

# 우리나라 토마토의 폴리페놀 및 플라보노이드 함량, 항산화활성 및 암세포 억제활성

## Polyphenol and Flavonoid Contents, Antioxidative and Cancer Cell Inhibitory Effects of Domestic Tomatoes

최석현

서원대학교 호텔외식조리학과

Suk-Hyun Choi(mosimosi21@seowon.ac.kr)

### 요약

본 연구는 국내산 토마토의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량, 항산화 활성 및 암세포 억제 활성을 알아보기 위해 수행되었다. Rafito, Momotaro 및 Medion 품종의 총 폴리페놀 함량은 각각  $10.44 \pm 1.84$ ,  $11.14 \pm 1.95$  및  $12.26 \pm 1.82$  mg/g(dry weight)이었으며 총 플라보노이드 함량은 각각  $3.62 \pm 0.57$ ,  $3.24 \pm 0.35$  및  $3.87 \pm 0.60$  mg/g이었다. DPPH 및 ABTS radical 소거활성을 측정한 결과 세가지 품종 모두 뚜렷한 radical 소거활성을 보여 항산화활성을 나타내었다. 정상세포주와 암세포주의 생육에 미치는 영향을 알아본 결과 세가지 품종 모두 정상 간세포(Chang)에 대해서는 세포독성이 없었고 폐암 세포(A549)에는 생육 억제 효과가 없었으나 자궁경부암세포(HeLa)와 간암세포(HepG2)에 대해서는 높은 수준의 생육억제 효과가 확인되었다. 본 연구를 통해 국내산 토마토의 생리활성 식품소재로서의 유용성이 검증되었다.

■ 중심어 : | 토마토 | 폴리페놀 | 플라보노이드 | 항산화 | 암세포 억제 |

### Abstract

This study was carried out for elucidating bioactive properties of three domestic tomato cultivars. Total polyphenol and flavonoid of Rafito, Momotaro and Medison were  $10.44 \pm 1.84$ ,  $11.14 \pm 1.95$ ,  $12.26 \pm 1.82$  and  $3.62 \pm 0.57$ ,  $3.24 \pm 0.35$ ,  $3.87 \pm 0.60$  mg/g(dry weight) respectively. Domestic tomatoes showed DPPH and ABTS radical scavenging activities. All of tomatoes had no cytotoxicity for normal liver cell, but showed remarkable growth inhibitory effect against cervical cancer cell and liver cancer cell. These results suggested that domestic tomatoes can be used as a bioactive food material.

■ keyword : | Tomatoes | Polyphenol | Flavonoid | Antioxidative Effect | Cancer Cell Inhibition |

## I. 서론

풍부한 영양소와 다양한 기능성 성분을 함유한 토마토는 우리나라뿐만 아니라 세계 각지에서 여러 품종이 재배되어 널리 소비되고 있다[1][2]. 토마토에는 다양한 아미노산, 비타민 및 무기질과 lycopene 및  $\beta$ -carotene

등의 유용성분이 풍부하게 함유되어 있다는 사실은 널리 알려져 있다[3-5]. 이러한 유용성분으로 인해 생과의 형태나 가공품으로 세계 각지에서 소비가 많은 채소 중의 하나이다. 아울러 토마토의 유용성을 밝히려는 연구가 유럽 등에서는 많이 진행되었다. 이를 통해 lycopene 과  $\beta$ -carotene의 항산화효과[6], LDL의 산화억제 효

과[7][8] 및 노화억제효과[9] 등이 밝혀졌다. 또한, 토마토의 장기간 섭취가 전립선암 억제 효과[10][11], 폐암 억제 효과[12] 등을 보인다는 보고가 다수 있다. 이와 같이 외국에서는 자국에서 생산되는 토마토를 대상으로 유용성을 검증하려는 시도가 폭넓게 이루어지고 있다.

우리나라에서도 다양한 토마토 품종이 육종되어 농가에 보급되어 있고 생과나 가공품의 형태로 소비가 많은 편이다. 우리나라 토마토의 카로티노이드와 폴리페놀 화합물 등 영양성분과 생리활성 성분을 분석한 결과 lycopene과  $\beta$ -carotene뿐만 아니라 zeaxanthin이나 rutin 등 생리활성 물질이 다수 존재함이 보고되어 있다[13][14]. 그러나 외국에 비하여 우리나라에서 재배되는 토마토의 생리활성 등 유용성에 관한 연구는 매우 부족한 실정이다. 그러므로 우리나라에서 재배되는 토마토의 식품소재로서의 가치를 규명하기 위해서는 항산화활성, 다양한 암세포에 대한 영향 등의 생리활성을 검증하는 것이 시급히 필요하다고 할 수 있다.

이를 위하여 본 연구에서는 우리나라에서 재배되는 3종의 토마토를 대상으로 폴리페놀 및 플라보노이드의 함량, 항산화효과 및 암세포 억제활성에 대해 알아보고자 하였다. 항산화활성은 DPPH와 ABTS에 의해 생성되는 free radical을 제거하는 능력을 측정하여 알아보았다. 그리고 정상세포, 폐암세포, 간암세포 및 자궁경부암세포에 대한 억제효과를 살펴봄으로써 세포독성과 암세포 억제활성을 알아보았다. 본 연구의 결과는 우리나라에서 재배되는 토마토의 유용성을 검증하여 식품학적 가치와 활용성을 높이는데 기여 할 것으로 기대된다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험 재료

국내에서 생산되는 Rafito, Momotaro 및 Medison 3종의 토마토를 부여 토마토시험장(Chung-Nam, Korea)으로부터 제공받아 실험 재료로 사용하였다. Hel299(정상 폐 세포주), A549(폐암 세포주), HeLa(자궁경부암 세포주) 및 HepG2(간암 세포주) 등 세포주는 American Type Culture Collection (Rockville, MD, USA)으로부터 구입하였으며  $\alpha$ -MEM, RPMI

1640 등 배지 및 시약은 Gibco BRL (Life technologies, Cergy-Pontoise, France)로부터 구입하여 사용하였다.

### 2. 토마토 건조물 제조

국내산 토마토 3종을 품종별로 10개씩 선별하여 과육을 약 1 cm 두께로 세절하여 동결건조기(model PVTFD 10R, Ilsinbiobase Co., Ltd. Korea)로 건조하였다. 건조 즉시 Wiley mill로(Model 4, Thomas Scientific, Swedesboro, USA) 분쇄하여 20 mesh 체로 걸러 토마토 건조물을 제조하였다. 흡습을 차단하기 위하여 약 1 g씩 분취하여 데시케이터에 실리카겔을 넣고  $-20^{\circ}\text{C}$  이하에서 보관하며 실험에 사용하였다.

### 3. 총 폴리페놀 정량

토마토 품종별 건조물 100 mg을 삼각플라스크에 넣고 80%(v/v) 메탄올 50 mL를 첨가하여  $30^{\circ}\text{C}$  초음파 수조에서 60분간 폴리페놀 성분을 추출하였다. 추출물을  $0.45\ \mu\text{m}$  nylon filter (Millipore, Bedford, MA, USA)로 여과한 후 여과액을 메스실린더로 옮겨 80%(v/v) 메탄올을 가하여 50 mL로 정용하여 추출액을 제조하고 폴리페놀 정량에 사용하였다.

폴리페놀의 함량은 Rha 등의 방법[15]으로 측정하였다. 추출액 1 mL를 10%(w/v)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  용액에 넣고 상온에서 2분간 방치 한 후 Folin ciocalteus reagent 0.5 mL와 증류수 7 mL를 첨가하여 1시간 동안 발색시켜 700 nm에서 흡광도를 측정하였다. 정량을 위해 gallic acid를 표준물질로 사용하여 검량선을 얻어 추출물의 폴리페놀 함량을 정량하였다.

### 4. 플라보노이드 정량

국내산 토마토의 플라보노이드 함량을 정량하기 위해서 상기의 폴리페놀 정량을 위한 추출방법과 동일하게 플라보노이드 추출물을 제조하였다.

플라보노이드 함량은 Dewanto 등의 방법[16]을 기초로하여 정량하였다. 60%(v/v) 에탄올 8 mL에 0.2 mL의 5%(w/v)  $\text{NaNO}_2$ 와 1 mL의 추출액을 차례로 첨가하여 6분간 반응시켰다. 반응액에 0.2 mL의 10%(w/v)  $\text{AlCl}_3$ 를 가하여 6분간 유지한 후 0.6 mL의

4%(w/v) NaOH로 반응을 종료시켰다. 반응액을 415 nm에서 흡광도를 측정하여 플라보노이드 함량을 정량하였다. Quercetin을 표준물질로 사용하여 검량선을 작성하여 토마토 추출액의 플라보노이드 함량을 정량하였다.

## 5. 항산화 활성 측정

토마토 품종별 항산화 활성을 측정하기 위해 토마토 건조물을 상기의 폴리페놀 및 플라보노이드 정량을 위한 추출법과 동일하게 추출하였다. 추출액을 감압 농축기(EYELA N-1110, Rikakikai Co. Ltd., Tokyo, Japan)에서 약 2 ~ 3 mL로 농축 한 후 10 mL vial에 옮겨 동결건조를 통해 추출 건조물을 제조하였다.

항산화 활성은  $\alpha$ - $\alpha$ -Diphenyl- $\beta$ -picrylhydrazyl (DPPH)와 2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid(ABTS)에 의해 생성되는 free radical을 소거하는 능력을 측정하여 검증하였다.

### 5.1 DPPH 라디칼 소거활성 측정

DPPH 라디칼소거활성(DPPH radical scavenging activity, DSA)은 Brand-Williams 등의 방법[17]을 기초로하여 측정하였다. 토마토 추출 건조물을 각각 50, 100, 250, 500  $\mu$ g/mL 농도로 80%(v/v) 메탄올로 희석하였다. 0.2 mL의 0.15 mM  $\alpha$ - $\alpha$ -Diphenyl- $\beta$ -picrylhydrazyl(DPPH)에 농도별 토마토 추출 건조 희석액 0.8 mL를 혼합 하여 상온에서 30분간 반응시켜 즉시 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 음성 대조군(blank)으로 80%(v/v) 메탄올을 사용하였고 토마토 추출 건조 희석액 처리시 흡광도 감소를 측정하여 DPPH 라디칼소거활성을 산출하였다. 품종별로 DPPH free radical을 50% 감소시키는 토마토 추출 건조 희석액의 농도를 RC50으로 정의하여 비교하였다.

### 5.2. ABTS 라디칼소거활성 측정

ABTS 라디칼소거활성(ABTS radical scavenging activity, ASA)은 Re 등의 방법[18]을 기초로하여 측정하였다. 7 mM의 ABTS 수용액과 2.45 mM potassium persulfate를 혼합하여 상온, 암소에서 24 시간동안 안정화시켜 ABTS+•용액을 제조하였다. 안정

화된 ABTS+•용액에 0.1 M phosphate buffer (pH 7.4)를 첨가하여 732 nm에서 흡광도가 0.7이 되도록 조정하여 표준용액을 제조하였다. 토마토 추출 건조물에 DMSO를 가하여 각각 50, 100, 250, 500  $\mu$ g/mL의 토마토 추출 건조 희석액을 제조하였다. ABTS+•표준용액 990  $\mu$ L에 토마토 추출 건조 희석액 10  $\mu$ L를 첨가하고 1분간 반응시켜 732 nm에서 흡광도를 측정하였다. 음성 대조군으로 DMSO(blank)를 사용하였고 토마토 추출 건조 희석액을 처리하였을 때 흡광도의 감소를 측정하여 ABTS 라디칼 소거활성을 알아보았다. 토마토 품종별로 ABTS+•을 50% 감소시키는 토마토 추출 건조 희석액의 농도를 RC50으로 정의하여 비교하였다.

## 6. 암세포 억제활성 측정

국내에서 재배되는 3종의 토마토의 A549(폐암세포주), HeLa(자궁경부암 세포주), HepG2(간암세포주) 등 암세포의 생육에 대한 억제 효과를 MTT assay를 통해 알아보았다. 정상세포에 대한 독성을 검증하기 위해 정상 간 세포주인 Chang 세포의 생육 저해 효과에 대해서도 알아보았다. 항산화활성을 검증하기 위해 사용한 추출 건조 방법으로 토마토 추출 건조물을 제조한 후 DMSO를 사용하여 각각 10, 50, 100  $\mu$ g/mL 농도로 희석하여 토마토 추출 건조 희석액 시료를 제조하였다. 암세포주 및 정상세포주를  $\alpha$ -MEM 또는 RPMI 1640 배지에 10% fetal bovine serum과 1% Penicillin/Streptomycin을 혼합하여 37°C, 5% CO<sub>2</sub> 조건에서 CO<sub>2</sub> incubator(MCO-20 AIC, Sanyo, San Diego, California, USA)에서 배양하였다. 배양된 세포주가 약 1 x 10<sup>5</sup> cell/well이 되도록 조정된 후 100  $\mu$ L씩 96 well plate에 분주하였다. 세포주가 분주된 각 well에 농도별로 희석된 토마토 추출 건조 희석액 시료를 10  $\mu$ L씩 넣고 37°C, 5% CO<sub>2</sub> 조건에서 24 시간 배양하였다. 배양액에 50  $\mu$ L MTT solution(0.1 mg/mL)을 각 well에 첨가하고 37°C에서 4시간 유지한 후 100  $\mu$ L의 DMSO를 넣고 microplate reader(Spectra MAX 190, Molecular Devices, Sunnyvale, CA, USA)로 450 nm에서 흡광도를 측정하였다. 각 토마토 추출 건조 희석액(시료)의 세포주의 생육에 대한 영향은 DMSO(control)와 시료(sample) 처리

시 흡광도 차이를 다음식과 같이 산출하여 측정하였다.

$$\text{Inhibition rate(\%)} \\ = 100 \times (\text{Acontrol} - \text{Asample}) / \text{Acontrol}$$

토마토 품종별로 각 세포주의 생육을 50% 억제하는 토마토 추출 건조 희석액의 농도를 IC50으로 정의하여 비교하였다.

## 7. 통계분석

실험은 3회 이상 반복하였으며 결과는 평균  $\pm$  표준편차로 나타내었다. 통계분석을 위해 SPSS statistics(ver.25)를 사용하여 one-way ANOVA와 Duncan's multiple range test를 거쳤으며 신뢰수준 95%( $p < 0.05$ )에서 유의차를 검증하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 총 폴리페놀 함량

우리나라에서 재배되는 토마토 3종에 함유된 총 폴리페놀 화합물을 정량한 결과는 [Fig. 1]과 같았다. Rafito 품종, Momotaro 품종 및 Medison 품종의 폴리페놀 함량은 건조물 기준(dry weight)으로 각각  $10.44 \pm 1.84$  mg/g,  $11.14 \pm 1.95$  mg/g 및  $12.26 \pm 1.82$  mg/g이었다. 각 품종간의 총 폴리페놀 함량의 유의차를 95% 신뢰구간에서 검증한 결과 품종간 유의차는 인정되지 않았다.

외국산 토마토를 대상으로한 연구를 살펴보면 이탈리아에서 재배되는 토마토의 폴리페놀 함량을 정량한 결과  $4.43 \pm 0.39$  mg/g ~  $25.84 \pm 2.85$  mg/g으로 다양하게 분포하였으며 프랑스에서 재배되는 토마토의 폴리페놀을 분석한 결과 생과(fresh fruit) 100g에 평균  $268.0 \pm 10.7$  mg이 함유되어 있었다고 보고하였는데 이는 토마토의 평균 수분함량이 94%임을 감안하면 건조물 기준(dry weight)으로는 약 44.6 mg/g이 함유되어 있음을 알 수 있었다[19][20].

토마토의 품종이나 추출 방법의 차이에 따라 다소 차이가 있을 수 있으나 본 연구에 사용한 우리나라에서

재배되는 토마토에는 외국에서 재배된 토마토에 비해 비슷하거나 약간 낮은 수준의 폴리페놀이 함유되어 있음을 알 수 있었다.

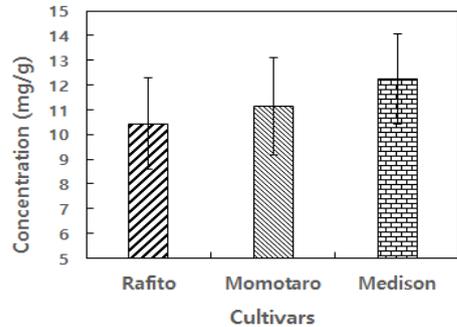


Fig. 1. Contents of total polyphenols in domestic tomatoes

### 2. 총 플라보노이드 함량

국내산 토마토 세가지 품종에 대해 총 플라보노이드 함량을 정량한 결과는 [Fig. 2]와 같았다. Rafito 품종, Momotaro 품종 및 Medison 품종의 폴리페놀 함량은 건조물 기준(dry weight)으로 각각  $3.62 \pm 0.57$  mg/g,  $3.24 \pm 0.35$  mg/g 및  $3.87 \pm 0.60$  mg/g이었다. 각 품종간의 총 폴리페놀 함량의 유의차를 95% 신뢰구간에서 검증한 결과 Rafito 품종과 Momotaro 품종은 유의차가 없었고 Medison 품종은 다른 두 품종에 비해 통계적으로 유의미하게 총 폴리페놀 함량이 높음을 알 수 있었다.

이탈리아에서 재배되는 토마토 품종의 총 플라보노이드 함량을 살펴보면  $0.13 \pm 0.01$  mg/g ~  $6.59 \pm 0.83$  mg/g을 보인다고 보고되어 있다[19]. 국내산 토마토 세가지 품종은 이탈리아산 토마토에 함유된 총 플라보노이드의 평균 함량과 비슷한 수준이었다. 또한, 국내산 토마토를 대상으로 한 다른 연구에 의하면 총 플라보노이드 함량이 생과를 기준으로(fresh weight) 토마토 100 g 당 6.56-10.93 mg이었다고 보고하였는데 이는 토마토의 일반적인 수분함량(94%)을 감안하면 건조물 기준으로는 플라보노이드 성분의 함량은 약 1.09 - 1.83 mg/g이었다[21]. 본 연구와 비교하면 총 플라보노이드 함량이 선행 연구에 비해 다소 높음을 알 수 있었다. 이와 같은 차이는 토마토 품종과

추출 방법의 차이에서 기인한 것으로 판단된다.

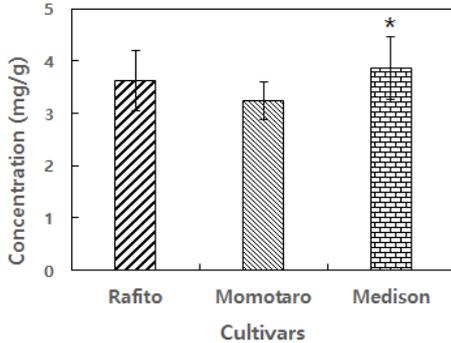


Fig. 2. Contents of total flavonoids in domestic tomatoes

\* indicate significant differences at  $p < 0.05$  by Duncan's multiple range test.

### 3. 항산화 활성

우리나라에서 재배된 토마토의 항산화 활성을 측정하기 위해 농도별로 희석된 추출 건조물의 DPPH radical scavenging activity(DSA)와 ABTS radical scavenging activity(ASA)를 알아본 결과는 [Fig. 3] 및 [Fig.4]와 같았다. 3종의 국내산 토마토 추출 건조물을 50, 100, 250, 500  $\mu\text{g/mL}$ 의 농도로 희석하여 DSA를 측정한 결과 세가지 품종 모두 추출 건조 희석액의 농도가 높아짐에 따라 95%( $p < 0.05$ ) 신뢰수준에서 유의미하게 DPPH radical을 감소시켰는데 500  $\mu\text{g/mL}$  농도의 추출 건조 희석액을 처리하였을 경우 최대  $51.36 \pm 0.68 \sim 59.40 \pm 0.89\%$ 의 DSA가 확인되었다. 품종간의 DSA의 차이를 알아보기 위해 DPPH radical을 50% 감소시키는 RC50을 비교하여 보았다[Table 1]. Rafito 품종, Momotaro 품종 및 Medison 품종의 DSA의 RC50 값은 각각  $493.50 \pm 18.58 \mu\text{g/mL}$ ,  $464.83 \pm 8.89 \mu\text{g/mL}$  및  $496.50 \pm 13.50 \mu\text{g/mL}$ 이었다. Rafito 품종과 Medison 품종은 95%( $p < 0.05$ ) 신뢰수준에서 유의차가 없었고 Momotaro 품종만 유의차가 있었다. 즉, Momotaro 품종이 Rafito 품종과 Medison 품종에 비해 RC50이 낮아 높은 항산화 활성(DSA)를 나타내었다.

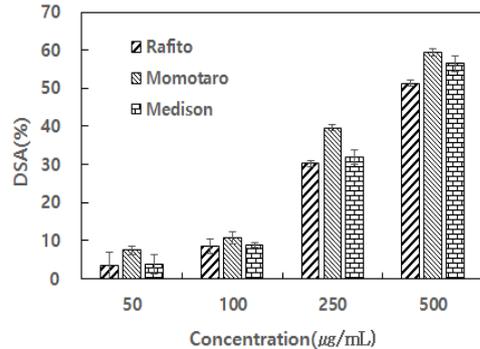


Fig. 3. DPPH radical scavenging activity(DSA) of three domestic tomatoes

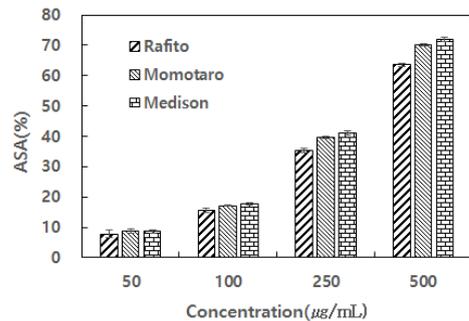


Fig. 4. ABTS radical scavenging activity(ASA) of three domestic tomatoes

다른 방법으로 국내산 토마토의 항산화 활성을 검증하기 위하여 토마토 추출 건조물을 50, 100, 250, 500  $\mu\text{g/mL}$ 의 농도로 희석하여 ASA를 측정한 결과

세가지 품종 모두 추출 건조 희석액의 농도가 높아짐에 따라 95%( $p < 0.05$ ) 신뢰수준에서 의미있게 ABTS radical을 감소시켜 항산화 활성이 있음을 알 수 있었다. 토마토 추출 건조 희석액을 500  $\mu\text{g/mL}$  농도로 처리하였을 경우 Rafito 품종, Momotaro 품종 및 Medison 품종이 각각  $63.53 \pm 0.56\%$ ,  $70.25 \pm 0.42\%$  및  $71.92 \pm 0.67\%$ 의 ASA를 보였다. 또한, 품종간 ASA의 차이를 비교하기 위해 ABTS radical을 50% 감소시키는 RC50을 알아본 결과 Rafito 품종, Momotaro 품종 및 Medison 품종의 ASA 측정시 RC50 값은 각각  $383.57 \pm 1.27 \mu\text{g/mL}$ ,  $343.36 \pm 0.49 \mu\text{g/mL}$  및  $333.90 \pm 1.87 \mu\text{g/mL}$ 이었다[Table 1]. 95%( $p < 0.05$ ) 신뢰수준에서 유의차를 알아보면 세가지 품종 모두 유

의차가 있었고 Medison 품종이 가장 낮은 RC50 값을 보여 ASA가 가장 높음을 알 수 있었다.

**Table 1. 50% radical reduction concentration(RC50) of three domestic tomatoes**

Cultivars	IC50( $\mu\text{g}/\text{mL}$ )	
	DSA	ASA
Rafito	493.50 $\pm$ 18.58 <sup>a</sup>	383.57 $\pm$ 1.27 <sup>a</sup>
Momotaro	464.83 $\pm$ 8.89 <sup>b</sup>	343.36 $\pm$ 0.49 <sup>b</sup>
Medison	496.50 $\pm$ 13.50 <sup>a</sup>	333.90 $\pm$ 1.87 <sup>c</sup>
<i>F-value</i>	4.534	1172.281

Values in the same column with different superscript letters are significantly different at  $p < 0.05$ .

이와같이 국내산 토마토의 항산화 활성을 알아보기 위해 세가지 품종의 토마토에 대해 DSA와 ASA를 측정하여 보았는데 세가지 품종 모두 항산화 활성이 있음이 확인되었다.

#### 4. 암세포 억제 활성

우리나라에서 재배된 토마토가 정상세포와 암세포의 생육에 미치는 영향을 알아 본 결과는 [Table 2]와 같았다. 정상 세포에 대한 독성을 알아보기 위해 정상 간세포주인 Chang 세포주에 토마토 추출 건조물을 농도별로 처리하였고 폐암 세포주, 자궁경부암 세포주 및 간암 세포주에 토마토 추출 건조물을 농도별로 처리하여 생육 저해 효과를 살펴보았다.

토마토 추출 건조물을 Chang 세포주에 10, 50, 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$  농도로 처리한 결과 Rafito와 Momotaro 품종에서 미약한 생육 저해 효과가 있었고 Medison 품종에서는 생육 저해 효과가 확인되지 않았다. 토마토 추출 건조물을 10, 50, 100  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 의 농도로 A549 세포주(폐암세포), HeLa 세포주(자궁경부암세포), HepG2 세포주(간암세포)에 처리하였을 경우 A549 세포주에 대해서는 Rafito 품종이 약한 생육 저해 효과를 보였으나 Momotaro 및 Medison 품종은 생육 저해 효과를 확인할 수 없었다. HeLa 세포주에 대해서는 세가지 품종 모두 뚜렷한 생육 저해 효과를 보였다. 또한 HepG2 세포주에 대해서도 세가지 품종 모두 생육 저해 효과를 보였다.

암세포에 대한 토마토 추출 건조물의 생육 억제 효과

를 정량적으로 알아보기 위해 세포의 생육을 50% 저해하는 농도인 IC50을 알아본 결과는 [Table 3]과 같았다. 정상 간세포주인 Chang 세포주에 대한 토마토 추출 건조물의 IC50은 Rafito와 Momotaro 품종의 경우 500  $\mu\text{g}/\text{mL}$  이상으로 추정되어 생육 억제 활성이 매우 미약하거나 없었으며 Medison 품종은 생육 억제 효과가 나타나지 않아 정상세포에 대한 세포 독성은 거의 없는 것으로 판단된다. 폐암세포주인 A549에 대해서는 세가지 품종 모두 IC50이 500  $\mu\text{g}/\text{mL}$  이상이었으며 세포주에 대한 생육 억제 효과는 매우 미약함을 알 수 있었다. 자궁경부암세포주인 HeLa에 대해서는 Rafito, Momotaro 및 Medison 품종의 IC50이 각각 241.45 $\pm$ 55.21  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 300.53 $\pm$ 84.13  $\mu\text{g}/\text{mL}$  및 196.94 $\pm$ 46.45  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 나타나 세가지 품종 모두 강한 생육 억제 효과를 보였다. 그러나 95%( $p < 0.05$ ) 신뢰수준에서 세가지 품종간의 유의차는 인정되지 않아 HeLa 세포주에 대한 품종간 생육 억제 효과는 비교할 수 없었다. 선행연구에서 토마토 박(tomato waste) 추출물을 25 mg/mL의 고농도로 처리하였을 경우 HeLa 세포주에 대해 80% 이상 생육 억제 효과를 보였다는 보고[22]가 있는데 국내산 토마토 세가지 품종은 이에 비해 HeLa 세포주에 대해 강한 생육 억제 활성을 나타냄을 알 수 있었다.

또한, 간암세포주인 HepG2에 대해서는 Rafito, Momotaro 및 Medison 품종의 IC50이 각각 470.74 $\pm$ 196.18  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , 293.03 $\pm$ 34.68  $\mu\text{g}/\text{mL}$  및 250.83 $\pm$ 69.28  $\mu\text{g}/\text{mL}$ 으로 세가지 품종 모두 생육 억제 효과가 관찰되었는데 95%( $p < 0.05$ ) 신뢰수준에서 세가지 품종간의 유의차는 인정되지 않아 품종간의 생육 억제 활성의 강도는 비교할 수 없었다.

이와 같이 국내에서 생산되는 3종의 토마토 추출 건조물의 정상세포와 암세포에 대한 생육 억제 활성을 알아본 결과 세가지 품종 모두 정상세포에 대해서는 생육 억제 활성을 나타내지 않아 세포독성은 관찰되지 않았고 자궁경부암세포주인 HeLa와 간암세포주인 HepG2에 대해서는 세가지 품종 모두 생육 저해 활성을 보임을 확인 할 수 있었다.

Table 2. Growth inhibitory effect on normal and cancer cells by domestic tomato cultivars

Cultivars	Concentration (μg/mL)	Growth inhibition rate(%)			
		Chang	A549	HeLa	HepG2
Rafito	10	-5.32±6.32	1.57±0.85	-7.22±2.99	-0.58±6.14
	50	-2.90±2.70	2.73±1.34	9.69±2.18	5.26±3.17
	100	-1.94±1.61	7.47±2.79	15.64±4.89	10.84±1.86
Momotaro	10	-5.38±4.17	-18.78±9.21	3.12±6.75	19.04±1.65
	50	-1.12±2.07	-10.48±5.28	10.18±0.77	24.26±1.47
	100	2.67±2.38	-7.25±3.16	18.82±1.06	29.01±0.65
Medison	10	-2.71±6.02	-12.15±7.47	2.78±2.84	-10.62±2.10
	50	-0.36±1.41	-7.75±2.79	14.10±0.82	10.28±5.50
	100	-1.18±3.14	3.09±1.85	26.91±5.89	12.47±7.05

Table 3. 50% cell growth inhibitory concentration (IC50) of domestic tomato cultivars

Cultivars	IC50(μg/mL)			
	Chang	A549	HeLa	HepG2
Rafito	> 500 <sup>1)</sup>	> 500	241.45±55.21	470.74±196.18
Momotaro	> 500	> 500	300.53±84.13	293.03±34.68
Medison	- <sup>2)</sup>	> 500	196.94±46.45	250.83±69.28
<i>F-value</i>			1.987	2.755

1) IC50 is higher than 500 μg/mL.

2) means no inhibitory effect on growth of cell lines. Values in the same column show no significant differences at p<0.05.

#### IV. 결론

토마토에는 다양한 아미노산, 비타민 및 무기질과 lycopene 및 β-carotene 등의 유용성분이 풍부하게 함유되어 있다. 이로 인해 세계 각지에서 생과뿐만 아니라 가공품의 형태로 많이 소비되고 있다. 외국에서는 토마토의 유용성을 밝히려는 연구가 활발하게 진행되어 토마토의 항산화효과, LDL의 산화억제 효과, 노화억제효과, 전립선암 억제 효과, 폐암 억제 효과 등이 보고되어 있다. 그러나 국내에서 재배되는 토마토에 대해서는 이러한 연구가 다소 부족한 실정인데 본 연구에서는 국내에서 재배되는 토마토 세가지 품종(Rafito, Momotaro 및 Medison)을 대상으로 폴리페놀 및 플라보노이드의 함량, 항산화효과 및 암세포 억제활성에 대해 검증해 보았다.

Rafito 품종, Momotaro 품종 및 Medison 품종의 총 폴리페놀 함량은 건조물 기준(dry weight)으로 각각 10.44±1.84 mg/g, 11.14±1.95 mg/g 및 12.26±1.82 mg/g이었는데 이탈리아에서 재배되는

토마토의 평균 폴리페놀 함량(4.43±0.39 mg/g ~ 25.84±2.85 mg/g)과 비슷한 수준이거나 프랑스에서 재배되는 토마토의 폴리페놀 함량(44.6 mg/g)에 비해서는 낮았다.

총 플라보노이드 함량을 측정한 결과 Rafito 품종, Momotaro 품종 및 Medison 품종의 폴리페놀 함량은 건조물 기준(dry weight)으로 각각 3.62±0.57 mg/g, 3.24±0.35 mg/g 및 3.87±0.60 mg/g이었는데 이는 이탈리아산 토마토의 평균 플라보노이드 함량(0.13±0.01 mg/g ~ 6.59±0.83 mg/g)과 유사하였다.

국내산 토마토의 항산화 활성을 DPPH radical scavenging activity(DSA)와 ABTS radical scavenging activity(ASA)를 측정하여 알아보았다. 토마토 추출 건조물을 50, 100, 250, 500 μg/mL의 농도로 희석하여 처리한 결과 세가지 품종 모두 추출 건조 희석액의 처리 농도가 높아짐에 따라 95%(p<0.05) 신뢰수준에서 DPPH radical과 ABTS radical을 감소시켰다. 토마토 추출 건조물을 500 μg/mL의 농도로 처리한 결과 DPPH radical을 51.36±0.68 ~ 59.40±0.89%까지 감소시켰고 ABTS radical을 63.53±0.56% ~ 71.92±0.67% 감소시켜 항산화 활성을 있음을 확인할 수 있었다.

국내산 토마토 추출 건조물이 정상세포와 암세포주의 생육에 미치는 영향을 측정하여 세포 독성과 암세포 억제 활성을 알아 보았다. 국내산 토마토 세가지 품종 모두 정상 간세포주인 Chang 세포주에 대해서는 생육 억제 활성이 없어 세포 독성이 없는 것으로 확인되었다. 암세포에 대한 영향은 세가지 품종 모두 폐암 세포주인 A549 세포주의 생육 억제 효과는 보이지 않았으나 HeLa 세포주(자궁경부암 세포), HepG2 세포주(간

암 세포)에 대해서는 뚜렷한 생육 억제 활성을 나타내었다. HeLa 세포주에 대해서는 Rafito, Momotaro 및 Medison 품종의 IC50이 각각  $241.45 \pm 55.21 \mu\text{g/mL}$ ,  $300.53 \pm 84.13 \mu\text{g/mL}$  및  $196.94 \pm 46.45 \mu\text{g/mL}$ 이었고 HepG2에 대해서는 Rafito, Momotaro 및 Medison 품종의 IC50이 각각  $470.74 \pm 196.18 \mu\text{g/mL}$ ,  $293.03 \pm 34.68 \mu\text{g/mL}$  및  $250.83 \pm 69.28 \mu\text{g/mL}$ 이었다.

본 연구를 통해 국내에서 재배되는 세가지 토마토 품종의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 정량되었고 토마토 추출물의 항산화 활성이 검증되었다. 또한, 토마토 추출 건조물의 HeLa 세포주(자궁경부암 세포) 및 HepG2 세포주(간암 세포)에 대한 생육 억제 활성도 확인되었다.

이와 같은 결과를 통해 국내산 토마토의 유용성이 검증되었고 생리활성 식품 소재로서의 가치가 확인되었다. 다만, 본 연구에서는 세가지 품종의 국내산 토마토를 대상으로 연구를 수행하였는데 국내에서 재배되는 토마토의 유용성을 보다 폭 넓게 검증하기 위해서는 보다 많은 품종에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] J. N. Davies and G. E. Hobson, "Constituents of tomato fruit - the influence of environment, nutrition, and genotype," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Vol.15, No.3, pp.205-280, 1981.
- [2] M. Friedman, "Tomato glycoalkaloids : role in the plant and in the diet," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol.50, No.21, pp.5751-5780, 2002.
- [3] H. B. Lee, C. B. Yang, and T. J YU, "Studies on the chemical composition of some fruit vegetables and fruits in Korea(I)," *Korean Journal of Food Science and Technology*, Vol.4, No.1, pp.36-43, 1972.
- [4] M. S. Lenucci, D. Cadinu, M. Taurino, G. Piro, and G. Dalessandro, "Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol.54, No.7, pp.2606-2613, 2006.
- [5] S. H. Choi, S. H. Lee, H. J. Kim, I. S. Lee, N. Kozukue, C. E. Levin, and M. Friedman, "Changes in free amino acid, phenolic, chlorophyll, carotenoid, and glycoalkaloid contents in tomatoes during 11 stages of growth and inhibition of cervical and lung human cancer cells by green tomato extracts," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol.58, No.13, pp.7547-7556, 2010.
- [6] L. Frusciante, P. Carli, M. R. Ercolano, R. Pernice, A. Di Matteo, V. Fogliano, and N. Pellegrini, "Antioxidant nutritional quality of tomato," *Molecular Nutrition & Food Research*, Vol.51, No.5, pp.609-617, 2007.
- [7] S. Oshima, F. Ojima, H. Sakamoto, Y. Ishiguro, and J. Terao, "Supplementation with carotenoids inhibits singlet oxygen-mediated oxidation of human plasma low-density lipoprotein," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol.44, No.8, pp.2306-2309, 1998.
- [8] W. Stahl, U. Heinrich, S. Wiseman, O. Eichler, H. Sies, and H. Tronnier, "Dietary tomato paste protects against ultraviolet light-induced erythema in human," *The Journal of Nutrition*, Vol.131, No.5, pp.1449-1451, 2001.
- [9] J. A. Mares-Perlman, A. I. Fisher, R. Klein, M. Patla, G. Block, A. E. Millen, and J. D. Wright, "Lutein and zeaxanthin in the diet and serum and their relation to age-related maculopathy in the third national health and nutrition examination survey," *American Journal of Epidemiology*, Vol.153, No.5, pp.424-432, 2001.
- [10] G. Edward, B. R. Eric, L. Yan, J. S. Meir, and C. W. Walter, "A prospective study of tomato products, lycopene and prostate cancer risk," *Journal of the National Cancer Institute*, Vol.94, No.5, pp.391-398, 2002.
- [11] E. Giovannucci, "Tomato products, lycopene, and prostate cancer: A review of the epidemiological literature," *The Journal of Nutrition*, Vol.135, No.8,

pp.2030S-2031S, 2005.

[12] P. Polazza, R. E. Simone, A. Catalano, and M. C. Mele, "Tomato lycopene and lung cancer prevention: From experimental to human studies," *Cancers*, Vol.3, No.2, pp.2333-2357, 2011.

[13] H. K. Kim, J. H. Chun, and S. J. Kim, "Method development and analysis of carotenoid compositions in various tomatoes," *Korean Journal of Environmental Agriculture*, Vol.34, No.3, pp.196-203, 2015.

[14] J. B. Ahn, "Characterization of lycopene,  $\beta$ -carotene and phenolic compounds of domestic cherry tomato cultivars," *Food Engineering Progress*, Vol.22, No.1, pp.9-16, 2018.

[15] Y. A. Rha, M. S. Choi, and S. J. Park, "Antioxidant and anti-adipogenic effects of fermented *Rhus verniciflua*," *Korean Journal of Culinary Research*, Vol.20, No.3, pp.137-147, 2014.

[16] V. Dewanto, X. Wu, K. K. Adom, and R. H. Liu, "Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol.50, No.10, pp.3010-3014, 2002.

[17] W. Brand-Williams, M. E. Cuvelier, and C. Berset, "Use of a free radical method of evaluates antioxidant activity," *LWT-Food Science and Technology*, Vol.28, No.1, pp.25-30, 1995.

[18] R. Re, N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang, and C. Rice-Evans, "Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay," *Free Radical Biology & Medicine*, Vol.26, No.9/10, pp.1231-1237, 1999.

[19] M. Minogioia, L. Bramatia, P. Simonettib, C. Gardanab, L. Iemolia, E. Santangelod, P. L. Mauria, P. Spignoe, G. P. Soressic, and P. G. Pietta, "Polyphenol Pattern and Antioxidant Activity of Different Tomato Lines and Cultivars," *Annals of Nutrition & Metabolism*, Vol.47, No.2, pp.64-69, 2003.

[20] S. George, F. Tourniaire, H. Gautier, P. Goupy, E. Rock, and C. Caris-Veyrat, "Changes in the contents of carotenoids, phenolic compounds and vitamin C during technical processing and

lyophilisation of red and yellow tomatoes," *Food Chemistry*, Vol.124, No.4, pp.1603-1611, 2011.

[21] H. S. Na, J. Y. Kim, S. H. Yun, H. J. Park, G. C. Choi, S. I. Yang, J. H. Lee, and J. Y. Gho, "Phytochemical contents of agricultural products cultivated by region," *Korean Journal of Food Preservation*, Vol.20, No.4, pp.451-458, 2013.

[22] G. Cetkovic, S. Savatovic, J. Canadanovic-Brunet, S. Djilas, J. Vulic, A. Mandic, and D. Cetojevic-Simin, "Valorisation of phenolic composition, antioxidant and cell growth activities of tomato waste," *Food Chemistry*, Vol.133, No.3, pp.938-945, 2012.

#### 저 자 소 개

최 석 현(Suk-Hyun Choi)

정희원



- 2002년 3월 : 교토외국어대학 일본어학과(문학사)
- 2004년 2월 : 영남대학교 가정학과(생활과학석사)
- 2008년 2월 : 위덕대학교 외식산업학과 기능성식품분석전공(이학박사)
- 2013년 3월 : 고베대학교 농학연구과 기능성생명과학전공(농학박사)
- 2003년 9월 ~ 2008년 8월 : 호산대학교 호텔외식조리학과 교수
- 2008년 9월 ~ 현재 : 서원대학교 호텔외식조리학과 교수 <관심분야> : 기능성식품, 생리활성, 생명과학, 분석화학