

국내외에서 수집된 토마토에서 당도, 산도, 카로티노이드 색소의 유전변이에 관한 연구

손초이¹, 정유진², 이인혜¹, 경정호¹, 이장수³, 강권규^{1,2*}

¹한경대학교 원예학과, ²한경대학교 유전공학연구소, ³동원종묘(주)

Studies on Genetic Variation of Soluble Solids, Acidity and Carotenoid Contents in Tomato Fruits from Germplasm

Cho Yee Son¹, Yu Jin Jung², In Hye Lee¹, Jung Ho Kyoung¹, Jang Su Lee³ and Kwon Kyoo Kang^{1,2*}

¹Department of Horticulture, Hankyong National University, Ansong 456-749, Korea

²Institute of Genetic Engineering, Hankyong National University, Ansong 456-749, Korea

³DongWon Nongsan Seed Co., Yongin 449-882, Korea

Abstract - Tomato (*Lycopersicon esculentum* M.) is one of the most important crops to the fresh vegetable market and the food processing industry. To evaluate genetic variation in tomato fruits, major characteristics such as soluble solids, acidity and carotenoid contents were analyzed for 771 genetic resource lines. Lines in red color was about 85% which is the largest one followed by peach color, yellow, green, orange, and black. The sweetness of juice ranged from 2.2 to 11.5% (in brix), the average being 5.6%. The acidity ranged from 0.124% to 1.665%, and the average was 0.881%. The lycopine contents was up to 80.4 $\mu\text{g/g}$, and 43.4 $\mu\text{g/g}$ in average. β -carotene ranged 1.8 to 48.8 $\mu\text{g/g}$ and its average was 10.8 $\mu\text{g/g}$. Statistical analysis indicates that there is coefficient of correlation between acidity and sweetness, acidity and pH, pH and lycopine, lycopine and β -carotene. It is expected that the result of this study can be used for breeding more competitive species with respect to contents in sugar or functional chemicals from the selected characteristic species.

Key words - Genetic resource, Sugar contents, Carotenoid pigments, Tomato, Genetic variation

서 언

토마토의 원산지는 남미의 서부 고원지대로 알려지고 있다. 토마토(tomato, *Lycopersicon esculentum* MILL)는 가지과 식물로 열대에서는 다년생이지만 온대지역에서는 1년생 식물로 재배된다. 남아메리카의 서부고원지대가 원산지이며, 우리나라에 도입은 1614년대일 것으로 추측하고 있다. 우리나라 토마토 재배면적은 약 6,188 ha, 생산량은 약 40만톤, 생산액은 약 5,778억원의 규모이다. 토마토 1인당 소비량은 9.2 kg으로 '00년 대비 2배 증가 하였다. 토마토는 생식용뿐 만 아니라 가공용으로도 많이 이용되므로 그 수요가 계속 증가되리라 여겨진다. 그러나 현재 우리나라에서 재배되고 있는 품종은 주로 생식용 위주로 케첩,

소오스, 주스 등 가공품생산에는 부적합하여 일부를 외국에서 수입하고 있는 실정이다. 따라서 가공용 토마토의 질적 향상과 자급달성을 도모하기 위해서는 우수한 품종이 시급한 과제이다. 지금까지 토마토에 대한 연구는 국내외 연구자들에 의해 광범위하게 연구된바 있다(Rick and Chetelat, 1995; Grandillo and Tanksley, 1996; Frary and Doganlar, 2003; Peleman and Van der Voort, 2003; Larry and Joanne, 2007). 토마토 품종육성에 관한 연구로 고품질 일반토마토 품종육성(Birchler *et al.*, 2006), 과색 돌연변이 토마토 선발(Grame *et al.*, 1983), 내재해성 품종육성(Wang *et al.*, 2003) 등이 연구되었다. 또한 과실성분에 관한 연구는 과실성숙중의 색의변화(Grame *et al.*, 1983; Breto *et al.*, 1993; Canady *et al.*, 2006), 경도 및 무기성분의 변화 (Jones RA and Scott SJ, 1983; Doganlar *et al.*, 2000),

*교신저자(E-mail) : kykang@hknu.ac.kr

토마토 품질에 영향을 미치는 성분의 관계(Allen, 1972; Canady *et al.*, 2006), 수확시기가 비타민 함량에 미치는 영향(Y.C. Lee, 1984) 등이 보고되었다. 본 연구에서는 국내외에서 수집한 토마토 유전자원들의 당도, 산도, 카로티노이드 색소 등의 과실특성을 조사하여, 고품질 토마토 품종 육성을 위한 육종 소재로서의 가능성을 알아보고자 한다.

재료 및 방법

2006년부터 한경대학교 원예학과 유전 육종실에서 국내 외로부터 수집한 토마토 유전자원 중에서 근연 야생종을 포함하여 771점을 공시하였다. 2009년 3월 28일 파종하고, 16공 연결포트에 육묘 후, 5월 15일 포장에 60 cm x 40 cm의 재배밀도로서 정식하였다. 재배는 노지지주재배로 하고, 비배관리는 농촌진흥청 원예연구소 토마토 표준재배법으로 하였다. 입묘 조사 후, 완숙과의 수확은 7월 20일부터 8월 25일까지 하여 평량한 후, -40°C에 동결하여 분석할 때까지 보관하였다. 당함량은 디지털 당도계(ATAGO, Digital refrac tometer)를 이용한 Brix 당도로, 산함량은 과즙 2 mL에 증류수 8 mL를 가한용액을 0.1N NaOH용액으로 pH 8.1이 될 때까지 적정한 후, 적정에 소모된 NaOH의 양을 이용하여 타르타르산의 함량으로 환산하였다. 카로티노이드 색소의 정량은 Park *et al.*(1997)이 보고한 방법을 수정하여 사용하였다. 동결샘플을 실온에 해동하여 믹서기로 마쇄한 후, 여액을 4°C에서 원심분리(7,000 rpm, 15 min)한 후, 침전물만을 회수하여 실온에서 증류수로 용해시켜, 일정량의 Acetone 첨가하여 색소성분을 추출 여과하였다. 여과한 Acetone 추출물을 회전진공증발 농축기로 농축하였다. 총 카로티노이드 함량은 diethyl ether를 Control 용매로 사용하여 UV-vis spectrophotometer

(Shimadzu UV-160A, Tokyo, Japan) 460 nm에서 측정하여 계산하였다. 각 분석에서 당도, 산도, pH는 2회, 카로티노이드 색소는 4회 측정하여 평균치를 구하였다.

결과 및 고찰

토마토 유전자원의 특성

국내외로부터 수집한 771계통의 토마토 type, 화방형, 엽형, 엽색 제1화방의 위치 및 수집지역에 대하여 알아본 결과 Table 1과 같다. 수집한 지역은 농촌진흥청 및 순천, 부여, 포천, 옥천, 경기도광주 등으로부터 291점, 독일, 터키, 프랑스 등 유럽지역으로부터 261점, 미국 지역으로부터 49점, 중국 154점 및 일본 116점을 수집하여 분석한 결과 청과용 유한생장형 12점, 장명반유한생장형 27점, 장명무한생장형 17점, 무한 생장형 470점, 유한생장형 140점, 주지 유한, 측지무한생장형 15점, 방울토마토 270점, 송이 토마토 110점, 야생형토마토 7점, 대목용토마토 5점 등으로 나타났다. 또한 화방형은 단순 화방형, 엽색은 녹색, 제1 화방의 위치는 4-6 internode 등이 가장 많았다.

유전자원의 주요 형질분석

수집 유전자원에 있어서 과색, 과형, 과중, 과형이층, pH, 산도 및 당도 등 주요형질의 분포도를 살펴보면 Table 2와 같다. 과색의 분포는 적색과가 약 85%을 차지하며, 복숭아 색, 황색, 녹색, 오렌지, 백색, 흑색순을 보였다. 수집한 지역이 유럽, 미국, 중국, 한국 등에 국한되어 적색과를 선호하기 때문에 많이 수집되었을 것으로 생각되며, 녹색과는 근연야생종으로 *L. peruvia-num*이었다. 과형을 살펴보면 여러 가지 형태를 볼 수 있었으며, 편구가 46%, 정구가 27% 등으로 나타났다. 평균과중의 분포범위는 최소 1 g부터 442 g

Table 1. Frequency distribution of main characteristics for tomato genetic resource lines

Plant type	Cluster type	Leaf color	Position of first cluster (internode)	Collected region
Roma interminates (370)	Simple cluster (749)	Viridescent (27)	4 : (273)	Korea (191)
Determinates Romas (144)	Complex cluster (22)	Green (640)	5 : (138)	Europe (261)
Long shelf life interminates (15)		Dark green (94)	6 : (169)	America (49)
Cherry tomato (170)			7 : (96)	China (154)
Cluster tomato (110)			8 : (27)	Japan (116)
			9 : (12)	
Total	809	771	715	771

Table 2. Frequency distribution of main characteristics for tomato fruits of genetic resource lines

Fruit shape	Fruit color	Fruit cross-section	Fruit weight(g)	pH	Acidity(%)	Sugar content(%)
Flattened (291)	Red (656)	Circle (420)	0-10 (347)	3.6-4.0 (2)	0.0-0.2 (41)	2-3 (21)
Slight flattened (111)	Viridescent (75)	Square shape (294)	-20 (205)	-4.5 (301)	-0.4 (291)	-4 (19)
Round (201)	Yellow (18)	Indeterminate form (54)	-30 (104)	-5.0 (437)	-0.6 (271)	-5 (46)
High round (65)	Orange (11)		-50 (41)	-5.5 (26)	-0.8 (98)	-6 (271)
Heart shaped (41)	Green (9)		-100 (27)	-6.0 (5)	-1.0 (28)	-7 (249)
lengthened cylindrical (32)	White (1)		-150 (17)		-1.2 (12)	-8 (63)
pear shaped (21)			-200 (12)		-1.4 (18)	-9 (78)
Plum shaped (9)			-250 (4)		-1.6 (3)	-10 (18)
			-350 (1)			-11 (6)
Total	771	770	768	771	762	771

Table 3. Frequency distribution of carotenoid pigment contents for tomato fruits of genetic resource lines

Lycopine content(μg/g)	Fruit color						Total	β-carotene content(μg/g)	Fruit color						Total
	Red	Vir	Org	Yel	Gre	Whi			Red	Vir	Org	Yel	Gre	Whi	
0	0	0	3	4	0	1	8	0	0	0	0	0	0	0	0
10	21	0	5	14	9	0	49	5	0	3	3	15	9	1	31
20	47	22	3	0	0	0	72	10	371	52	1	2	0	0	426
30	63	30	0	0	0	0	93	15	242	17	2	1	0	0	262
40	192	16	0	0	0	0	208	20	25	3	1	0	0	0	29
50	302	4	0	0	0	0	306	25	13	0	2	0	0	0	15
60	19	2	0	0	0	0	21	30	2	0	0	0	0	0	2
70	8	1	0	0	0	0	9	35	2	0	1	0	0	0	3
80	2	0	0	0	0	0	2	40	1	0	0	0	0	0	1
90	1	0	0	0	0	0	1	45	0	0	1	0	0	0	1
100	1	0	0	0	0	0	1	50	0	0	1	0	0	0	1
Total	656	75	11	18	9	1	771	Total	656	75	11	18	9	1	771

*Fruit color: Red; Red color, Vir; Viridescent, Org; Orange, Yel; Yellow, Gre; Green, Whi; White.

까지로 평균치가 15 g으로 나타났다. 80% 이상의 수집계통은 20 g 이하이며, 5 g부터 25 g까지의 것은 40%로 가장 많았다. 100 g 이상을 보인 것이 5% 정도 있었으며, 300 g과 442 g의 계통이 각각 1점씩 나타났다. 대부분 과중이 높은 것은 중형보다는 편구형을 보였다. 과즙당도의 분포범위는 최소 2.2%부터 11.5%까지로 평균 5.6%이었다. 한국에서 재배되고 있는 생식용 품종의 당도는 6.5-7.5 범위로 알려져 있다(김 등, 2002). 과즙의 산도 분포범위는 최소 0.124%으로부터 최대 1.665%까지로, 평균치는 0.881%이었다. 산도는 당도에 비해 최소치와 최대치간에 10배 이상을 보였다. 과즙 pH 분포범위는 최소 3.92부터 최대 5.56까지로, 평균치는 4.58이었다. 대부분의 수집

토마토에서 pH 5.0을 초과하는 계통은 10점에 불과하였다. 수집 유전자원들의 과실 카로티노이드 색소함량의 분포를 살펴본 결과 Table 3과 같다. 과육중의 라이코펜 함량의 분포범위는 최소 0.0 μg/g부터 80.4 μg/g까지로 평균 43.3 μg/g이었다. 통상적으로 재배되고 있는 토마토 생식용 품종의 경우 과실내 라이코펜 함량이 20~30 μg/g 정도로 알려져 있다(Grame, 1983). 과색과의 관계를 보면 백색, 녹색 및 황색에서는 라이코펜 함량이 매우 낮고, 라이코펜 함량이 높은 계통은 거의 대부분이 적색과로 나타났다. 과육중에 β-카로틴 함량은 최소 1.8 μg/g부터 최대 48.8 μg/g까지로 평균치는 10.8 μg/g이었다. 과색과의 관계에서는 오렌지색을 보이는 계통에서 높게 나타났다. 토

Table 4. The coefficient of correlation among main characteristics for tomato fruits

	1. Fruit weight	2. Sugar content	3. Acidity	4. pH	5. Lycopine	6. β -carotene	Mean
1. Fruit weight		-0.115***	-0.206***	0.193***	0.081*	-0.273***	15 g
2. Sugar content			0.671***	-0.139***	-0.028	-0.193***	5.6%
3. Acidity				-0.670***	-0.321***	0.033	0.88%
4. pH					0.424***	-0.007	4.58
5. Lycopine						0.372***	43.3(μ g/g)
6. β -carotene							10.8(μ g/g)

마토 수집 유전자원의 주요 형질평가 결과로부터 산도, 당도 및 카로티노이드의 함량에서 다양한 변이가 탐색되어, 우수품종 육성을 위한 육종소재를 선발 할 수 있었다. 산도와 당도 및 카로티노이드는 과실 품질을 결정짓는 중요한 요인으로 많은 연구자들이 각 형질에 대한 유전성 및 생리적 특성이 잘 알려져 있다(Jones and Scott, 1983; Larry and Joanne, 2007).

수집 유전자원의 주요 형질간 상관관계

수집 유전자원의 주요형질간 상관계수는 Table 4와 같다. 상관이 높은 형질은 당도와 산도, 산도와 pH, pH와 라이코핀, 라이코핀과 β -카로틴 등이었다. 반대로 거의 상관관계가 없는 형질들은 당도와 라이코핀, 산도와 β -카로틴, pH와 β -카로틴이었다. 또한 당도와 과중과의 관계에서 부의 상관관계를 보였으며, 이는 대과에서도 고당도 함유 품종을 육성 할 수 있음을 시사한다. 따라서 몇몇 토마토 육종가들은 고당도 함유 토마토 육성을 위한 일환으로 먼저 중과 계통을 선정하여 순환 선발법에 의해 고당도 계통을 선발하고 있다. 산도와 당도의 상관은 높기 때문에 산도와 함께 당도가 높은 계통육성은 비교적 쉽게 얻을 수 있을 것으로 생각된다. pH와 산도는 높은 상관계수를 보여 가공용 토마토 품종은 pH를 낮추기 위해서는 산도를 높이는 것이 바람직하다고 생각된다. 또한 카로티노이드 색소에 대해서는 최근의 연구에서 라이코핀의 항산화능 등의 기능성이 주목 받고 있다(Sanjiv and Akkinappally, 2000). 따라서 β -카로틴 및 라이코핀 등 둘 다 함유한 계통이 카로티노이드 총량을 높일 수 있기 때문에 적색과 품종으로 고카로틴 함유 계통을 육성 할 수 있을 것으로 생각된다.

적 요

토마토는 세계적으로 매우 중요한 과채류로서, 과실 내

에 카로티노이드의 함량이 많아 항암효과, 노화방지 및 비타민이 풍부하다고 알려져 있다. 본 연구에서는 국내외로부터 수집한 토마토 유전자원 771계통을 대상으로 과색, 과형, 과중, pH, 산도 및 당도 등 주요형질의 분포를 분석하였다. 과색의 분포는 적색과가 약 85%를 차지하며, 복숭아색, 황색, 녹색, 오렌지, 백색, 흑색순을 보였다. 과형은 편구가 46%, 정구가 27% 등 다양한 형태로 나타났으며, 과즙당도의 분포범위는 최소 2.2%부터 11.5%까지로 평균 5.6%이었다. 또한 과즙의 산도 분포 범위는 최소 0.124%부터 최대 1.665%까지로, 평균치는 0.881%이었다. 과육중의 라이코핀 함량의 분포범위는 최소 0.0 μ g/g부터 80.4 μ g/g까지로 평균 43.3 μ g/g이었으며, β -카로틴 함량은 최소 1.8 μ g/g부터 최대 48.8 μ g/g까지로 평균치는 10.8 μ g/g이었다. 수집 유전자원의 주요 형질간 상관관계는 당도와 산도, 산도와 pH, pH와 라이코핀, 라이코핀과 β -카로틴 등이 높은 상관관계를 보였다. 이상의 결과로부터 주요 형질이 높은 유전자원을 이용하여, 고당함유 품종육성, 고색소함유 품종육성 등 고기능성 토마토 품종육성에 크게 기여 할 것이라고 생각된다.

사 사

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업(308020-5)의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

인용문헌

Allen, G.R. 1972. An appraisal of contract farming J. Agric. Econ. 23:89-98.
 Birchler, J.A., H. Yao and S. Chudalayandi. 2006. Unraveling the genetic basis of hybrid vigor. PNAS 103:12957-12958.
 Breto, M.P., M.J. Asins and E.A. Carbonell 1993. Genetic variability in Lycopersicon species and their genetic

- relationship. *Theor. Appl. Genet.* 86:113-120.
- Canady, M.A., Y.F. Ji and R.T. Chetelat. 2006. Homeologous recombination in *Solanum lycopersicoides* introgression lines of cultivated tomato. *Genetics* 174:1775-1778.
- Doganlar, S.A. Frary and S.D. Tanksley. 2000. The genetic basis of seed-weight variation: tomato as a model system. *Theor. Appl. Genet.* 100:1267-1273.
- Frary, A. and S. Doganlar. 2003. Comparative genetics of crop plant domestication and evolution. *Turkish J. Agricult. Forestry* 27:59-69.
- Graeme E.H. A. Peters and J.D. Timothy. 1983. Assessing the colour of tomato fruit during ripening. *J. Sci. Food Agri.*, 34:286-292.
- Grandillo, S. and S.D. Tanksley. 1996. Analysis of horticultural traits differentiating the cultivated tomato from the closely related species *Lycopersicon pimpinellifolium*. *Theor. Appl. Genet.* 92:935-951.
- Jones, R.A. and S.J. Scott. 1983. Improvement of tomato flavor by genetically increasing sugar and acid contents. *Euphytica* 32:845-855.
- Larry, R. and L. Joanne. 2007. Genetic resources of tomato. *In* Razdan, M.K. and A.K. Mattoo (eds.). Genetic improvement of solanaceous crops—Vol. 2. Enfield, NH: Science Publishers. Tomato.
- Peleman, J.D. and J.R. Van der Voort. 2003. Breeding by design. *Trends in Plant Science* 8:330-334.
- Rick, C.M. and R.T. Chetelat. 1995. Utilization of related wild species for tomato improvement. *Acta Horticult.* 412: 21-38.
- Sanjiv, A. and V.R. Akkinappally. 2000. Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *Canadian Medical Association or its Licensors.* 19:163-169.
- Wang, W., B. Vinocur and A. Altman. 2003. Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance. *Planta* 218:1-14.
- Lee, Y.C. 1984. Effect of ripening methods and harvest time on vitamin content of tomatoes. *Kor. J. Food Sci. Technol.* 16(1):59-65.
- Park, Y.K., Y.H. Kang, B.W. Lee and H.M. Seog. 1997. Changes of carotenoids of the pumpkin powder during storage. *J. Kor. Soc. Food Sci. Nutr.* 26(1):32-36.
- 김미정, 김지은, 신은연. 2002. 방울토마토의 계절별 당도 조사 연구. *비슬론집* 11:625-631.

(접수일 2010.8.30; 수락일 2011.2.16)