100	87	165 ± 6	51.1 ± 8.0
	開花2日後	100	33	173 ± 5	4.0 ± 2.3
桃太郎ヨーク	蕾時 ^u	100	100	160 ± 11	138.8 ± 16.0
	開花時	100	100	170 ± 11	179.4 ± 15.6
	開花2日後	100	100	170 ± 12	145.1 ± 17.5

ルネッサンス: 単為結果性 F₁ 品種

桃太郎ヨーク: 非単為結果性 F₁ 品種

^z着果数/開花数 × 100

^y有種子果数/着果数 × 100

^x着果数

^w平均 ± SE (n = 15)

^v開花2.5日前

^u開花2.8日前

第1図 開花の前後における単為結果性および非単為結果性トマトの子房の横径および縦径の変化

ルネッサンス：単為結果性 F₁ 品種 桃太郎ヨーク：非単為結果性 F₁ 品種

^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)

両品種とも交配時期による差異はみられなかった。1果当たりの種子数は、'桃太郎ヨーク'が蕾時138.8粒、開花時179.4粒、開花2日後145.1粒であったが、'ルネッサンス'は蕾時35.7粒、開花時51.1粒で、有種子果率の低かった開花2日後は4.0粒であった。

試験3. 開花の前後における子房の大きさの変化

子房の横径は、'ルネッサンス'では蕾時2.73 mm、開花時3.16 mm、開花2日後4.14 mmと時間の経過に伴って増加したのに対し、'桃太郎ヨーク'では蕾時2.65 mm、開花時2.60 mm、開花2日後2.75 mmと変化はなかった。子房の縦径も、'ルネッサンス'では蕾時2.27 mm、開花時2.85 mm、開花2日後4.04 mmと時間の経過に伴って増加したのに対し、'桃太郎ヨーク'では蕾時1.70 mm、開花時1.62 mm、開花2日後1.76 mmと変化はなかった(第1図)。

考 察

我が国の実用的な F₁ 品種の採種では、1果当たり200粒程度(関口, 1988)の種子が生産される。本研究での交配親の組み合わせにおいても、種子親を非単為結果性品種の'桃太郎ヨーク'とした場合、花粉親の種類にかかわらず有種子果率は100%で、1果当たりの種子数は200粒前後と標準的であった。しかし、種子親を単為結果性固定系統の'PASK-1'および'PF811K'とした場合、花粉親にかかわらず、有種子果率は75~94%とやや低くなり、1果当たりの種子数は7.6~29.9粒で、種子親を'桃太郎ヨーク'とした場合に比べて明らかに少なかった。交配する季節ならびに花(花蕾)処理が'ルネッサンス'の着果および果実特性に及ぼす影響を検討した既往の報告(大川ら, 2006)でも、'ルネッサンス'の振動受粉における1果当たりの種子数は、春季が23.9粒、秋季が19.0粒で、本研究における種子親を'PASK-1'および'PF811K'とした場合と同等で少なかった。これらの季節は、本来、受精に適した気候条件と推測され、実際に同様な栽培条件下での振動受粉による'桃太郎ヨーク'の1果当たり種子数は、春季が179.4粒、秋季が245.0粒と標準的であった。また、本研究では

最低温度を15°Cで管理したことから、雄ずい花粉稔性低下による受精能力の欠如(藤下, 1970)が種子形成の少ない要因とは考えにくい。従って、単為結果性トマトの種子形成には、単為結果性の有無による花粉親の種類は関係がなく、種子親の種類が大きく関与し、種子親が単為結果性の場合に種子は形成されにくくなると推察された。

次に、交配時期と単為結果性トマトの種子形成の関係をみると、春季および秋季とも非単為結果性品種の'桃太郎ヨーク'は、交配時期にかかわらず有種子果率はいずれも100%であった。1果当たりの種子数は、秋季では交配時期による差異はみられず150粒前後であり、春季では開花時が218.5粒と最も多く、以下、開花2日後の100.4粒、蕾時(開花2.3日前)の81.0粒の順であった。トマトは、雌ずいの受精能力が長く維持され、開花後3~4日あることが採種経験上知られており(阿部, 1978)、これは本研究の結果とはほぼ一致する。当然、季節による雌ずいの受精能力保持期間の差異はあると推測されるが、開花後直ちに受精能力が低下することはないと考えられる。また、'桃太郎ヨーク'では受精が行われなければ、開花の前後で子房の大きさの変化はみられない。一方、'ルネッサンス'では、蕾時から開花2日後にかけて子房は横径および縦径とも順次増加していることから、単為結果性の発現は開花前にはすでに始まっていると考えられる。また、'ルネッサンス'の有種子果率は、開花2日後では春季が8%、秋季が33%と、開花時での春季96%、秋季87%に比べて大きく低下し、1果当たりの種子数も開花2日後では春季が0.8粒、秋季が4.0粒と極端に少なかった。これらのことから、'ルネッサンス'の開花2日後における種子数の減少は雌ずいの受精能力低下の影響ではなく、開花前からの単為結果性の発現による影響と推察される。単為結果性トマトでは、果実胚珠内の偽胚の発達と果実肥大に同調性がみられ(Kataokaら, 2003)、開花直後にジベレリン活性が増加すること(Mapelliら, 1978)、偽胚発達は内生ジベレリンによるコントロールの可能性があること(片岡, 2004)が報告されている。また、オーキシンによるジベレリン生合成の制御や

ジベレリン情報伝達経路の制御が分子レベルで明らかにされつつある(山口, 2004). 従って今後は, 開花前からのジベレリン, オーキシンなどの内生植物成長調節物質の制御が種子形成に及ぼす影響について検討する必要がある. 開花の前後における子房の大きさの変化から, ‘ルネッサンス’は開花前の段階から子房が肥大することが明らかになったが, 子房肥大中である開花時の交配でも蕾時(開花2~3日前)と同等の1果当たり約40粒の種子が得られ, 種子数が大幅に減少したのは開花2日後で, 子房の肥大開始時期と種子数の減少時期に時間的なずれが認められた. ただし, 蕾時と開花時の交配における1果当たり40粒前後の種子数は, 一般的な非単為結果性品種の1/5程度と少なく採種効率率は依然低い. 子房肥大時期が開花2~3日前よりさらに前であるかは, 本研究の結果からは判断はできないことから, 今後, 様々な条件下における子房肥大の開始時期の把握と, 子房の肥大状況を異にした場合における受精が種子形成に及ぼす影響について検討することも, 採種効率向上のために重要と考えられる.

摘 要

単為結果性トマトの種子形成に関与する要因を明らかにするため, 交配親の組み合わせおよび交配時期が単為結果性トマトの種子形成に及ぼす影響について検討した. また, 開花の前後における子房の大きさの変化について, 単為結果性トマトと非単為結果性トマトの品種比較を行った. 種子親を非単為結果性品種の‘桃太郎ヨーク’とした場合, 花粉親の種類にかかわらず有種子果率は100%で, 1果当たりの種子数は200粒前後であった. 種子親を単為結果性固定系統の‘PASK-1’および‘PF811K’とした場合, 花粉親の種類にかかわらず, 有種子果率は72~94%とやや低く, 1果当たりの種子数は7.6~29.9粒であった. 従って, 単為結果性トマトの種子形成には, 花粉親の種類は関係がなく, 種子親の種類が大きく関与し, 種子親が単為結果性の場合に種子は形成されにくくなると推察された. 交配時期が単為結果性トマトの種子形成に及ぼす影響については, 非単為結果性品種の‘桃太郎ヨーク’は, 交配時期にかかわらず有種子果率はいずれも100%であり, 1果当たりの種子数も標準的であった. 一方, 単為結果性品種の‘ルネッサンス’の有種子果率は, 開花2日後では春季が8%, 秋季が33%と, 開花時での春季96%, 秋季87%に比べて大きく低下し, 1果当たりの種子数も開花2日後では春季が0.8粒, 秋季が4.0粒と極端に少なかった. また, 蕾時から開花2日後にかけて‘ルネッサンス’の子房は, 横径および縦径とも順次増加した. 従って, ‘ルネッサンス’の開花2日後における種子形成能力の低下は, 雌ずいの受精能力低下ではなく, 開花前からの単為結果性の発現による影響と推察された.

引用文献

- 阿部秀二. 1978. トマト F_1 の採種技術. p. 243–250. 野菜種子生産研究会編. 野菜の採種技術. 誠文堂新光社. 東京.
- 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(農・生). 22: 111–208.
- Kataoka, K., A. Uemachi and S. Yazawa. 2003. Fruit growth and pseudoembryo development affected by uniconazole, an inhibitor of gibberellin biosynthesis, in pat-2 and auxin-induced parthenocarpic tomato fruits. *Sci. Hort.* 98: 9–16.
- 片岡圭子. 2004. トマトにおける単為結果果実の誘導および発達に関する研究. 生長調節物質の関与と偽胚形成. 京都大学学位論文.
- Mapelli, S., C. Frova, G. Torti and G. P. Soressi. 1978. Relationship between set, development and activities of growth regulators in tomato fruits. *Plant Cell Physiol.* 19: 1281–1288.
- 大川浩司・菅原眞治・高市益行・矢部和則. 2007. 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. 園学研. 6: 449–454.
- 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.
- 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. Lenin-grad, USSR.*
- 関口 勲. 1988. 採種栽培における施設利用. トマト. p. 349–357. 野菜種子生産研究会編. ハイテ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.
- 菅原眞治・坂森正博・青柳光昭. 1995. 温室トマトへの単為結果性因子の導入(第3報)単為結果性トマト新品種「ラークナファースト」の育成. 愛知農総試研報. 27: 167–173.
- 山口信次郎. 2004. オーキシンとジベレリンのクロストーク. p. 97–99. 福田裕穂・町田泰則・神谷勇治・柿北辰男監修. 新版植物ホルモンのシグナル伝達. 秀潤社. 東京.