

국내산 방울토마토의 생리활성 효과

Bioactive Effects of Domestic Cherry Tomatoes

최석현

서원대학교 호텔외식조리학부

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

요약

본 연구에서는 국내산 방울토마토의 폴리페놀 및 플라보노이드 함량, 항산화 활성 및 암세포 억제 활성을 알아보았다. Summerking, Qutiquti 및 Minichal 품종의 총 폴리페놀 함량은 각각 12.56 ± 1.88 mg/g, 12.50 ± 1.92 mg/g 및 11.65 ± 1.85 mg/g, 총 플라보노이드 함량은 각각 4.58 ± 1.03 mg/g, 4.19 ± 0.40 mg/g 및 4.30 ± 0.49 mg/g이었다. DPPH 및 ABTS radical 소거활성 측정을 통한 항산화 활성 측정 결과 모두 뚜렷한 항산화활성을 나타내었다. 암세포 억제 활성을 알아본 결과 세가지 품종 모두 정상 간세포(Chang)에 대한 세포독성은 관찰되지 않았고 자궁경부암세포(HeLa)에 대해서는 강한 억제 활성을 보였다. 간암세포(HepG2)에 대해서도 생육억제 효과가 확인되었다. 본 연구를 통해 국내산 방울토마토의 생리활성 식품소재로서의 유용성이 밝혀졌다.

■ 중심어 : 방울토마토 | 생리활성 | 페놀성 화합물 | 항산화 | 암세포 억제

Abstract

This study was carried out to elucidate bioactive effects of three domestic cherry tomato cultivars. Total polyphenol and flavonoid of Summerking, Qutiquti, and Minichal cultivar were 12.56 ± 1.88 , 12.50 ± 1.92 , 11.65 ± 1.85 mg/g and 4.58 ± 1.03 , 4.19 ± 0.40 , 4.30 ± 0.49 mg/g(dry weight) respectively. Domestic cherry tomatoes showed antioxidative activity(DPPH and ABTS radical scavenging activities). All of the cherry tomatoes had no cytotoxicity for normal liver cell, but showed strong inhibitory effect against cervical cancer cell(HeLa) growth. These results revealed that domestic cherry tomatoes can be used as a bioactive food material.

■ keyword : Cherry Tomatoes | Bioactive | Phenolic Compound | Antioxidative Effect | Cancer Cell Inhibition

I. 서론

토마토는 우리나라뿐만 아니라 세계 각지에서 재배되는 대표적인 채소이며 생과뿐만 아니라 퓨레나 케첩 등 다양한 가공식품의 형태로 소비되고 있다[1][2]. 토마토는 라이코펜, β -carotene 등 생리활성 물질을 포

함하고 있으며[3-5] 전립선암 억제효과[6][7], LDL 산화억제[8], 항산화효과[9][10] 및 폐암 억제 효과[11] 등이 알려져 있다.

토마토는 크기가 다소 큰 일반토마토와 크기가 작은 방울토마토로 구분되는데 최근에 국내에서 다양한 품종의 방울토마토가 육종되어 재배되고 있다[12]. 세계

적으로 일반토마토의 생리활성 효과에 대해서는 상기와 같이 많은 연구가 수행되었으나 방울토마토의 생리활성 효과에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다. 국내에서 방울토마토는 대부분 생과용으로 소비되고 있는데 방울토마토의 부가가치와 활용성을 높이기 위해서는 생식용 이외에 다양한 가공식품으로 활용하는 것이 필요할 것으로 판단된다. 이를 위해서는 국내에서 재배되는 방울토마토의 생리활성 효과에 대한 다양한 연구를 통해 식품학적 가치를 규명하는 것이 중요하리라 생각된다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 재배되는 세가지 품종의 방울토마토의 폴리페놀 및 플라보노이드 등 생리활성 물질의 함량과 항산화효과 및 암세포 억제활성 등 생리활성 효과에 대해 알아보았다. 본 연구를 통해 국내에서 재배되는 방울토마토의 생리활성을 검증하여 식품학적 가치가 규명되었으며 본 연구의 결과는 방울토마토가 생식용뿐만 아니라 다양한 가공식품으로 널리 활용될 수 있도록 하는데 기여 할 것으로 기대된다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 재료

실험에 사용된 국내산 방울토마토 품종은 Summerking, Qutiquiti 및 Minichal이었으며 부여 토마토시험장 (Chung-Nam, Korea)으로부터 얻어 실험에 사용하였다. 암세포 억제 활성을 규명하기 위해 사용된 정상 폐 세포주(Hel299), 폐암 세포주(A549), 자궁경부암 세포주(HeLa) 및 간암 세포주(HepG2) 등은 American Type Culture Collection (Rockville, MD, USA)으로부터 구입하여 사용하였다.

2. 방울토마토 건조 및 추출

방울토마토를 품종별로 10개씩 선발하여 꼭지를 제거하고 과육을 얇게 썰어 동결건조기(model PVTFD 10R, Ilsinbiobase Co., Ltd. Korea)로 건조하였다. 건조 후 Wiley mill(Model 4, Thomas Scientific, Swedesboro, USA)로 즉시 분쇄하여 토마토 건조물을 제조하였다. 동결건조된 방울토마토 건조물은 흡습성이

매우 강하므로 가급적 건조 즉시 실험에 사용하였고 보관이 필요한 경우 약 1 g씩 분취하여 실리카겔이 포함된 데시케이터에 넣고 -20°C 이하에서 보관하였다.

방울토마토의 폴리페놀 및 플라보노이드 등 페놀성 화합물의 정량을 위해서 건조물을 80%(v/v) 메탄올로 추출하였다. 품종별 방울토마토 건조물 0.1 g에 80%(v/v) 메탄올을 50 mL를 첨가하여 30°C 초음파 수조에서 60분간 추출하였다. 추출물을 나일론 필터 ($0.45\ \mu\text{m}$, Millipore, Bedford, MA, USA)로 여과하고 여과액에 80%(v/v) 메탄올을 가하여 메스실린더에서 50 mL로 정용하여 추출액을 제조하였다.

3. 페놀성 화합물의 정량

국내산 방울토마토의 생리활성 물질의 분포를 알아보기 위해 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량을 정량하였다.

총 폴리페놀 함량의 측정은 Rha 등의 방법[13]을 따랐다. 10%(w/v) Na_2CO_3 용액에 방울토마토 추출액 1 mL를 넣고 상온에서 2분간 방치하였다. 이후 Folin ciocalteus reagent 0.5 mL와 증류수 7 mL를 가하여 1시간 반응시켜 700 nm에서 흡광도를 측정하였다. Gallic acid를 표준물질로 사용하여 검량선을 얻어 추출물의 총 폴리페놀 함량을 정량하였다.

총 플라보노이드 함량은 Dewanto 등의 방법[14]을 변형하여 정량하였다. 즉, 60%(v/v) 에탄올 8 mL에 5%(w/v) NaNO_2 0.2 mL와 방울토마토 추출액 1 mL를 차례로 첨가하여 6분간 반응시켰다. 이후 0.2 mL의 10%(w/v) AlCl_3 를 가하여 6분 후 0.6 mL의 4%(w/v) NaOH 로 반응을 종료시켜 415 nm에서 흡광도를 측정함으로써 플라보노이드 함량을 정량하였다. Quercetin을 표준물질로 사용하여 검량선을 얻어 추출물의 플라보노이드 함량을 정량하였다.

4. 항산화활성 측정

국내산 방울토마토 품종별 항산화활성은 α - α -diphenyl- β -picrylhydrazyl(DPPH)에 의해 생성되는 free radical을 소거하는 능력인 DPPH 라디칼소거 활성(DPPH radical scavenging activity, DSA)과 2,2'-azinobis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulphon

ic acid(ABTS)에 의해 생성되는 free radical을 소거하는 능력인 ABTS 라디칼소거활성(ABTS radical scavenging activity, ASA) 측정하여 알아보았다. 항산화활성 측정을 위한 시료는 상기의 방울토마토 건조 추출액을 감압 농축기(EYELA N-1110, Rikakikai Co. Ltd., Tokyo, Japan)로 최대한 농축 한 후 10 mL vial에 옮겨 동결 건조하여 제조하였다.

DPPH 라디칼소거활성(DSA)은 Brand-Williams 등의 방법[15]을 따라 측정하였다. 방울토마토 추출액 동결건조물을 각각 50, 100, 250, 500 $\mu\text{g/mL}$ 농도로 80%(v/v) 메탄올로 희석하여 농도별 시료를 제조하였다. 0.2 mL의 0.15 mM DPPH에 농도별 방울토마토 시료 0.8 mL를 혼합하였다. 상온에서 30분간 반응시킨 후 517 nm에서 흡광도를 측정하였는데 음성 대조군(blank)으로 80%(v/v) 메탄올을 사용하였고 시료 처리시 흡광도의 감소를 측정하여 DPPH 라디칼소거활성을 산출하였다. 품종별로 DPPH free radical을 50% 감소시키는 시료의 농도를 RC_{50} 으로 정의하였다.

ABTS 라디칼소거활성(ASA)은 Re 등의 방법[16]을 따라 측정하였다. 7 mM의 ABTS 수용액과 2.45 mM potassium persulfate를 혼합하여 24시간동안 안정화시켜 ABTS radical cation(ABTS^+)용액을 제조하였다. ABTS^+ 용액에 1 M phosphate buffer(pH 7.4)를 첨가하여 732 nm에서 흡광도가 0.7이 되도록 조정하여 표준용액을 제조하였다. 방울토마토 추출액 동결건조물에 DMSO(dimethyl sulfoxide)를 가하여 각각 50, 100, 250, 500 $\mu\text{g/mL}$ 의 농도별 시료를 제조하였다. ABTS^+ 표준용액 990 μL 에 농도별 시료 10 μL 를 첨가하고 1분간 반응시켜 732 nm에서 흡광도를 측정하였는데 음성 대조군으로 DMSO를 사용하였고 농도별 시료를 처리하였을 때 흡광도의 감소를 측정하여 ABTS 라디칼소거활성을 알아보았다. 방울토마토 품종별로 ABTS^+ 을 50% 감소시키는 시료의 농도를 RC_{50} 으로 정의하여 비교하였다.

5. 암세포 억제활성 측정

국내산 방울토마토 세가지 품종의 암세포 억제활성은 MTT assay를 통해 알아보았다. 암세포주로는 A549(폐암세포주), HeLa(자궁경부암 세포주), HepG2

(간암세포주)를 사용하였고 세포 독성을 검증하기 위해 정상 간 세포주인 Chang 세포주를 사용하였다. 방울토마토 품종별 시료는 상기의 항산화활성 측정을 위해 사용한 방법과 동일한 방법으로 제조하였고 DMSO를 사용하여 각각 10, 50, 100 $\mu\text{g/mL}$ 농도로 희석하였다.

세포주는 α -MEM 또는 RPMI 1640 배지에 10% fetal bovine serum과 1% Penicillin/Streptomycin을 혼합하여 37 $^{\circ}\text{C}$, 5% CO_2 조건에서 배양하였다. 배양 후 세포가 약 1×10^5 cell/well이 되도록 조정하고 100 μL 씩 96 well plate에 분주하였다. 각 well에 농도별 방울토마토 시료를 10 μL 씩 넣고 37 $^{\circ}\text{C}$, 5% CO_2 조건에서 24시간 배양하였다. 각 well에 50 μL MTT solution(0.1 mg/mL)을 넣고 37 $^{\circ}\text{C}$ 에서 4시간 유지한 후 100 μL 의 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 대조구인 DMSO 처리시 흡광도와 방울토마토 시료 처리시 흡광도 차이를 비교하여 산출하였다. 토마토 품종별로 각 세포주의 생육을 50% 억제하는 토마토 추출 건조 희석액의 농도를 IC_{50} 으로 정의하여 측정하였다.

6. 통계분석

실험은 3회 시행하였고 결과는 평균 \pm 표준편차로 나타내었다. 통계분석은 SPSS statistics(ver.25)를 이용하여 one-way ANOVA 및 Duncan's multiple range test를 시행하였다. 유의차는 신뢰수준 95%($p < 0.05$)에서 검증하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 페놀성 화합물의 정량

국내산 방울토마토 Summerking, Qutiquti 및 Minichal 품종에 함유된 페놀성 화합물을 정량하였다. 선행연구[17]에서 3-caffeoylquinic acid, 5-caffeoylquinic acid, quercetin-3-rutinoside, naringenin chalcone 등 일부 페놀성 화합물이 국내산 방울토마토에 함유되

어 있음이 밝혀진 바 있다. 본 연구에서는 페놀성 화합물 중 항산화활성, 암세포 억제활성과 관련이 있는 폴리페놀과 플라보노이드의 총 함량을 정량하였다.

1.1 총 폴리페놀 함량

국내산 방울토마토 Summerking, Qutiquti 및 Minichal 품종에 함유된 총 폴리페놀 함량은 [Fig. 1]에 나타내었다. 건조물 기준(dry weight)으로 Summerking, Qutiquti 및 Minichal 품종에 함유된 총 폴리페놀은 각각 12.56 ± 1.88 mg/g, 12.50 ± 1.92 mg/g 및 11.65 ± 1.85 mg/g이었다. 각 품종간 총 폴리페놀 함량의 유의적인 차이는 신뢰구간 95%에서 인정되지 않아 품종간 차이는 없는 것으로 나타났다.

Na 등[18]의 연구에 의하면 국내산 일반 토마토에는 총 폴리페놀이 3.24 ~ 5.40 mg/g 함유되어 있음을 알 수 있다. 또한, 외국산 토마토를 대상으로 한 연구[19]를 살펴보면 이탈리아에서 재배되는 토마토의 폴리페놀을 분석한 결과 4.43 ~ 25.84 mg/g으로 다양하게 분포하는 것으로 나타났다. 토마토의 재배지역, 품종, 숙성시기 등에 따라 총 폴리페놀 함량이 다양하게 나타나므로 본 연구의 결과와 국외 토마토 총 폴리페놀 함량의 단순비교는 한계점이 있다고 사료된다.

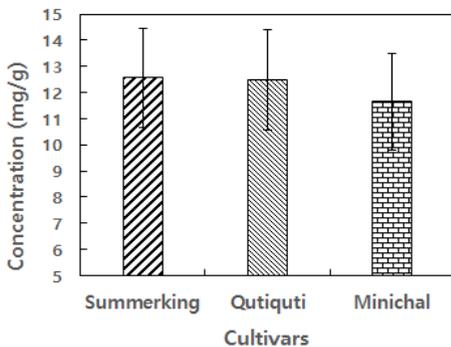


Fig. 1. Total polyphenol contents of domestic cherry tomato cultivars. Data are presented as the mean±standard deviation. There is no significant difference among cultivars.

1.2 총 플라보노이드 함량

국내산 방울토마토의 총 플라보노이드 함량은 [Fig. 2]와 같았다. Summerking, Qutiquti 및 Minichal 품

종의 총 플라보노이드 함량은 각각 4.58 ± 1.03 mg/g, 4.19 ± 0.40 mg/g 및 4.30 ± 0.49 mg/g이었다. 각 품종간의 총 플라보노이드 함량의 차이는 통계적으로 유의미하지 않았다.

Na 등[18]에 의해 국내산 일반 토마토에 함유된 플라보노이드 함량은 1.09 ~ 1.83 mg/g이었으며 이탈리아에서 재배되는 토마토 품종의 총 플라보노이드 함량은 0.13 mg/g ~ 6.59 mg/g이었음이 보고되어 있다. 이는 총 폴리페놀의 결과와 동일한 경향이라 사료된다.

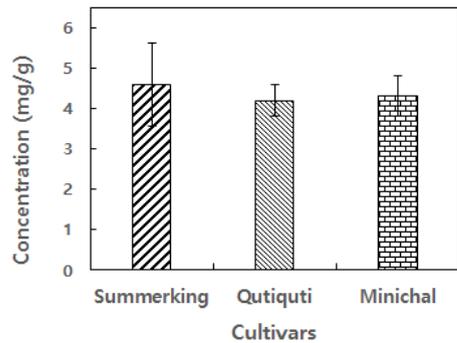


Fig. 2. Total flavonoid contents of domestic cherry tomato cultivars. Data are presented as the mean±standard deviation. There is no significant difference among cultivars.

2. 항산화 활성

2.1 DPPH radical 소거활성(DSA)

국내산 방울토마토 Summerking, Qutiquti 및 Minichal 품종의 추출 건조 희석액(50, 100, 250, 500 µg/mL)의 DSA를 측정된 결과 세가지 품종 모두 추출 건조 희석액의 농도가 높아짐에 따라 DPPH radical을 감소시켰다($p < 0.05$). 500 µg/mL의 추출 건조 희석액의 경우 품종별로 65.85 ± 1.89 ~ $72.61 \pm 1.84\%$ 의 DPPH radical을 소거하였다($p < 0.05$)[Fig. 3].

국내산 방울토마토 품종간 DSA를 비교하기 위해 DPPH radical을 50% 감소시키는 RC₅₀을 알아보았다. Summerking, Qutiquti 및 Minichal 품종은 각각 429.50 ± 5.03 µg/mL, 485.83 ± 6.56 µg/mL 및 494.83 ± 20.42 µg/mL의 RC₅₀ 값을 보였다[Table 1]. Qutiquti와 Minichal 품종의 RC₅₀ 값은 비슷한 수준

을 보였으나 Summerking 품종의 RC₅₀ 값은 다른 두 품종에 비해 높은 DPPH radical 소거활성을 보였다 ($p < 0.05$).

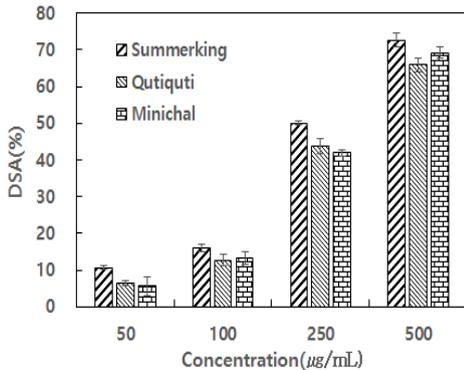


Fig. 3. DPPH radical scavenging activity(DSA) of domestic cherry tomato cultivars. Data are presented as the mean±standard deviation

Table 1. 50% radical reduction concentration(RC₅₀) of domestic cherry tomato cultivars

Cultivars	RC ₅₀ (µg/mL)	
	DSA	ASA
Summerking	429.50±5.03 ^a	341.13±1.76 ^a
Qutiquti	485.83±6.56 ^b	337.47±0.85 ^a
Minichal	494.83±20.42 ^b	384.92±4.13 ^b
F-value	23.251 ^{***}	300.674 ^{***}

Data are presented as the mean±standard deviation. Values in the same column with different superscript letters are significantly different at $p < 0.05$. *** means significant difference at $p < 0.001$

2.2 ABTS radical 소거활성(DSA)

국내산 방울토마토의 ABTS radical 소거활성(ASA)을 알아본 결과는 [Fig. 4]에 나타내었다. 세가지 품종 모두 처리 농도가 50, 100, 250, 500 µg/mL로 높아질 경우 통계적($p < 0.05$)으로 유의미하게 ABTS radical을 소거시켜 항산화활성이 확인되었다. 토마토 추출 건조 희석액을 최대 농도(500 µg/mL)로 처리하였을 경우 Summerking, Qutiquti 및 Minichal 품종이 각각 69.66±0.06%, 70.42±0.14% 및 63.16±0.61%의 ABTS radical 소거활성을 보였다. 품종간 ASA 차이를 비교하기 위해 ABTS radical을 50% 감소 시키는 RC₅₀을 측정해 본 결과 Summerking, Qutiquti 및

Minichal 품종의 ASA에 대한 RC₅₀ 값은 각각 341.13±1.76 µg/mL, 337.47±0.85 µg/mL 및 384.92±4.13 µg/mL이었다[Table 1]. Duncan의 다중범위검정으로 사후분석한 결과 Summerking과 Qutiquti 품종은 유의차가 없었으나 Minichal 품종은 유의차가 있어 다른 두 품종에 비해 ASA에 대한 RC₅₀ 값이 높아 ABTS radical 소거활성이 다소 낮음을 알 수 있었다($p < 0.05$).

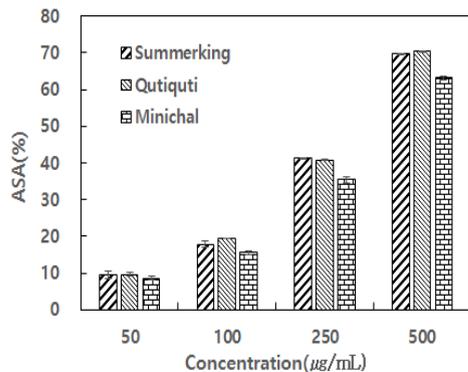


Fig. 4. ABTS radical scavenging activity(ASA) of domestic cherry tomato cultivars. Data are presented as the mean±standard deviation

상기와 같이 두가지 방법으로 국내산 방울토마토의 항산화활성을 검증한 결과 Summerking, Qutiquti 및 Minichal 품종 모두 항산화활성을 나타냄을 알 수 있었다.

3. 암세포 억제 활성

국내산 방울토마토의 암세포 억제 활성을 알아보기 위해 정상세포와 폐암 세포주, 자궁경부암 세포주 및 간암 세포주에 대해 생육에 미치는 영향을 규명하였다. 품종별 방울토마토 추출 건조 희석액(시료)을 A549(폐암세포주), HeLa(자궁경부암 세포주), HepG2(간암세포주)와 Chang(정상 간 세포주)에 처리한 결과는 [Table 2]와 같았다.

시료의 세포독성을 검증하기 위해 정상 간 세포주인 Chang 세포에 10, 50, 100 µg/mL 농도로 처리한 결과 처리 농도가 증가함에 따라 통계적으로 의미있는 세포 생육 억제가 관찰되지 않아 Summerking, Qutiquti

Table 2. Growth inhibitory effects of domestic cherry tomato cultivars on normal and cancer cells

Cultivars	Concentration ($\mu\text{g/mL}$)	Growth inhibition rate(%)			
		Chang	A549	HeLa	HepG2
Summerking	10	-2.01 \pm 6.75 ^a	2.95 \pm 5.34 ^a	-10.42 \pm 5.05 ^a	4.50 \pm 1.71 ^a
	50	1.28 \pm 1.57 ^a	3.73 \pm 6.20 ^a	11.15 \pm 1.61 ^b	10.63 \pm 5.61 ^a
	100	2.63 \pm 1.65 ^a	5.50 \pm 4.47 ^a	23.71 \pm 3.25 ^c	19.91 \pm 3.25 ^b
<i>F</i> -value		1.012	0.177	65.769***	12.075**
Qutiquti	10	-0.65 \pm 1.01 ^a	-4.06 \pm 3.93 ^a	2.74 \pm 5.14 ^a	7.70 \pm 3.98 ^a
	50	0.04 \pm 2.77 ^a	3.20 \pm 2.21 ^a	29.24 \pm 1.27 ^b	19.42 \pm 7.73 ^{ab}
	100	1.43 \pm 3.19 ^a	12.79 \pm 2.85 ^b	36.72 \pm 1.18 ^c	25.70 \pm 9.17 ^b
<i>F</i> -value		0.537	10.347*	97.476***	4.707*
Minichal	10	-3.34 \pm 1.07 ^a	-3.11 \pm 7.94 ^a	-7.64 \pm 3.35 ^a	-0.80 \pm 2.06 ^a
	50	-1.74 \pm 2.54 ^a	-4.69 \pm 12.23 ^a	11.65 \pm 1.83 ^b	1.51 \pm 5.29 ^a
	100	-0.11 \pm 1.76 ^a	-4.05 \pm 11.90 ^a	16.69 \pm 0.33 ^c	17.98 \pm 3.43 ^b
<i>F</i> -value		2.198	0.016	101.093***	21.441**

Data are presented as the mean \pm standard deviation. Cell lines are Chang(normal liver cell), A549(lung cancer cell), HeLa(cervical cancer cell), and HepG2(liver cancer cell). Values in the same column with different superscript letters are significantly different at $p < 0.05$. *, ** and *** mean significant difference at $p < 0.05$, $p < 0.01$ and $p < 0.001$, respectively.

및 Minichal 품종 모두 정상 세포에 대한 독성은 없는 것으로 판단된다($p < 0.05$). 시료를 A549 세포주에 처리한 결과 Summerking과 Minichal 품종은 처리 농도가 증가함에 따라 세포 생육 억제가 관찰되지 않았으나 Qutiquti 품종은 세포 생육 억제 활성이 확인되었다($p < 0.05$). 시료를 HeLa 세포주에 처리한 결과 Summerking, Qutiquti 및 Minichal 세가지 품종 모두 강한 세포 생육 억제 활성이 관찰되었다. 또한 시료를 HepG2 세포주에 처리한 결과 Summerking, Qutiquti 및 Minichal 세가지 품종 모두 HeLa 세포주에 대한 생육 억제 활성보다는 낮으나 HepG2 세포주에 대해 세포 생육 억제 활성이 확인되었다($p < 0.05$). 품종별 방울토마토의 암세포에 대한 생육 억제 활성의 강도를 알아보기 위하여 각 세포주의 생육을 50% 억제하는 시료의 처리 농도인 IC₅₀을 [Table 3]과 같이 산정하였다.

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

Cultivars	IC ₅₀ ($\mu\text{g/mL}$)			
	Chang	A549	HeLa	HepG2
Summerking	- ¹⁾	-	169.66 \pm 28.97 ^b	278.95 \pm 41.20 ^a
Qutiquti	-	311.69 \pm 64.90	127.11 \pm 2.36 ^a	235.68 \pm 94.46 ^a
Minichal	-	-	218.21 \pm 15.16 ^c	261.61 \pm 37.53 ^a
<i>F</i> -value			17.399**	0.355

Data are presented as the mean \pm standard deviation. ¹⁾ means no inhibitory effect on growth of cell lines. Values in the same column with different superscript letters are significantly different at $p < 0.05$. ** means significant difference at $p < 0.01$.

정상 세포인 Chang 세포에 대해서는 세포 생육에 대해 억제 효과를 보이지 않아 IC₅₀을 산정하지 않았고 A549 세포주에 대해서는 Summerking과 Minichal 품종은 생육 억제 효과를 보이지 않았으나 Minichal 품종의 경우만 311.69 \pm 64.90 $\mu\text{g/mL}$ 의 IC₅₀을 나타내었다. 또한, HeLa 세포주에 대해서는 세가지 품종 모두 강한 생육 억제 활성을 보였는데 Summerking, Qutiquti 및 Minichal 품종 시료의 IC₅₀은 각각 169.66 \pm 28.97, 127.11 \pm 2.36 및 218.21 \pm 15.16 $\mu\text{g/mL}$ 으로 나타났다. 세가지 품종 시료의 IC₅₀을 95%($p < 0.05$) 신뢰수준에서 유의차 검증을 실시한 결과 모두 유의차가 인정되어 세가지 품종 중 Qutiquti 품종의 HeLa 세포주에 대한 생육 억제 활성이 가장 높음을 알 수 있었다. 간암세포주인 HepG2에 대해서는 세가지 품종 시료의 IC₅₀이 각각 278.95 \pm 41.20, 235.68 \pm 94.46 및 261.61 \pm 37.53 $\mu\text{g/mL}$ 으로 나타나 HepG2 세포주에 대한 억제 활성이 확인되었다. 그러나 95%($p < 0.05$) 신뢰수준에서 세가지 품종간 생육 억제 활성의 강도는 비교할 수 없었다($p < 0.05$).

이와 같이 국내산 방울토마토 3종에 대해 정상세포와 암세포의 생육에 미치는 영향을 알아본 결과 세가지 품종 모두 정상세포에 대해서는 생육 억제 활성을 나타내지 않아 세포독성은 없는 것으로 확인되었다. 그리고 세가지 품종 모두 HeLa 및 HepG2 세포주에 대해서 암세포 억제 활성을 보였다.

IV. 결론

토마토는 다양한 생리활성 물질을 포함하고 있으며 세계적으로 소비가 많은 채소이다. 토마토는 크기가 다소 큰 일반토마토와 크기가 작은 방울토마토로 구분되는데 국내뿐만 아니라 세계적으로 다양한 품종의 방울토마토가 개발되어 상품화되어 있다. 일반토마토의 생리활성 물질 및 효과에 대해서는 세계적으로 많은 연구가 진행되었으나 방울토마토의 생리활성 물질 및 효과에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다. 최근에 국내에서 소비가 증가하고 있는 방울토마토의 산업적 활용성을 높이기 위해서는 방울토마토의 생리활성 물질과 효능에 대한 식품학적 연구가 선행되어야 할 것으로 판단된다. 이를 위해서 본 연구에서는 국내에서 재배되는 방울토마토 Summerking, Qutiquti 및 Minichal 품종의 폴리페놀 및 플라보노이드 등 생리활성 물질의 함량과 항산화효과 및 암세포 억제활성 등 생리활성 효과에 대해 알아보았다.

국내산 방울토마토 Summerking, Qutiquti 및 Minichal 품종에 함유된 총 폴리페놀 함량을 정량한 결과 각각 12.56 ± 1.88 mg/g, 12.50 ± 1.92 mg/g 및 11.65 ± 1.85 mg/g으로 나타났다. 또한 총 플라보노이드 함량을 정량한 결과 각각 4.58 ± 1.03 mg/g, 4.19 ± 0.40 mg/g 및 4.30 ± 0.49 mg/g이었다. 이를 국내산 일반토마토를 대상으로 총 폴리페놀 함량을 정량한 선행연구[18]의 결과와 비교하면 국내산 일반 토마토의 총 폴리페놀 함량($3.24 \sim 5.40$ mg/g)에 비해 약 2배, 플라보노이드 함량($1.09 \sim 1.83$ mg/g)에 비해 약 2 ~ 4배 가량 높게 나타났다. 그러나 재배지역, 품종, 숙성시기 및 분석방법에 따라 토마토의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량은 다양하게 나타나므로 본 연구의 결과를 선행 연구와 직접 비교하는 것은 한계가 있었다.

국내산 방울토마토의 생리활성을 검증하기 위해서 DPPH radical scavenging activity(DSA)와 ABTS radical scavenging activity(ASA)를 측정하여 항산화활성을 확인하였다. 방울토마토 추출 건조물 희석액을 50, 100, 250, 500 μ g/mL의 농도로 처리한 결과 세 가지 품종 모두 통계적으로 의미있게($p < 0.05$) DPPH

radical과 ABTS radical을 감소시켰다. 특히, 방울토마토 추출 건조물 희석액을 500 μ g/mL의 농도로 처리한 결과 품종별로 DPPH radical을 $65.85 \pm 1.89 \sim 72.61 \pm 1.84\%$, ABTS radical을 $63.16 \pm 0.61 \sim 70.42 \pm 0.14\%$ 감소시켜 높은 항산화 활성이 확인되었다.

국내산 방울토마토의 세포독성과 암세포 억제 활성은 Chang(정상 간 세포주)와 A549(폐암 세포주), HeLa(자궁경부암 세포주), HepG2(간암 세포주)에 대한 생육 억제 활성을 측정함으로써 알아보았다. Chang 세포에 대해서는 세가지 품종 모두 생육 억제 효과가 나타나지 않아 세포독성이 없었으며 A549 세포주에 대해서는 Qutiquti 품종만 생육 억제 효과를 보였다. HeLa 세포주에 대해서는 세가지 품종 모두 강한 생육 억제 효과를 보였고 Summerking, Qutiquti 및 Minichal 품종의 IC_{50} 이 각각 169.66 ± 28.97 , 127.11 ± 2.36 및 218.21 ± 15.16 μ g/mL로 Qutiquti 품종의 암세포 억제 활성이 가장 강함을 알 수 있었다. HepG2에 대해서도 세가지 품종 모두 암세포 억제 효과를 보였는데 Summerking, Qutiquti 및 Minichal 품종의 IC_{50} 이 각각 278.95 ± 41.20 , 235.68 ± 94.46 및 261.61 ± 37.53 μ g/mL이었다. 이는 세가지 품종 모두 HeLa 세포주에 대한 암세포 억제 활성보다는 낮으나 HepG2 세포주에 대해 상당한 억제 활성이 있음을 보여 주었다.

본 연구에서는 국내산 세가지 토마토 품종의 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량을 정량하였고 항산화 활성 및 암세포 억제 활성을 알아 보았다. 이와 같은 결과는 최근에 재배량과 소비량이 늘어나는 국내산 방울토마토가 단순히 생식용으로만 소비되는 것이 아니라 다양한 가공을 거쳐 활용도가 넓어져 소비가 늘어나도록 하는데 일조할 것으로 기대된다. 본 연구에서는 국내산 방울토마토 중 세가지 종류에 대해서 항산화 활성과 암세포 억제 활성을 알아보았는데 국내산 방울토마토의 유용성을 좀더 정확하게 검증하기 위해서는 가능한 많은 종류의 방울토마토에 대해 다양한 생리활성에 대한 검증이 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [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] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] S. H. Kim, D. H. Kim, and D. S. Kim, "Comparison of ascorbic acid, lycopene, β -carotene and α -carotene contents in processed tomato products, tomato cultivar and part," *The Korean Journal of Culinary Research*, Vol.17, No.4, pp.263-272, 2011.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] J. B. Ahn, "Characterization of lycopene, β -carotene, and phenolic compounds of domestic cherry tomato cultivars," Food Engineering Progress, Vol.22, No.1, pp.9-16, 2018.
- [18] H. S. Na, J. Y. Kim, 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 Presevation, Vol.20, No.4, pp.451-458, 2013.
- [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

저 자 소 개

최 석 현(Suk-Hyun Choi)



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

정회원