

## 토마토의 생육과정에 따른 성분 변화 I

- Tomatine 분석을 중심으로 -

김동석\* · 小机信行\*\* · 한재숙\*\*\* · 김미향\*\*\*\*

영남대학교 식품·외식학부\*, 영남대학교 가정관리학과\*\*, 위덕대학교\*\*\*, 대구산업정보대학 호텔조리계열\*\*\*\*  
(2004년 9월 30일 접수)

## The Changes of Components by Maturity Stage of Tomato I

Dong-Seok Kim\*, Nobuyuki Kozukue\*\*, Jae-Sook Han\*\*\*, and Mi-Hyang Kim\*\*\*\*

*Food Processing & Food Service Management, Yeungnam University\**

*School of Human Ecology, Yeungnam University\*\**

*President, Uiduk University\*\*\**

*Faculty of Hotel Cuisine, Daegu Polytechnic College\*\*\*\**

(Received September 30, 2004)

### Abstract

This was aim to study the changes of components by different parts and maturity of tomato. We found that orally fed tomatine which induced a significant reduction in cholesterol in hamster in contrast to potato glycoalkaloids, the safety of tomatine was supported by our observation that pickled green tomatoes consumed widely in many countries has a high tomatine content.

The tomatoes harvested during the first stage(10 days after flowering) contained tomatine 6333.49  $\mu\text{g}$  per 100 g and dehydrotomatine and  $\alpha$ -tomatine in a ratio of about 1:13.8. The tomatine content then decreased by about 85% during stage 2(20 days after flowering) an dehydrotomatine contene dropped to a value near zero during stage 3, 4. It then the tomatine content dropped to a value near zero during the final stage(50 days after flowering). With respect to health benefits at all stages of maturity, unripe tomato contain chlorophyll and  $\alpha$ -tomatine should consumed.

Key Words : glycoalkaloid,  $\alpha$ -tomatine, dehydrotomatine

### I. 서론

토마토는 가지과(Lycopersicum esculentun Mill.)에 속하는 일년생 작물로써 남미 안데스 산맥이 원산지이며, 16세기 초 콜럼버스가 신대륙을 발견하였을 무렵 유럽으로 건너가게 되었고, 유럽에서는 스페인과 이탈리아에서 처음으로 재배하게 되었다. 그 당

시에는 유럽의 다른 나라에서는 토마토에서 이상한 냄새가 나고 맹독이 있다는 소문 때문에 재배를 꺼려했으나, 그 후 토마토가 최음성이 강한 과일로 알려지면서 영국에서는 '사랑의 사과'라 하였다. 또한 이탈리아에서는 '황금의 사과'라고 하는 별명까지 붙으며 이때부터 유럽 각국에서는 앞 다투어 토마토를 재배하기 시작하였다. 토마토가 우리나라에 들

어 온 시기는 정확히 알려진 바 없으나, 17세기 초의 지봉유설(芝峰類說)에는 토마토가 남만시(南蠻)로 기록된 것<sup>1)</sup>으로 보아 그 이전부터 있었을 것으로 여겨진다.

원래 토마토는 조리 조작 중에서도 끓이거나 굽거나 특히 완숙된 붉은 토마토에 올리브 오일을 넣고 조리하여 섭취하면 그 맛은 한층 더 좋아지고 영양소의 흡수도 잘 되는 과채류로 알려져 있다. 비타민 A와 C, 무기질, 당 및 유기산의 함량이 높을 뿐만 아니라, 토마토는 독특한 풍미와 색소를 함유하고 있어서 생식용이나 음료, 그리고 조미료 등의 가공품 원료로 널리 이용되고 있다<sup>2)</sup>

토마토에 함유된 영양소와 색소, 제2의 대사산물은 인체에 다양한 영향을 미치고 있다. 특히 tomatine에는 dehydrotomatine과  $\alpha$ -tomatine이 1:10의 비율로 존재한다<sup>3-6)</sup>. 이 tomatine을 햄스터에 경구 섭취하게 한 생체실험에서 콜레스테롤에 강한 친화력을 가지며 혈장 내에서 효과적인 감소를 유도하였고, tomatine 함량이 높은 미숙 토마토의 섭취는 tomatine 함량이 낮은 완숙 토마토보다 혈장 내에서 LDL콜레스테롤과 트리글리세라이드의 감소를 유도하였다. 그리고 다른 식물에 들어 있는 glycoalkaloids에 비해 적은 양으로도 결장암과 간암에 효과가 있다고 보고되었다<sup>7-10)</sup>.

또한 토마토에 들어있는  $\alpha$ -tomatine은 다른 glycoalkaloids와는 대조적으로 독성이 나타나지 않는데 이것은 아마도 소화기관에서 tomatine과 콜레스테롤이 복합체로 생성되어 몸 안에서 제거되었기 때문일 것이다. 또한 tomatine의 안전성에 대해서는 tomatine 함량이 높은 덜 익은 그린 토마토를 이용하여 많은 나라에서 그린토마토 피클로 광범위하게 소비되고 있으며 그 안전성에 대한 여러 보고에 의해서도 뒷받침 되고 있다<sup>6,9)</sup>.

토마토는 세계 각국에서 해마다 생산량이 증가하고 있고 우리나라에서도 기후풍토가 적합하여 전국적으로 재배되고 있다. 토마토의 국내 총 생산량은 1990년 77,723톤에서 1999년에는 290,738톤으로 약 3.7배 급격히 증가하였다가 2001년에는 205,763톤으로 오히려 감소하였다. 토마토의 수입량은 1990년 80,148톤이었고, 1999년에는 32,719톤으로 약 2.5배 정도 감소하였다가 2001년에는 36,363톤으로 증가하였다. 또한 1인 1일 토마토 섭취량은 1990년 8.05g에서

1995년에는 9.71g, 2000년에는 13.6g, 2001년에는 10.54g을 섭취하고 있었다<sup>11)</sup>.

이는 토마토가 경제작물로서 단위면적당 생산량이 많고 재배가 용이한 특징을 가지고 있음에도 불구하고, 현재 우리나라의 경우, 다른 과채류의 생산량에 비하여 그다지 많지 않으며, 가공업 또한 부진한 실정이다. 우리나라에서 토마토를 이용하는 방법은 주로 과일로 취급되어 주스 혹은 생것으로 사용되거나 샐러드 재료로서 섭취하고 있어 다른 나라에서처럼 식사에 사용되고 있는 것은 많지 않다.

토마토에 대한 연구는 국내외에서 광범위하게 연구되어 있다. 토마토의 성분과 관련된 연구로는 생육 중의 색 변화<sup>12)</sup>, 경도 및 무기성분의 변화<sup>13)</sup>, 생육방법과 수확시기가 토마토의 비타민 함량에 미치는 영향<sup>14)</sup>, 감압 저장 중 토마토 과실의 향기 및 지질 성분의 변화<sup>15)</sup>, 건조 토마토의 성분 조성<sup>16)</sup> 등이 있다. 토마토의 기능성에 관한 연구로는 토마토와 토마토 가공 식품 중lycopene이 암과 항산화에 미치는 영향<sup>17,18)</sup>, 토마토 가공에 관한 연구로는 토마토와 토마토 가공 제품의 영양성분<sup>7)</sup>, 토마토 글리코알카로이드인  $\alpha$ -tomatine의 특징, 글리코알카로이드가 결장암과 간암세포의 성장에 미치는 영향<sup>19)</sup>, 토마토와 토마토 식물의 dehydrotomatine과  $\alpha$ -tomatine 함량<sup>20)</sup>, 토마토를 이용한 말라리아 백신의 개발<sup>21)</sup>이 있다.

이와 같이 토마토의 성분과 가공에 관한 연구 보고는 많으나 tomatine의 성분 변화에 관한 연구는 없는 실정이다. 이에 tomatine의 안정성과 기능성에 관한 연구결과를 바탕으로 토마토의 생육 단계에 따라 나타나는 tomatine의 성분 변화를 연구하여 tomatine 성분을 식재료로 보다 효율적으로 사용할 수 있는 기초자료로 사용하고자 한다. 또한 이를 바탕으로 보다 적합한 가공 방법 및 조리방법을 모색하는 자료를 제공하여 토마토의 식품으로서의 가치를 증진시키고 소비를 증진하기 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험재료

실험재료는 2003년 4월 15일 경산 시장에서 품종

이 'Momotaro' 품종의 모종 12포기를 구입하여 대구광역시 수성구 대흥동에 위치한 농원의 노지에 심어 재배하였다. 모종을 심은 후 30일경에 첫 개화가 시작되었으며, 개화 후 7일경 꽃이 지면서 열매가 열리기 시작하였다. 12포기 중 2포기는 모종을 심은 후 40일경에 생육에 불안정한 상태를 보여 다른 토마토에 피해를 주지 않기 위하여 폐기하고 남은 10포기에서 열린 토마토를 사용하였다. 각 시료는 개화 후 10, 20, 30, 40, 50일에 토마토를 각각 3회에 걸쳐 수확하여 사용하였으며, 50일된 토마토를 완숙한 토마토로 간주하여 마지막으로 수확한 후 꽃, 꽃받침, 줄기, 뿌리, 잎을 채취하여 토마토 식물의 부위에 따른 tomatine의 함량을 분석하였다.

각 생육 단계별로 수확한 토마토는 세로로 정확히 2등분하여 자른 면에서 5mm두께로 잘라서 사용하였으나, 단 개화 후 10일 된 토마토는 크기가 너무 작아 전체를 시료로 하였다.

2. 토마토의 생육과정 측정

개화 후 생육 단계에 따라 토마토를 수확하여 각각 vernier caliper(Mittooy, CO., Japan)로 토마토 장축의 길이를 측정하고, balance(PAG, Switzerland)로 무게를 측정하여 평균값을 구하였다.

3. Dehydrotomatine과  $\alpha$ -tomatine의 추출 및 분석

Dehydrotomatine과  $\alpha$ -tomatine의 추출 및 분석은 Kozukue의 방법<sup>6)</sup>으로 dehydrotomatine과  $\alpha$ -tomatine의 함량을 측정하였다. 시료 5g에 chloroform : methanol(2:1, v/v) 용액을 가하여 homogenizer로 균질화 하였다. 균질화한 용액을 rotary evaporator를 이용하여 수분을 증발시킨 후 0.1 N HCl 30mL 넣어 잔사를 녹이고 원심분리(12,000rpm, 4°C, 10min)하여 상등액을 얻었다. 이 상등액에 NH<sub>4</sub>OH 2mL를 넣어 water bath(90°C, 90min)에서 tomatine을 침전시킨 후 12시간 냉암소에 두었다가 원심분리(12,000rpm, 4°C, 10min)하여 tomatine을 추출하였다. 추출한 tomatine을 rotary evaporator를 이용하여 여분의 수분을 제거하였다. 추출 건조된 tomatine에 tetrahydrofuran/acetoneitrile/20mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>(50:25:25 v/v/v)혼합 용매 2mL를 넣어 tomatine을 용해한 후 원심분리

<Table 1> Apparatus and conditions for analysis of dehydrotomatine and  $\alpha$ -tomatine by HPLC

Column	Inertsil ODS-3(5.0 $\mu$ m, 5.0 $\times$ 250mm, GL Science)
Pump	Hitachi L-6000
Solvent	Acetonitrile/10mM KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> (23:77, v/v)
Injector	HITACHI 655A-40 Auto Sampler
Integrator	HITACHI D-2500
Column temperature	30°C(SHIMADZU Column oven CTO-10 vp)
Flow rate	1mL/min
Injection volume	20 $\mu$ L
Detection wavelength	208nm(SHIMADZU SPD-10 Avp)

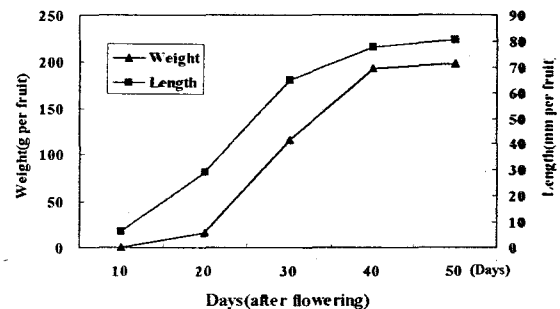
(12,000rpm, 4°C, 10min)하여 상등액 20 $\mu$ L를 직접 HPLC에 주입하여 분석하였다. 이러한 방법으로 분석한  $\alpha$ -tomatine과 dehydrotomatine의 함량은 standard tomatine(Sigma, USA)의 retention time과 비교하여 동정하였으며, 표준시료의 peak면적에 의해 산출된 값을 기준으로 하여 총 함량을 구하였다. Tomatine의 HPLC 분석 조건은 <표 1>과 같다.

III. 결과 및 고찰

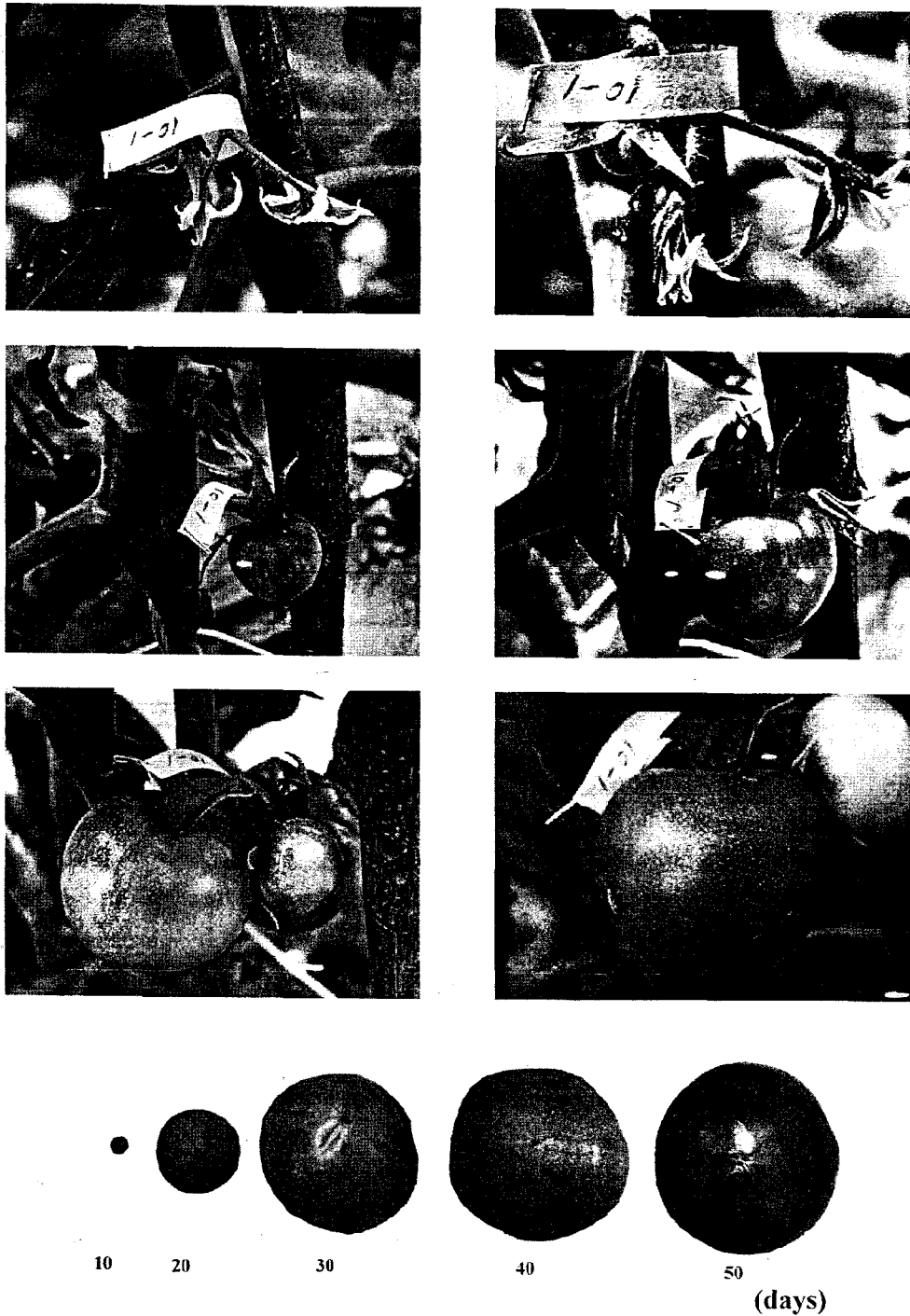
1. 토마토 생육과정

<그림 1>과 <그림 2>는 생육 단계에 따른 다섯 단계 즉 개화 후 10, 20, 30, 40, 50일째에 각각 수확하여 무게와 장축 길이의 변화를 나타낸 것이며, 그림 3은 각 단계의 상태를 나타내고 있다.

무게는 10일째 0.31g이었으나, 20일 16.66g, 30일째



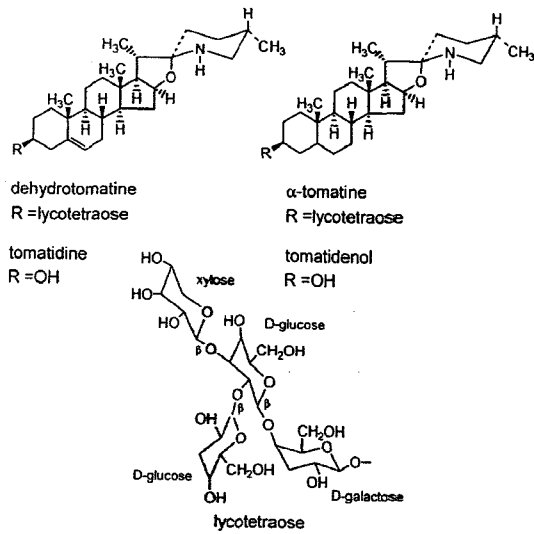
<Fig. 1> 5-stages of tomato maturity(after flowering of tomato plants)



<Fig. 2> 5-stages of tomato fruits

115.65g으로 10일째에 비해 30일째의 무게가 370배로 급격한 변화를 보였으며, 40, 50일째에는 큰 변화는 보이지 않았다. 크기는 10일째에 6.42mm였던 것이 30일째에는 64.88mm으로 약 10배의 급격한 변화를 보였다. 40일에서 50일째에는 무게와 마찬가지로 크기의 변화를 거의 나타내지 않았다. 외형적으로 본 무게와 길이는 20일에서 40일 사이에 급격하게

성장하였으며 40일에서 50일 사이에는 무게와 크기에 두드러진 변화는 나타나지 않았다. 개화 후 토마토는 짙은 초록색에서 점점 연두색으로 변하던 것이 45일경부터 붉은색을 띠기 시작하였고, 그 후 약 5일 동안에 완전한 붉은색을 띠었다. 일반적인 과채류는 생육의 단계에 따라 <그림 3>에서 보는 것처럼 S자 곡선을 나타냄을 알 수 있었다.



<Fig. 3> Structures of dehydrotomatine, α-tomatine, tomatidenol, and tomatidine

2. Dehydrotomatine과 α-tomatine

<그림 3>은 dehydrotomatine, α-tomatine, tomatidenol, tomatidine의 구조식을 나타낸 것이다.

<표 2>는 개화 후 토마토의 생육단계에 따른 dehydrotomatine과 α-tomatine의 함량 변화를 나타

낸 것이다. 첫 번째 단계인 개화 후 10일 된 토마토의 tomatine 함량은 6339.49 μg/100g이었으며, dehydrotomatine과 α-tomatine은 1:13.8의 비율을 보였으며, 이는 표준 tomatine의 비율보다 α-tomatine의 함량이 조금 더 많았다. 두 번째 단계인 개화 후 20일째의 tomatine 함량은 약 85%의 감소를 나타내었으며, 비율도 1:11.6이었다.

개화 후 30일과 40일째에서는 dehydrotomatine은 함유하고 있지 않았으며, α-tomatine은 미량 함유하고 있었다. 마지막 단계인 개화 후 50일째에는 tomatine이 전혀 함유되어 있지 않았다.

위의 결과를 통하여 토마토의 생육단계와 tomatine의 함량 사이에는 상당한 변화가 있음을 알 수 있었다. 토마토에 들어 있는 tomatine의 감소는 생육 단계에 따라 존재하는 효소들에 의해 일어난다고 하며<sup>22-25</sup>, 미숙 토마토에 들어 있는 tomatine은 암과 동맥경화증에 효과가 있다고 하였다<sup>26</sup>). 따라서 개화 후 약 10일경 되는 미숙 토마토를 이용하는 것이 tomatine의 이용율이 가장 높은 것을 알 수 있었다.

<표 3>은 개화 후 10일째 된 토마토의 각 부위에 따른 dehydrotomatine과 α-tomatine의 함량을 나타낸 것이다. 꽃, 꽃받침, 잎, 줄기와 뿌리의 dehydro-

<Table 2> Contents of dehydrotomatine and α-tomatine

(ug/100 g, fw)

Days(after flowering)	Dehydrotmatine (A)	-tomatine (B)	A+B	B/A
10	427.71 ± 231.51 <sup>1)</sup>	5911.78 ± 870.28	6339.49	13.8
20	67.28 ± 7.78	783.45 ± 102.16	850.73	11.6
30	trace	75.86 ± 42.52	75.86	n.d.
40	n.d. <sup>2)</sup>	51.06 ± 35.29	51.06	n.d.
50	n.d.	t <sup>3)</sup>	n.d.	n.d.

1) average ± SD; n=9

2) n.d.=not detected

3) t = trace

<Table 3> Dehydrotomatine and α-tomatine content of parts of tomato plants

(ug/100 g, fw)

Days(after flowering)	Dehydrotmatine (A)	-tomatine (B)	A+B	B/A
Flower	434.51 ± 73.70 <sup>1)</sup>	1041.90 ± 152.31	1476.41	2.4
Calyx	179.75 ± 32.41	509.74 ± 75.23	689.49	2.8
Leaf	92.36 ± 12.24	423.22 ± 32.42	515.58	4.6
Stem	69.32 ± 20.13	237.49 ± 54.21	306.81	3.4
Root	39.59 ± 5.71	84.27 ± 18.37	123.86	2.1

1) average ± SD; n=9

tomatine 과  $\alpha$ -tomatine의 함량은 매우 많았으며, 특히 꽃은 개화 후 10일째 된 토마토 열매보다 약 2배 많은  $\alpha$ -tomatine과 dehydrotomatine의 함량을 나타내고 있었다. Dehydrotomatine과  $\alpha$ -tomatine의 함량은 토마토의 열매와는 달리 2.1~4.6:1의 비율을 나타내었으므로 dehydrotomatine의 함량이  $\alpha$ -tomatine보다 많음을 알 수 있었다.

#### IV. 요약 및 결론

토마토는 세계적으로 애용되고 있는 영양과 조리 식품의 재료로서 뿐만 아니라 건강식품으로서 가치가 높은 식품 중의 하나이다. 미숙 토마토에 다량 함유되어 있는 tomatine은 항암성분의 하나로써 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다. 이에 본 연구는 토마토의 생육 단계에 따른 tomatine의 함량을 측정 한 결과는 다음과 같다.

첫 번째 단계인 개화 후 10일 된 토마토의 tomatine함량은 6339.49 $\mu$ g/100g이었으며, dehydrotomatine과  $\alpha$ -tomatine은 1:13.8의 비율을 보였으나, 두 번째 단계인 개화 후 20일째의 tomatine 함량은 약 85%의 감소를 나타내었다. 개화 후 30일과 40일째에서는 dehydrotomatine은 함유하고 있지 않았으며,  $\alpha$ -tomatine은 미량 함유하고 있었지만, 마지막 단계인 개화 후 50일째에는 tomatine이 전혀 함유되어 있지 않았다.

개화 후 10일째 된 토마토의 각 부위에 대한 dehydrotomatine과  $\alpha$ -tomatine의 함량은 꽃이 1476.41 $\mu$ g/100g으로 가장 높은 함량을 나타내었고, dehydrotomatine과  $\alpha$ -tomatine의 함량비는 토마토 열매와는 달리 dehydrotomatine의 함량이  $\alpha$ -tomatine보다 많음을 알 수 있었다.

인간의 건강에 유익한 tomatine 성분함량이 우수한 토마토를 이용하기 위해서는 미숙 토마토와 완숙 토마토 모두를 식용 할 수 있는 토마토의 연구가 필요하다고 하겠다.

#### ■ 참고문헌

1) 동아출판사: 동아원색백과사전, 서울, 263-264 (1983).

2) Yoon KY. Changes of Quality in the Osmotic Dehydration of Cherry Tomatoes and Optimization for the Process. 영남대학교 대학원, 석사학위논문, 1996.

3) Mendel F, Nobuyuki K and Harden LA. Structure the tomato glycoalkaloid tomatidienol-3- $\beta$ -lycotetraose(dehydrotomatine), J Agri Food Chem 45: 1541-1547, 1997.

4) Friedman M and Levin CE. Dehydrotomatine content in tomatoes. J Agri Food Chem 46: 4571-4576, 1998.

5) Madhavi DL and Salunkhe DK. Tomato in handbook of vegetable science, Ed by Salunkhe and Kadam SS, Marcel Dekker, New York: 171-201, 1998.

6) Nobuyuki K and Mendel F. Tomatine, chlorophyll,  $\beta$ -carotene and lycopene content in tomatoes during growth maturation, J Sci Food Agric 83(3): 1-6, 2003.

7) Mendel F, Fitch TE and Yokoyama WH. Lowering of plasma LDL cholesterol in hamsters by the tomato glycoalkaloid tomatine. Food Chem Toxicol 38: 549-553, 2000.

8) Mendel F and McDonald GM. Potato glycoalkaloids; chemistry, analysis, safety, and plant physiology. Crit Rev Plant Sci 16: 55-132. 1997.

9) Mendel F and Levin CE.  $\alpha$ -Tomatine content in tomato and tomato products determined by HPLC with pulsed amperometric detection. J Agri Food Chem 43: 1507-1511, 1995.

10) Juvik JA, Stevens MA and Rick CM. Survey of the genus lycopersicon for variability in -tomatine content. Hort Sci 17: 764-766, 1982.

11) 한국농촌경제연구원 : 식품수급표, 86, 2003.

12) Lee MS and Kim GH. Quality Evaluation of Raw Tomato Fruits. J Food Sci. Biotechnology, 18(5): 335-338, 1986.

13) Ryu BH, Moon KD, Kim SD and Sohn TH. The Changes of Hardness and Mineral Components of Tomato Fruits during Ripening. J Korean Soc Food Nutr 19(2): 115-120, 1990.

14) Lee YC. Effect of Ripening Methods and Harvest Time on Vitamin Content of Tomatoes. Food Sci

- Biotechnology 16(1): 59-65, 1984.
- 15) Sohn TW, Cheon SH, Choi SW, Moon KD and Chung SK. Changes of Flavor Components and Lipid Contents in Tomato fruits during Storage : Changes of Lipid Condents and Its Correlation with Flavor Components, Food Sci Biotechnology 20: 63-71, 1988.
  - 16) Chung TY, Fumitaka H, Akihiro O and Hiromichi K. Constituents of the dried tomato fruits(*Lycopersicon esculentum*, Mi Soo), J Korean Soc Food Nutr 16: 1-10, 1987.
  - 17) Edward G. Tomatoes, tomato-based products, lycopene and cancer, J National Cancer Institue 91(4): 317-331, 1999.
  - 18) Edward G, Eric B Rimm, Yan L, Meir J Stampfer and Walter C Willett. A prospective study of tomato products, lycopene and prostate cancer risk, J National Cancer Institue 94(5): 391-398, 2002.
  - 19) Lee KR, Kozukue N, Han JS, Park JH, Chang EY, Baek EJ and Friedman M. Glycoalkaloids and Metabolites inhibit the growth of human colon(HT29) and liver(HepG2) cancer cells. J Agric Food Chem 52: 2832-2839, 2004.
  - 20) Kozukue N, Han JS, Lee KR and Friedman M. Dehydrotomatine and  $\alpha$ -tomatine content in tomato fruits and vegetative plant tissues. J Agric Food Chem 52: 2079-2083, 2004.
  - 21) Taylor-Robinson AW and Morrow JW. Tomatine as an adjuvant in malaria vaccine development. Drugs Future 27: 391-402, 2002.
  - 22) Paica SA and Russell RM. Beta-carotene and other carotenoids as antioxidants. J AM Coll Nutr 18: 426-433, 1999.
  - 23) Heftmann E and Schwimmer S. Degradation of tomatine to 3 $\beta$ -hydroxy-5 $\alpha$ -pregnen-16-en-20-one by ripe tomatoes, Phytochem 11: 2783-2787, 1972.
  - 24) Elrayed EA and Roddick JG. Changes in the alkaloid content of developing fruits of tomato(*Lycopersicon esculentum* Mill), I. Analyses of cultivars and mutants with different ripening characteristics. J Exp Bot 35: 252-260, 1984.
  - 25) Mendel F. Tomato glycoalkaloids; role in the plant and in the diet. J Agric Food Chem 50: 5751-5780, 2002.
  - 26) Nobuyuki K, Misoo S, Yamada T, Kamiyima O and Mendel F. Inheritance of morphological characters and glycoalkaloids in potatoes of somatic hybrids between dihaploid *Solanum acaule* and tetraploid *Solanum Tuberosum*. J Agric Food Chem 47: 4478-4483, 1999.