

# 토마토(*Solanum lycopersicum*) 유래 생리활성 성분의 피부 효능에 대한 고찰

이유진<sup>1</sup> · 정민아<sup>2</sup> · 황지환<sup>3</sup> · 김교남<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>경남대학교 대학원 건강과학과 석사과정, <sup>2</sup>순자네바른먹거리 대표이사, <sup>3</sup>경남대학교 제약공학과 교수

## Review of Skin-Related Effects of Bioactive Compounds Derived from Tomato (*Solanum lycopersicum*)

Yu-Jin Lee<sup>1</sup>, Min-A Jung<sup>2</sup>, Ji-Hwan Hwang<sup>3</sup> and Gyo-Nam Kim<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Master Student, Dept. of Health Science, Graduate School, Kyungnam University, Changwon 51767, Republic of Korea

<sup>2</sup>Chief Executive Officer, Sunja's Wholesome Foods Co., Ltd., Jinju 52842, Republic of Korea

<sup>3</sup>Professor, Dept. of Pharmaceutical Engineering, Kyungnam University, Changwon 51767, Republic of Korea

### ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum*) is widely consumed for its nutritional value and diverse bioactive constituents, including carotenoids, vitamins, and polyphenols. Traditionally recognized as a dietary antioxidant source, tomato intake has increasingly been discussed in relation to skin health. Experimental studies suggest that tomato-derived compounds help modulate oxidative stress, inflammation, melanogenesis-related pathways, and extracellular matrix degradation, which are relevant to skin aging, pigmentation, and structural maintenance. Carotenoid-rich tomato products have been reported to help protect against ultraviolet-induced skin damage. Despite this, current evidence remains heterogeneous because of variations in cultivars, ripening stages, processing conditions, and experimental models, and human intervention studies are comparatively limited. This review summarizes the available evidence on the skin-related effects of tomato-derived bioactive compounds and outlines the considerations for their application in inner beauty functional ingredients.

**Key words:** tomato, *Solanum lycopersicum*, lycopene, skin health, inner beauty

### 서 론

피부는 인체에서 가장 큰 기관으로 외부 환경으로부터 신체를 보호하는 장벽 역할과 동시에 수분 손실 방지, 체온 조절, 비타민 D 합성 및 면역 반응 조절 등 다양한 생리적 기능을 수행한다(Proksch E 등 2008). 피부는 구조적으로 표피(epidermis), 진피(dermis), 피하지방(hypodermis)으로 구분되며, 각 층은 서로 다른 세포 구성과 기능적 특성을 통해 피부의 항상성을 유지한다. 표피에는 각질형성세포(keratinocyte)를 중심으로 멜라닌세포(melanocyte)와 면역 관련 세포들이 분포하여 피부 장벽 형성, 색소 생성 및 면역 감시에 관여하며(Schuler G & Steinman RM 1985; Madison KC 2003), 진피는 유두층과 망상층으로 구성되어 있으며, 섬유아세포(fibroblast)와 다양한 면역세포들이 존재함으로써 콜라겐(collagen)과 엘라스틴(elastin)의 유지 및 염증 반응 조절에 중요한 역할을 한다(Sherratt MJ & Bayat A 2016). 피하지방은 지방세포를 주성분으로 하여 외부 충격을 완화하고 체온 조절과 에너지

저장 기능을 수행한다(Cawthorn WP 등 2012).

피부는 외부 환경에 지속적으로 노출되어 있어 자외선에 의한 손상에 취약한 조직으로, 자외선 노출은 피부 세포 내 활성산소종(reactive oxygen species, ROS)의 생성을 증가시켜 다양한 신호전달 경로를 활성화한다. 이러한 과정은 멜라닌 생성 증가와 콜라겐 분해를 촉진함으로써 색소침착과 주름 형성 등 피부 광노화의 주요 원인으로 작용한다(Yoon Y 등 2013). 이에 따라 활성산소를 효과적으로 제거할 수 있는 비효소적 항산화 물질의 섭취가 피부 노화 예방 측면에서 중요하게 논의되어 왔으며, 비타민 C, 비타민 E 및 카로티노이드와 같은 항산화 영양소의 체내 공급이 피부 노화 억제에 기여할 수 있음이 보고된 바 있다(Hong JK 2009). 특히 과일과 채소는 비타민 C를 비롯한 항산화 영양소의 주요 공급원으로 알려져 있으며, 이러한 영양소 섭취는 피부 노화와의 관련성이 보고된 바 있다(Cosgrove MC 등 2007).

그중에서도 토마토(*Solanum lycopersicum*)는 전 세계적으로 널리 소비되는 과채류로, 카로티노이드, 비타민 및 폴리페놀 등 다양한 기능성 성분을 함유한 것으로 알려져 있다(Bhowmik D 등 2012). 토마토는 중남미 지역을 원산지로 하

\* Corresponding author : Gyo-Nam Kim, Tel: +82-55-249-6330, Fax: +82-505-999-2104, E-mail: gnkim@kyungnam.ac.kr

여 오랜 기간 식품 및 가공 식품으로 이용되어 왔으며, 건강 증진 효과에 대한 관심이 지속적으로 증가해 왔다. 특히 토마토에는 리코펜(lycopene),  $\beta$ -카로틴( $\beta$ -carotene), 비타민 C, 플라보노이드 및 페놀산류와 같은 주요 생리활성 성분이 함유되어 있어 항산화(Ali MY 등 2021), 항암(Hwang ES & Bowen PE 2004), 항염(Rhim TJ 2022) 등 다양한 생리활성이 보고된 바 있다. 특히 Rizwan M 등(2011)의 인체 중재 연구에서는 리코펜이 풍부한 토마토 제품의 섭취가 자외선 유도 홍반 형성을 감소시키는 것으로 보고되었다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 토마토 및 토마토 유래 성분의 피부 건강 및 미용 기능성에 대한 연구가 점차 확대되고 있다.

그러나 기존 연구들은 토마토를 단일 식품 또는 특정 성분 중심으로 개별적으로 다루는 경우가 대부분이었으며, 토마토에 함유된 다양한 생리활성 성분들을 피부 건강 및 미용 기능성이라는 관점에서 체계적으로 통합·비교하여 정리한 고찰 연구는 제한적이다. 특히 최근 토마토 섭취를 통한 피부 건강 증진 가능성이 이너뷰티 관점에서 주목받고 있으나, 해당 효과에 대한 과학적 근거는 세포 수준(*in vitro*) 및 동물 모델에 편중되어 있으며, 인체 적용 가능성을 체계적으로 정리한 고찰 연구는 제한적인 실정이다. 따라서 본 총설에서는 경구 섭취를 통한 토마토 유래 생리활성 성분의 피부 효능을 중심으로 인체 연구 결과를 우선적으로 고찰하고, 기전적 이해를 보완하기 위해 동물 및 세포 실험 연구를 보조적으로 분석하고자 한다. 나아가, 개별 성분 중심의 기존 접근을 넘어 성분 간 상호작용 가능성과 미용 기능성 식품 소재로서의 활용 가능성, 그리고 향후 연구 방향을 제시하고자 한다.

## 연구방법

본 논문은 토마토 유래 생리활성 성분의 피부 관련 효능을 체계적으로 고찰하기 위해 서술적 총설(narrative review) 형태로 작성하였다. 연구는 총 3단계로 나누어 수행되었으며, 1단계에서는 토마토의 영양 성분 및 주요 생리활성 물질과 피부 건강과의 관련성에 대한 기존 문헌을 검색하고 정리하였다. 2단계에서는 선정된 문헌의 연구 내용을 분석하고 이를 기반으로 토마토 유래 생리활성 성분의 특성과 피부 관련 효능을 중심으로 내용을 서술하였다. 3단계에서는 분석된 문헌 자료를 종합하여 토마토 생리활성 성분의 피부 기능성 소재로서의 가능성과 향후 연구 방향을 객관적으로 분석하고 해석하였다.

문헌 검색은 국외 데이터베이스로는 Google Scholar 및 PubMed를 활용하였으며, 국내 데이터베이스로는 DBpia와 RISS를 이용하였다. 문헌 검색에는 ‘tomato’, ‘*Solanum lycopersicum*’, ‘bioactive compounds’, ‘skin’, ‘antioxidant’,

‘photoaging’, ‘melanin’, ‘human’, ‘clinical trial’ 등의 검색어를 조합하여 사용하였다. 문헌 검색 범위는 2000년부터 2025년까지 발표된 연구를 대상으로 하였으며, 토마토의 영양 성분 및 생리활성 성분의 기초적 특성과 관련된 문헌은 비교적 초기 연구를 포함하여 검토한 반면, 피부 기능성과 직접적으로 연관된 효능, 작용 기전 및 섭취 기반 인체 적용 연구는 최근 발표된 문헌을 우선적으로 고려하였다. 검색된 문헌 중 중복된 논문과 피부 기능성과의 관련성이 낮은 연구는 제외하였다. 전체 문헌 분석에는 세포 및 동물 실험을 포함한 기초 및 전임상 연구를 모두 포함하였다. 다만, 인체 중재 연구의 근거 수준을 별도로 분석하기 위하여 경구 섭취를 통한 피부 관련 지표를 평가한 연구만을 인체 적용 연구로 분류하였으며, 국소 도포 연구는 인체 근거 분석에서 제외하였다. 인체 연구는 연구 설계, 대상자 수, 연구 기간 및 평가 지표의 객관성을 기준으로 비교·분석하였다. 최종적으로 4편의 인체 적용 연구를 확인하였으며, 이 중 1편은 무작위 대조군 연구, 1편은 무작위 이중맹검 평행군 연구, 1편은 개방형 임상시험, 1편은 보충 섭취 기반 인체 연구였다. 이와 함께 1편의 체계적 문헌고찰 및 메타분석 연구는 보조적 근거로 활용하였다(Table 1). 이를 포함하여 토마토 유래 성분의 항산화 활성, 피부 건강 및 미용 기능성과 관련된 약 70편의 국내외 연구 논문을 최종 분석 대상으로 선정하여 본 총설을 작성하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 토마토의 영양 성분

토마토(*Solanum lycopersicum*)는 전 세계적으로 널리 소비되는 과채류로, 다양한 영양 성분과 생리활성 화합물을 동시에 함유한 식품으로 알려져 있다(Ali MY 등 2021). 일반적으로 토마토의 섭취 가능한 부분은 수분 함량이 매우 높고 열량이 낮아, 부담 없이 섭취할 수 있는 식품으로 평가된다(Beccher GR 1998). 100 g 기준 토마토의 일반 성분은 식품의약품안전처(Ministry of Food and Drug Safety 2025)에 따라 에너지 19 kcal, 탄수화물 4.26 g, 단백질 1.03 g, 지방 0.18 g으로 구성되며, 수분 함량은 93.90 g으로 높은 비율을 차지한다. 무기질 중에서는 칼륨이 250.00 mg 함유되어 있으며, 비타민류 중에서는 비타민 C가 14.16 mg으로 가장 높은 수준을 보인다.

토마토에는 비타민 C를 비롯하여 비타민 A의 전구체로 작용하는 카로티노이드류, 비타민 E 및 비타민 K가 함유되어 있으며(Collins EJ 등 2022), 이 중 비타민 C는 토마토에 풍부하게 함유된 수용성 항산화 성분으로 활성산소종 제거를 통해 체내 산화 스트레스 조절에 기여할 수 있는 것으로 보고되었다(Riso P 등 2004). 이러한 성분 이외에도 토마토

**Table 1. Human intervention studies on tomato-derived bioactive compounds and skin-related outcomes**

Bioactive compounds of tomato	Study	Design	Total participants (N)	Duration (weeks)	Main endpoints	Key findings
Lycopene (tomato paste)	Rizwan M <i>et al</i> (2011)	Randomized controlled trial	20	12	Erythema, MMP-1, fibrillin-1, mitochondrial (mt) DNA damage	Reduced UV-induced erythema, MMP-1 expression and mtDNA damage, increased procollagen deposition
Tomato intake	Riso P <i>et al</i> (2004)	Human supplementation study	12	3	Plasma antioxidant status	Increased plasma lycopene and vitamin C levels
Lycopene complex	Tarshish E & Hermoni K (2023)	Open-label clinical trial	50	12	Wrinkle depth, elasticity	Improved skin elasticity and reduced wrinkle appearance
Tomato extract	Zhang S <i>et al</i> (2024)	Randomized, double-blind, parallel-controlled trial	62	8	Pigmentation, erythema	Reduced pigmentation and improved skin brightness

에는 칼륨을 포함한 주요 미네랄이 함유되어 있으며, 소량의 식이섬유를 포함하고 있어 전해질 균형 유지, 소화 기능 및 대사 건강 조절에 기여할 수 있는 식품으로 평가된다 (Bhowmik D 등 2012; Collins EJ 등 2022).

토마토의 영양적 가치는 기본적인 영양 성분 구성뿐만 아니라 카로티노이드, 폴리페놀, 플라보노이드 등 여러 항산화 물질을 동시에 함유하고 있어 이들 성분이 종합적으로 작용하여 전체 항산화 능력에 기여하는 것으로 보고되었으며 (Serio F 등 2006), 특히 토마토에 함유된 카로티노이드는 토마토의 색을 결정하는 주요 성분으로, 항산화 기능과 생리활성을 대표하는 영양 성분으로 평가된다 (Khachik F 등 2002).

한편, 토마토의 영양 성분 조성은 품종, 숙성 단계, 재배 환경 및 가공 조건에 따라 유의한 변동성을 보이는 것으로 보고되었다 (Collins EJ 등 2022). 숙성이 진행됨에 따라 카로티노이드와 일부 항산화 성분의 함량이 증가하는 경향이 보고되었다 (Shi J & Le Maguer M 2000). 또한, 열처리 및 가공 과정에서는 특정 성분의 안정성과 생체이용률에 영향을 미칠 수 있으며 (Story EN 등 2010), Choi SH 등 (2011)의 연구에 따르면 토마토 가공 제품에 따라 리코펜,  $\beta$ -카로틴 및  $\alpha$ -카로틴 함량의 차이가 존재한다는 것이 보고되었다. 이러한 특성은 토마토가 생육 형태로만 소비되는 것이 아니라, 가공 조건에 따라 성분의 특성과 활용 가능성이 달라질 수 있음을 보여준다.

## 2. 토마토 유래 주요 생리활성 성분

토마토의 기능적 특성은 단일 영양 성분에 의해 설명되기

보다는, 과실 내에 존재하는 여러 가지 생리활성 성분의 복합적인 작용에 의해 나타난다. 토마토에 함유된 생리활성 성분의 조성 및 함량은 품종, 재배 환경, 숙성 단계 및 가공 조건에 따라 달라질 수 있으며, 이러한 요인은 토마토의 영양 성분 수준과 항산화 등 생물학적 활성에 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다 (Lima GPP 등 2022). 토마토의 생리활성은 과실 내에 존재하는 다양한 화합물과 밀접하게 관련되어 있으며, 이들 성분은 화학적 구조와 물리·화학적 특성에 따라 서로 다른 생리적 기능을 나타낸다. 특히 토마토에 함유된 주요 생리활성 성분은 크게 카로티노이드, 비타민, 폴리페놀 및 글리코알칼로이드 등으로 구분될 수 있으며, 각 성분은 항산화 및 세포 보호와 관련된 생리활성을 중심으로 다양한 기능성이 보고되어 왔다 (Chaudhary P 등 2018; Collins EJ 등 2022). 이에 본 절에서는 토마토 유래 주요 생리활성 성분을 성분군별로 구분하여 그 특성과 보고된 생리활성을 정리하고자 한다.

### 1) 카로티노이드

카로티노이드는 식물에서 합성되는 대표적인 지용성 색소 화합물이다. 주황색, 적색 및 황색 계열의 색상 형성과 더불어 강한 항산화 활성을 나타내는 생리활성 성분군이다. 토마토에는 리코펜(lycopene),  $\beta$ -카로틴( $\beta$ -carotene), 루테인(lutein) 등의 카로티노이드가 주요 성분으로 함유되어 있으며, 이들 성분은 토마토 과실의 색상 특성과 기능적 특성을 결정하는 핵심 요인으로 작용한다 (Burns J 등 2003; Dias MG 등 2009).

특히 토마토에 함유된 카로티노이드 중 리코펜은 가장 높은 비율을 차지하는 성분으로, 토마토 품종 및 과실 색상에 따라 전체 카로티노이드의 약 80~95% 이상을 구성하는 것으로 보고되었다(Rao AV & Agarwal S 2000; Kim HK 등 2015). Kim HK 등(2015)의 연구에 따르면 토마토 품종별 카로티노이드 조성 분석 연구에서 리코펜이 토마토 내 가장 풍부한 카로티노이드로 확인되었으며, 대추방울토마토에서 총 카로티노이드 함량과 리코펜 함량이 가장 높게 나타났다.

이와 같은 토마토 유래 카로티노이드는 단순한 색소 성분을 넘어 생리활성 물질로서의 기능이 주목되고 있다. 카로티노이드는 활성산소종을 효과적으로 소거함으로써 산화적 스트레스로부터 세포를 보호하며, 특히 피부 세포에서의 증식 조절 및 염증 반응 억제와 관련된 생리활성이 보고된 바 있다(Lee E & Hong J 2022). 이러한 특성으로 인해 토마토에 풍부한 카로티노이드류는 피부 건강 유지 및 미용 기능성 식품 소재로서의 활용 가능성이 지속적으로 논의되고 있다.

### (1) 리코펜

리코펜은 토마토를 비롯한 적색 과일 및 채소에 풍부하게 함유된 카로티노이드로, 강한 항산화 활성을 나타내는 것으로 알려져 있으며,  $\beta$ -카로틴과 달리 프로비타민 A 활성을 가지지 않는 것이 특징이다(Shi J 등 2004). 토마토 및 토마토 가공품은 식이를 통한 리코펜의 주요 공급원으로 보고되었으며, 토마토 내 카로티노이드 성분 중 리코펜이 가장 풍부하게 존재하는 것으로 확인되었다(Kim HK 등 2015). 세 가지 국내산 토마토 품종(Rafito, Momotaro TY Winner, Medison)의 리코펜 함량을 정량한 결과, Rafito, Momotaro TY Winner 및 Medison 품종은 각각 31.52, 28.36 및 60.18 mg/100 g dry weight로 보고되었다(Ahn JB 2018).

리코펜은 구조적 형태에 따라 체내 흡수 특성이 달라질 수 있다. 생토마토에는 all-trans-리코펜이 존재하는데 가열이나 가공 과정을 거치면 cis 형태의 리코펜 비율이 증가한다. 이러한 cis-리코펜은 체내 흡수가 상대적으로 높은 것으로 알려져 있으며, 실제로 토마토 페이스트나 소스와 같은 가공 제품에서 리코펜의 생체 이용성이 더 높게 나타난 바 있다(Shi J 등 2004).

리코펜의 생리활성은 항산화 작용에 그치지 않고, 세포 수준에서 산화적 스트레스 및 염증 반응을 조절하는 효과로 확장되어 보고되고 있다. 인간 중간엽 줄기세포를 대상으로 한 연구에서 리코펜 전처리는 과산화수소로 유도된 산화적 스트레스 조건에서 세포 사멸을 유의적으로 억제하였으며, 이는 활성산소종 생성 감소와 함께 p38 MAPK, c-Jun N-terminal kinase(JNK) 및 p53 신호전달 경로의 조절과 관련된 것으로 나타났다(Kim JY 등 2015). 이러한 결과는 리코펜이 단순한

자유 라디칼 소거제를 넘어 세포 생존과 관련된 신호 전달 경로를 조절함으로써 세포 보호 효과를 나타낼 수 있음을 시사한다. 또한 리코펜은 염증 유도 조건에서 항염증 활성을 나타내는 것으로 보고되었다. Lipopolysaccharide(LPS)로 자극된 인간 대장암 세포에서 리코펜 처리는 tumor necrosis factor-alpha(TNF- $\alpha$ ), interleukin-1 beta(IL-1 $\beta$ ), interleukin-6(IL-6), inducible nitric oxide synthase(iNOS) 및 cyclooxygenase-2(COX-2)의 mRNA 발현을 농도 의존적으로 감소시켰으며, nuclear Factor kappa-light-chain-enhancer of activated B cells(NF- $\kappa$ B) 및 JNK 신호전달 경로의 활성 억제를 통해 염증 반응을 완화하는 것으로 확인되었다(Cha JH 등 2017). 이러한 결과는 리코펜이 산화 스트레스와 염증 반응이 연계된 세포 환경에서 항염증 효과를 나타낼 수 있음을 보여준다. 이 외에도 토마토 기반 식품에서 유래한 리코펜 추출물은 인간 전립선암 1차 배양 세포에서 세포 증식 억제 및 세포사멸 유도 효과를 나타내었다(Soares NCP 등 2017).

이처럼 리코펜은 항산화 및 항염 작용을 기반으로 다양한 세포 모델에서 보호 효과가 보고되어, 피부 노화와 관련된 산화 스트레스 및 염증 반응 완화에 기여할 수 있음이 보고되었다. 다만 리코펜의 생리활성은 가공 조건, 이성질체 조성에 따라 체내 흡수율이 달라질 수 있으므로, 미용 기능성 식품 소재로의 적용을 위해서는 성분 조성 및 생체이용성을 고려해야 할 필요성이 있다.

### (2) $\beta$ -카로틴

$\beta$ -카로틴( $\beta$ -carotene)은 식물에 널리 분포하는 대표적인 카로티노이드로, 체내에서 비타민 A로 전환될 수 있는 주요 프로비타민 A로서 영양학적 중요성이 강조되는 성분이다(Grune T 등 2010). Ahn JB(2018)의 연구에서 국내산 토마토 Rafito, Momotaro TY Winner 및 Medison 품종의  $\beta$ -카로틴을 정량한 결과, 각각 2.79, 2.00 및 2.92 mg/100 g dry weight의 함량을 나타내었다.  $\beta$ -카로틴은 토마토를 포함한 다양한 과일과 채소에 함유되어 있으나, 토마토 내에서는 리코펜에 비해 상대적으로 낮은 함량을 차지하는 것으로 보고되었다(Kim HK 등 2015). 그럼에도 불구하고  $\beta$ -카로틴은 비타민 A 대사의 전구체로 기능할 수 있다는 점에서 토마토 유래 카로티노이드의 생리적 역할을 이해하는 데 중요한 성분으로 인식되고 있다.

$\beta$ -카로틴은 지용성 카로티노이드로 소장에서 지방과 함께 흡수되며 장 점막 세포에서 레티놀(retinol)로 전환된다. 이 과정은 체내 비타민 A 항상성 유지에 기여하는 주요 경로 중 하나로 알려져 있다(Grune T 등 2010; Eom HJ 등 2019). 하지만  $\beta$ -카로틴의 체내에서 비타민 A로 전환되는 정도는 섭취조건, 식품 가공 및 개인의 영양 상태 등에 따라 달라질 수

있는 것으로 보고되었다(Shankaranarayanan J 등 2018).

$\beta$ -카로틴의 생리활성은 프로비타민 A 기능 이외에도 항산화 작용을 중심으로 보고되고 있다.  $\beta$ -카로틴은 활성산소종을 제거하고, 지질 과산화 반응을 억제함으로써 세포 구성 성분의 산화적 손상을 완화하는 것으로 알려져 있다(Miazek K 등 2022). Park SY 등(2017)의 연구에서  $\beta$ -카로틴은 LPS로 유도된 산화적 스트레스 조건에서 세포 내 활성산소종 생성을 유의적으로 감소시키는 것으로 보고되었으며, 이는  $\beta$ -카로틴이 화학적 항산화 활성뿐만 아니라 세포 수준에서도 산화 스트레스 조절과 관련성이 보고되었다. 이러한 항산화 특성은 피부 세포에서 발생하는 산화적 손상을 완화하고, 외부 자극에 의한 피부 노화 진행을 억제하는 데 일정 부분 기여할 가능성을 시사한다.

항산화 활성 외에도  $\beta$ -카로틴은 일부 세포 및 동물 실험에서 항암 관련 가능성이 보고된 바 있다(Shankaranarayanan J 등 2018). 다만 이러한 효과는 실험 조건과 농도에 따라 상이하게 나타나며, 인체 적용에 대해서 추가적인 검증이 필요한 단계로 인식되고 있다.

따라서  $\beta$ -카로틴은 항산화 및 비타민 A 전구체로서의 영양학적 의미가 크지만, 토마토 유래 성분으로서 미용 기능성 식품 소재로 이용하기 위해서는 섭취량, 흡수율, 프로비타민 A로 전환되는 효율 및 인체 지표 변화를 함께 평가한 연구가 추가적으로 필요하다.

### (3) 기타 카로티노이드

토마토에는 리코펜과  $\beta$ -카로틴 외에도 루테인,  $\alpha$ -카로틴 등 다양한 카로티노이드가 소량 함유되어 있는 것으로 보고되었다(Khachik F 등 2002). 토마토의 카로티노이드 조성은 품종과 가공 조건에 따라 달라질 수 있으며, 리코펜이 주된 성분이고 다른 카로티노이드는 상대적으로 낮은 수준으로 확인되었다(Abushita AA 등 2000). 또한 토마토는 카로티노이드뿐 아니라 여러 지용성 색소 및 항산화 관련 성분이 함께 확인되는 과채류로 보고되어, 특정 성분 하나만으로 기능을 설명하기보다는 전체 조성 관점에서 해석할 필요가 있다(Burns J 등 2003).

루테인(lutein)은 카로티노이드 계열에 속하는 성분으로, 제아잔틴(zeaxanthin)과 함께 눈의 황반 부위에 존재하여 청색광을 흡수하고 산화 스트레스를 줄임으로써 시각 기능 보호와 관련된 역할을 하는 것으로 보고되었다(Nwachukwu ID 등 2016). 최근 연구에서 루테인이 산화 스트레스에 의해 활성화되는 염증 관련 신호전달 경로를 조절할 수 있다는 가능성이 제시되었다(Ahn YJ & Kim H 2021).  $\alpha$ -카로틴( $\alpha$ -carotene)은 항산화 특성을 기반으로 일부 세포 및 역학 연구에서 항암 관련 가능성이 보고된 카로티노이드로, 최근 총설에서 그 생

리적 가치가 정리된 바 있다(Zhao Z 등 2022).

위의 카로티노이드들의 함량 자체는 리코펜에 비해 낮게 함유되어 있지만 루테인,  $\alpha$ -카로틴 등은 산화 스트레스 및 염증 반응 조절과 관련된 가능성이 보고되어 토마토의 기능성을 보완하는 구성 요소로 해석될 수 있다. 따라서 토마토 기반 미용 기능성 식품 소재의 효능을 평가할 때에는 리코펜뿐만 아니라 전체 카로티노이드 조성과 상호작용을 고려한 조성 기반 해석이 필요하다.

### 2) 비타민

토마토에는 비타민 C를 중심으로 비타민 E, 비타민 B군 및 엽산 등 다양한 비타민류가 함유되어 있으며, 이 성분은 항산화 작용과 더불어 체내 대사 조절과 관련된 생리적 기능과 연관되어 있는 것으로 보고되었다(Frusciante L 등 2007; Kim D 등 2020). 특히 토마토는 수용성 비타민과 지용성 항산화 성분이 동시에 존재하는 과채류로, 여러 항산화 물질을 함께 섭취할 수 있는 식품이라는 특징을 가진다(Frusciante L 등 2007).

Kim D 등(2020)의 연구에 따르면 토마토에 함유된 수용성 비타민 중 비타민 C가 가장 높은 함량을 차지하였으며, 품종에 따라 그 함량에 유의적인 차이가 나타나는 것으로 확인되었다. 비타민 C는 수용성 항산화 물질로서 활성산소종을 직접적으로 제거할 수 있을 뿐 아니라, 비타민 E와 같은 지용성 항산화제의 산화를 환원시키는 중요한 역할을 수행하는 것으로 알려져 있다(Paciolla C 등 2019). Riso P 등(2004)은 건강한 여성 12명을 대상으로 3주간 식이 중재 연구를 수행하였다. 1주간 저카로티노이드 식이를 유지한 후 3주간 하루 평균 8 mg의 리코펜을 포함하는 다양한 토마토 제품을 섭취하였으며, 해당 섭취량은 생토마토 약 120~200 g에 해당하는 수준이다. 그 결과 혈장 및 림프구 내 리코펜과 비타민 C의 농도가 유의적으로 증가하였고 철 이온으로 유도된 DNA 산화 손상이 유의적으로 감소하였다. 이는 토마토 섭취가 전신 항산화력을 향상시키고 세포 수준에서 DNA 보호 효과를 나타낼 수 있음을 보여준다.

비타민 C 이외에도 비타민 E 계열에 속하는 토코페롤(tocopherol)과 토코트리엔올(tocotrienol)도 함유되어 있으며, 이 성분들은 세포막 수준에서 지질 과산화를 억제하는 역할을 수행하는 것으로 알려져 있다(Raiola A 등 2015). 특히 비타민 E는 토마토의 주요 카로티노이드 성분인 리코펜과 함께 존재할 때 항산화 효과가 나타날 수 있으며, 이러한 특성은 토마토 섭취와 관련된 생리적 효능과 연관되어 있다(Raiola A 등 2015).

한편, 토마토에 함유된 비타민류의 함량은 숙성 단계 및 가공 조건에 따라 달라질 수 있으며, 가공 과정에서 비타민

C의 감소와 함께 지용성 항산화 성분의 생체이용성 변화가 나타날 수 있는 것으로 보고되었다(Frusciante L 등 2007). 토마토에 함유된 비타민은 단일 성분의 효과로 설명되기보다는 카로티노이드 및 폴리페놀과 같은 다른 생리활성 성분과 함께 고려될 필요가 있으며, 이러한 성분 구성은 토마토 섭취와 관련된 생리적 효능을 이해하는 데 기초 자료로 활용될 수 있다.

### 3) 폴리페놀 및 플라보노이드

토마토에는 카로티노이드 및 비타민류 이외에도 다양한 폴리페놀 및 플라보노이드 성분이 함유되어 있으며, 대표적인 성분으로는 클로로겐산(chlorogenic acid), 루틴(rutin) 및 나린제닌 칼콘(naringenin chalcone) 등이 있고 이 성분들은 품종 및 재배 조건에 따라 다르게 나타날 수 있음을 보여준다(Slimestad R & Verheul MJ 2009).

국내산 토마토를 대상으로 한 연구에서도 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 품종에 따라 유의적인 차이를 보였으며, 항산화 활성과 자궁경부암 세포에서 항암 활성을 나타냈다(Choi SH 2021). 또한 In MJ 등(2024)의 연구에 따르면 토마토 껍질 추출물은 과육에 비해 폴리페놀과 플라보노이드 함량이 현저히 높았으며, 이에 따라 항산화 활성도 유의적으로 증가한 것으로 보고되었다. 이는 토마토의 껍질 부위에 페놀성 화합물이 상대적으로 풍부하게 존재함을 시사한다.

이러한 선행 연구들을 종합하면, 토마토에 함유된 폴리페놀 및 플라보노이드는 품종 및 과실 부위에 따라 함량과 조성이 달라질 수 있으며, 항산화 활성과 밀접한 관련을 가지는 성분군임을 보여주며, 품종 선택이나 가공 부위에 따라 기능성이 달라질 수 있음을 의미한다. 따라서 폴리페놀 및 플라보노이드는 토마토 기반 기능성 소재 연구에서 중요한 고려 요소로 평가될 수 있다.

### 4) 글리코알칼로이드

토마틴은 토마토에 존재하는 대표적인 스테로이드 글리코알칼로이드로, 주로  $\alpha$ -토마틴과 디하이드로토마틴의 혼합물 형태로 존재한다. 토마틴은 과실뿐 아니라 잎, 줄기, 꽃, 뿌리 등 토마토 식물 전반에서 검출되며, 이는 토마틴이 식물의 방어 기작과 관련된 2차 대사산물임을 보여준다(Kozukue N 등 2004). 토마틴은 병원균, 해충 및 초식동물로부터 식물을 보호하는 역할을 수행하는 것으로 알려져 있으며, 이러한 특성은 토마토를 포함한 가지과 식물에서 나타나는 글리코알칼로이드의 방어 전략과 연관된 특성으로 해석된다(Kozukue N 등 2023).

토마토 과실 내 토마틴 함량은 숙성 단계에 따라 크게 달라지며, 미성숙 녹색 토마토에서 높은 수준으로 축적되었다

가 과실이 성숙함에 따라  $\alpha$ -토마틴과 디하이드로토마틴이 유사한 속도로 분해되면서 급격히 감소하는 것으로 보고되었다(Kozukue N 등 2004).

한편, 토마틴은 기존 연구들을 종합한 총설에서 항암 및 심혈관 보호와 관련된 생리활성이 보고된 바가 있으며(Friedman M 2013), 전이성 흑색종 세포 모델에서 세포 생존을 감소, apoptosis 유도 및 세포 침윤 억제 효과가 관찰되었다(Serrati S 등 2020). 그러나 토마틴은 항염양성 및 독성을 지닌 성분으로 분류되며, 특히 미성숙 토마토에 농도로 존재하므로 식이 또는 기능성 소재로서의 활용에는 안전성 측면에서 제한이 존재한다(Liu Y 등 2023).

따라서 토마틴은 생리활성이 보고된 성분임에도 불구하고 토마토 기반 미용 기능성 소재로 활용되기 위해서는 독성 저감 및 안전성에 대한 추가적인 검토가 필요하다.

## 3. 토마토 유래 생리활성 성분의 피부 관련 효능 및 작용기전

### 1) 항산화 작용

활성산소종은 세포 대사 과정과 자외선, 흡연, 대기 오염 등의 외부 요인에 의해 생성되며, 적정 수준에서는 세포 신호 전달에 관여한다(Hong JK 2009). 인체 내에서는 활성산소에 대한 방어 기전으로 superoxide dismutase(SOD), catalase (CAT) 및 glutathione peroxidase(GPx)와 같은 항산화 효소 시스템을 통해 활성산소종 항상성을 유지하고 있지만, 이러한 방법으로도 조절되지 못할 만큼 활성산소종이 과도하게 축적될 경우 지질, 단백질 및 DNA 손상을 유발하여 산화 스트레스를 초래한다(Hong Y 등 2024). 활성산소종이 과도하게 축적되면 암, 동맥경화, 당뇨병 및 세포 노화와 같은 다양한 만성 질환의 발생과 연관되는 것으로 보고되었으며(Jomova K 등 2023), 피부에서는 피부 탄력 감소, 멜라닌 생성 촉진 등을 통해 피부 노화를 가속화시키는 요인으로 작용한다(Park SN 1997). 이러한 산화 스트레스를 완화하기 위해 식이를 통한 항산화 물질의 섭취가 중요하게 논의되고 있으며, 특히 과채류에 함유된 항산화 성분에 대한 관심이 증가하고 있다(Jeong SJ 등 2015).

토마토 유래 항산화 활성은 품종, 추출 조건 및 분석 방법에 따라 다양한 수준으로 보고되고 있다. Rhim TJ(2022)의 연구에서는 시판 토마토 품종별 추출물에서 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl(DPPH), 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS), hydroxyl radical 소거활성, oxygen radical absorbance capacity(ORAC) 및 cupric ion reducing antioxidant capacity(CUPRAC) 분석을 통해 유의적인 항산화 활성이 확인되었으며, 토마토 유래 생리활성 성분의 항산화

기반 피부 보호 효과는 주로 리코펜을 중심으로 한 카로티노이드 계열에 의해 보고되고 있으며, 일부 연구에서는 비타민 C 및 페놀성 화합물의 보조적 기여 가능성도 함께 제시되고 있다. 또한 In MJ 등(2024)은 토마토 껍질 및 과육 추출물을 비교한 연구에서 두 시료 모두 농도 의존적으로 항산화 활성이 증가하였음을 보고하였으며, 토마토 유래 추출물이 자유라디칼 소거 및 환원력을 기반으로 항산화 효과를 나타낼 수 있음을 제시하였다. 세포 및 동물 실험에서 토마토 추출물이 라디칼 소거 작용뿐 아니라 미토콘드리아 유래 활성산소 발생 자체를 억제함으로써 체내에서 산화 스트레스를 완화하는데 중요한 작용을 할 가능성을 시사하였다(Song SB 등 2021). 특히 토마토에 풍부한 리코펜은 nuclear factor erythroid 2-related factor 2(Nrf2) 및 MAPK 중 ERK 신호전달 경로를 활성화하여 heme oxygenase-1(HO-1) 발현을 유도함으로써 세포 내 항산화 방어 기전을 강화하는 것으로 보고되었다(Park CM 등 2024).

이러한 연구들을 종합하면, 토마토 유래 성분은 화학적 라디칼 소거능뿐만 아니라 세포 내 항산화 방어 경로를 조절함으로써 산화 스트레스 환경에서 보호 효과를 나타낼 가능성이 있다. 다만 항산화 활성은 품종, 가공, 추출 조건에 따라 성분 특성의 차이가 보고되고 있으므로, 미용 기능성 식품 소재로서의 효능을 평가하기 위해서는 인체 적용 근거의 추가 확보가 필요하다.

## 2) 색소 침착 조절

멜라닌은 자외선으로부터 피부를 보호하는 중요한 역할을 수행하지만 자외선에 지속적으로 피부가 노출될 경우 멜라닌세포의 과도한 활성화로 인해 색소 침착이 유발될 수 있다(Zhang X 등 2024). 최근 연구들은 천연 식물 유래 소재를 중심으로 멜라닌 생성 기전 조절을 통한 피부 색소 침착 완화 가능성에 주목하고 있다(Ku HB 등 2025).

토마토와 토마토 부산물에 함유된 생리활성 성분 중 색소 침착 조절 효과는 리코펜을 포함한 카로티노이드뿐만 아니라, 폴리페놀 및 플라보노이드 계열 화합물의 멜라닌 생성 억제 가능성과도 관련되어 논의되고 있다(Stahl W & Sies H 2007). 세포 및 동물 실험에서 토마토 유래 추출물의 멜라닌 생성 억제 효과가 확인되었다. 토마토 잎 초임계 추출물은 B16F1 세포에서 tyrosinase 활성과 microphthalmia-associated transcription factor(MITF), tyrosinase-related protein 1(TRP-1) 및 tyrosinase-related protein 2(TRP-2)의 발현을 감소시켰으며, 자외선 조사 HR-1 마우스 모델에서도 피부 내 멜라닌 축적이 유의적으로 감소하였다(Oh BY 등 2013). 또한 리코펜 보충은 인체 적용 연구에서 피부 색소침착 감소 및 피부 지표 개선과 관련된 가능성이 보고되었다(Zhang X 등 2024).

메타분석을 통한 결과, 피부 홍반 형성 감소, 피부 외관 및 색소침착 개선, 광유도 피부 손상 및 광노화로부터 예방 등의 이점으로 리코펜이 섭취 기반 피부 광손상 완화 효과와 관련된 수 있음을 나타낸다(Zhang X 등 2024). Zhang S 등(2024)의 무작위 이중맹검 인체 적용 시험에서도 여성 자원을 대상으로 골든 토마토 추출물, 나이아신아마이드, 글루타치온 등을 포함한 복합 제형을 하루 2회, 8주간 섭취한 군에서 각질층 수분 함량이 35.63% 증가하고, 경피 수분 손실량이 29.39% 감소하였으며 피부 색소 침착 감소가 관찰됨과 동시에 혈중 SOD 및 GPx 증가, malondialdehyde(MDA) 감소가 확인되었다. 이는 경구 토마토 복합 제형이 피부 미백 및 항산화 개선 효과를 나타낼 수 있음을 의미한다. 다만 위의 연구는 단일 성분이 아닌 복합 조성 기반의 효과이므로, 특정 리코펜 섭취량과 직접적인 식이 섭취량을 환산하기에는 한계가 있다. 따라서 본 총설은 일반 토마토 섭취량과의 단순 비교 보다는 토마토 유래 성분을 포함한 기능성 제형의 잠재적 활용 가능성 측면에서 해석하고자 한다.

종합하면, 세포 및 동물 실험뿐 아니라 인체 적용 연구에서도 멜라닌 생성 억제 및 피부 톤 개선과 관련된 효과를 나타내는 것으로 보고되고 있다. 이러한 효과는 멜라닌 생성 관련 효소 등의 조절과 항산화 방어 시스템의 강화와 연관된 것으로 해석되며, 토마토가 섭취 기반 미용 기능성 식품 소재로 활용될 가능성을 시사한다.

## 3) 주름 형성 억제

피부의 탄력과 구조적 안정성은 진피에 존재하는 콜라겐을 중심으로 세포외기질의 조성 및 배열에 의해 유지된다. 콜라겐은 피부에서 가장 풍부한 구조 단백질로 피부의 형태 유지 및 외부 자극에 대한 저항성에 중요한 역할을 수행한다(Avila MI 등 2018). 그러나 노화가 진행되거나 자외선에 반복적으로 노출될 경우 섬유아세포 기능 저하와 함께 콜라겐 및 탄력섬유의 구조적 변화가 나타나며, 이로 인해 피부 탄력 감소와 주름 형성이 유발될 수 있다(Kim JM 등 2010).

Darawsha A 등(2021)의 연구에서 토마토 유래 추출물은  $H_2O_2$ 로 산화 스트레스가 유도된 인간 진피 섬유아세포에서 세포 사멸을 감소시키고  $H_2O_2$ 에 의해 증가된 matrix metalloproteinase-1(MMP-1) 분비를 억제하는 한편 감소된 pro-collagen 분비를 유의적으로 회복시킨 것으로 보고되었다. 또한 UVB로 손상이 유도된 인간 피부 섬유아세포 모델에서 토마토 유래 성분을 포함한 에탄올 추출물은 활성산소 생성을 억제하고, MMP-1 및 matrix metalloproteinase-3(MMP-3) 발현 증가를 완화함과 동시에 콜라겐 생성 감소를 회복시키는 효과를 나타내었다(Lee H 등 2018) (Table 2). Tarshish E & Hermoni K(2023)은 35~55세의 건강한 여성

50명을 대상으로 12주간 매일 Lycomato™ 보충제(리코펜 15 mg 표준화 추출물)를 섭취하였으며, 해당 섭취량은 생토마토 기준으로 약 200~500 g에 해당하는 수준으로 추정된다. 12주 후, 경피 수분 손실량이 유의적으로 감소하고 주름 깊이 및 피부 탄력, 피부 톤이 개선되었다. 이는 리코펜 복합체가 피부 장벽 기능을 향상시키고 시각적 노화 지표를 개선할 수 있음을 제시한다.

연구 결과들을 종합하면, 토마토 유래 생리활성 성분은 산화 스트레스 및 자외선으로 유도된 진피 손상 환경에서 콜라겐 분해를 억제하고 콜라겐 생성을 회복함으로써 피부 구조 유지에 기여할 가능성이 제시된다. 특히 세포 수준의 보호 효과와 더불어 인체 적용 연구에서 피부 탄력 및 주름 지표 개선이 확인됨에 따라, 토마토 유래 성분은 섭취 기반 피부 노화 완화 기능성 소재로 활용 가능성을 시사한다.

#### 4. 토마토 기반 미용 기능성 식품 소재 연구의 한계 및 향후 전망

토마토 추출물과 생리활성 성분은 항산화, 색소 침착 완화 및 피부 구조 보호와 관련된 다양한 효과가 보고되어 왔다. 그러나 현재까지의 연구 결과만으로는 토마토 기반 소재의 피부 효능을 명확하게 하기에 몇 가지 한계가 존재한다.

먼저, 관련 연구의 대부분은 세포 실험이나 동물 실험에 기반하고 있으며, 인체 적용 시험을 통해 경구 섭취 시 효과와 안전성을 동시에 검증한 연구는 제한적이다. 일부 인체 연구에서 긍정적인 결과가 보고되었지만, 연구 기간이 짧거나 대상자 수가 적어 장기간 섭취 시 효과의 지속성이나 안전성에 대해서는 추가적인 검증이 필요하다. 또한 토마토의 주요 생리활성 물질의 특성은 품종 및 숙성도뿐 아니라 재배 및 가공 환경에 의해 달라질 수 있다. 이러한 특성으로 인해

**Table 2. Summary of *in vitro* and *in vivo* study on tomato-derived bioactive compounds and their skin-related effects**

Bioactive compounds of tomato	Major effects	Mechanism	Experimental model	References
Lycopene	Antioxidant & cytoprotective	ROS reduction and modulation of p38 MAPK, JNK, and p53 signaling	Human mesenchymal stem cells	Kim JY <i>et al</i> (2015)
	Antiinflammatory	Downregulation of TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , IL-6, iNOS, and COX-2 via inhibition of NF- $\kappa$ B and JNK signaling	SW480 human colorectal cancer cells	Cha JH <i>et al</i> (2017)
$\beta$ -carotene	Antioxidant	Reduced intracellular ROS under LPS-induced oxidative stress	RAW 264.7 murine macrophage cells	Park SY <i>et al</i> (2017)
Polyphenols & Flavonoids	Antioxidant	Free radical scavenging activity	Cell-free antioxidant assay	Choi SH (2021)
	Antioxidant	Free radical scavenging and reducing activities	Cell-free antioxidant assay	Rhim TJ (2022)
Tomato extract	Antioxidant	Radical scavenging activity and suppression of mitochondrial ROS generation	Human fibroblasts; C57BL/6N mice (50 mg/kg/day for 3 days); SMP30-KO mice (50 mg/kg/day for 3 days)	Song SB <i>et al</i> (2021)
	Brightening effect	Inhibition of tyrosinase activity and melanogenesis-related protein expression	B16F1 melanoma cells; HR-1 hairless mice (0.5–1% topical, 8 days)	Oh BY <i>et al</i> (2013)
	Antiwrinkle & Elasticity	Suppressed MMP-1 secretion and restored pro-collagen production under oxidative stress	NHDF (normal human dermal fibroblasts)	Darawsha A <i>et al</i> (2021)
Suppressed ROS generation and MMP-1, MMP-3 expression while restoring collagen production		Hs68 human skin fibroblast	Lee H <i>et al</i> (2018)	

연구마다 사용된 시료의 성분 구성이 서로 달라 연구 결과를 직접적으로 비교하거나 해석하는 데 어려움이 발생할 수 있으며, 특히 추출물이나 가공품의 제조 조건이 일정하지 않을 경우 재현성 문제로 이어질 수 있다. 토마토의 피부 관련 효능은 리코펜과 같은 특정 성분 하나의 효과라기보다, 카로티노이드, 비타민 및 폴리페놀 등 여러 성분이 함께 작용한 결과일 가능성이 크다. 그러나 현재까지는 개별 성분 중심의 연구가 많아 성분 간 상호작용이나 복합 작용에 대한 이해는 아직 부족한 수준이다.

향후 연구에서는 토마토 기반 미용 기능성 식품 소재의 효능을 보다 명확하게 하기 위해 인체 적용 시험을 포함한 체계적인 검증이 필요하다. 또한 토마토 원료와 추출물의 성분 조성을 정량적으로 제시하고, 제조 및 가공 조건을 표준화하여 연구 결과의 비교 가능성과 재현성을 확보할 필요가 있다. 그리고 여러 생리활성 성분이 함께 작용하는 기전에 대한 연구가 이루어진다면 토마토의 미용 기능성 식품으로서의 이해를 높일 수 있을 것으로 판단된다.

## 결 론

본 총설에서는 토마토(*Solanum lycopersicum*)에 함유된 주요 생리활성 성분을 중심으로 이들 성분의 특성과 피부 건강 및 미용 기능성과의 관련성을 기존 연구를 바탕으로 종합적으로 고찰하였다. 토마토에는 리코펜을 비롯한 카로티노이드, 비타민, 폴리페놀 및 글리코알칼로이드 등을 함유하고 있으며, 이들 성분은 항산화 작용을 기반으로 피부 노화, 색소 침착 및 주름 형성과 관련된 생리적 과정에 긍정적인 영향을 미칠 수 있는 것으로 보고되어 왔다.

특히 토마토에 풍부한 리코펜과  $\beta$ -카로틴은 자외선 유래 산화 손상과 염증 반응을 조절하는 신호 전달 경로와 관련되어 피부 보호 효과를 나타내는 것으로 제시되었으며, 일부 인체 연구에서는 피부 색소 지표 및 탄력 개선과 관련된 결과가 확인되었다. 또한 토마토 유래 폴리페놀 및 플라보노이드는 항산화 및 항염 작용과 함께 멜라닌 생성 조절 및 콜라겐 분해 억제와 관련된 가능성이 보고되어, 토마토의 피부 관련 효능이 단일 성분이 아닌 복합 생리활성 물질의 상호작용에 기반할 수 있음을 시사한다.

그러나 현재까지의 연구 결과는 주로 세포 및 동물 실험에 기반한 경우가 많으며, 인체 적용 시험을 통해 효능과 안전성을 동시에 검증한 연구는 제한적인 실정이다. 또한 토마토는 품종과 가공 조건에 따라 생리활성 성분의 조성 및 함량이 달라질 수 있어, 연구 결과를 직접적으로 비교하거나 일반화하는 데 어려움이 따른다. 특히 경구 섭취를 통한 인체 적용 연구는 아직 충분히 축적되지 않아, 섭취량과 섭취 기

간에 따른 피부 지표 변화의 관계를 명확히 설명하기에는 추가적인 근거가 요구된다. 향후 연구에서는 성분 조성이 명확히 제시된 토마토 원료를 활용한 무작위 대조 인체중재시험(randomized controlled trials)이 추가적으로 이루어질 필요가 있다.

종합하면, 토마토는 다양한 생리활성 성분을 함유한 식이 소재로서 피부 건강 유지 및 미용 기능성 측면에서 활용 가능성을 지니고 있으며, 향후 체계적인 연구를 통해 기능성 식품 및 미용 소재로서의 과학적 근거가 더욱 확립될 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 2025년도 교육부 및 경상남도의 재원으로 경상남도RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 결과입니다(2025-RISE-16-005-R003).

## REFERENCES

- Abushita AA, Daood HG, Biacs PA (2000) Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *J Agric Food Chem* 48(6): 2075-2081.
- Ahn JB (2018) Characterization of bioactive compounds of domestic tomato varieties. *Culi Sci & Hos Res* 24(1): 63-72.
- Ahn YJ, Kim H (2021) Lutein as a modulator of oxidative stress-mediated inflammatory diseases. *Antioxidants* 10(9): 1448.
- Ali MY, Sina AAI, Khandker SS, Neesa L, Tanvir EM, Kabir A, Khalil MI, Gan SH (2021) Nutritional composition and bioactive compounds in tomatoes and their impact on human health and disease: A review. *Foods* 10(1): 45.
- Avila MI, Rodríguez LG, Sánchez ML (2018) Collagen: A review on its sources and potential cosmetic applications. *J Cosmet Dermatol* 17(1): 20-26.
- Beecher GR (1998) Nutrient content of tomatoes and tomato products. *Proc Soc Exp Biol Med* 218(2): 98-100.
- Bhowmik D, Kumar KS, Paswan S, Srivastava S (2012) Tomato: A natural medicine and its health benefits. *J Pharmacogn Phytochem* 1(1): 33-43.
- Burns J, Fraser PD, Bramley PM (2003) Identification and quantification of carotenoids, tocopherols and chlorophylls in commonly consumed fruits and vegetables. *Phytochemistry*

- 62(6): 939-947.
- Cawthorn WP, Scheller EL, MacDougald OA (2012) Adipose tissue stem cells meet preadipocyte commitment: Going back to the future. *J Lipid Res* 53(2): 227-246.
- Cha JH, Kim WK, Ha AW, Kim MH, Chang MJ (2017) Anti-inflammatory effect of lycopene in SW480 human colorectal cancer cells. *Nutr Res Pract* 11(2): 90-96.
- Chaudhary P, Sharma A, Singh B, Nagpal AK (2018) Bioactivities of phytochemicals present in tomato. *J Food Sci Technol* 55(8): 2833-2849.
- Choi SH (2021) Polyphenol and flavonoid contents, antioxidative and cancer cell inhibitory effects of domestic tomatoes. *Jour of KoCon a* 21(12): 879-887.
- Choi SH, Kim DH, Kim DS (2011) Comparison of ascorbic acid, lycopene,  $\beta$ -carotene and  $\alpha$ -carotene content in processed tomato products, tomato cultivar and part. *Culi Sci & Hos Res* 17(4): 263-272.
- Collins EJ, Bowyer C, Tsouza A, Chopra M (2022) Tomatoes: An extensive review of the associated health impacts of tomatoes and factors that can affect their cultivation. *Biology (Basel)* 11(2): 239.
- Cosgrove MC, Franco OH, Granger SP, Murray PG, Mayes AE (2007) Dietary nutrient intakes and skin-aging appearance among middle-aged American women. *Am J Clin Nutr* 86(4): 1225-1231.
- Darawsha A, Trachtenberg A, Levy J, Sharoni Y (2021) The protective effect of carotenoids, polyphenols, and estradiol on dermal fibroblasts under oxidative stress. *Antioxidants* 10(12): 2023.
- Dias MG, Camões MFGFC, Oliveira L (2009) Carotenoids in traditional Portuguese fruits and vegetables. *Food Chem* 113(3): 808-815.
- Eom HJ, Kang HJ, Yoon HS, Kwon NR, Kim Y, Hong ST, Park J, Lee J (2019) A study on contents of beta-carotene in local agricultural products. *Korean J Food Nutr* 32(4): 335-341.
- Friedman M (2013) Anticarcinogenic, cardioprotective, and other health benefits of tomato compounds lycopene,  $\alpha$ -tomatine, and tomatidine in pure form and in fresh and processed tomatoes. *J Agric Food Chem* 61(40): 9534-50.
- Frusciante L, Carli P, Ercolano MR, Pernice R, Matteo AD, Fogliano V, Pellegrini N (2007) Antioxidant nutritional quality of tomato. *Mol Nutr Food Res* 51(5): 609-617.
- Grune T, Lietz G, Palou A, Ross AC, Stahl W, Tang G, Thurnham D, Yin S, Biesalski HK (2010)  $\beta$ -Carotene is an important vitamin a source for humans. *J Nutr* 140(12): 2268S-2285S.
- Hong JK (2009) A study on skin aging caused by free-radical and on efficacy of antioxidant vitamins. *Asian J Beauty Cosmetol* 7(2): 51-62.
- Hong Y, Boiti A, Vallone D, Foulkes NS (2024) Reactive oxygen species signaling and oxidative transcriptional regulation and evolution. *Antioxidants* 13(3): 312.
- Hwang ES, Bowen PE (2004) Effects of tomatoes and lycopene on prostate cancer prevention and treatment. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33(2): 455-462.
- In MJ, Jo MY, Kim HJ, Shim SC, Jang YM, Kim DC (2024) Antioxidant effects of ethanolic extract from tomato (*Solanum lycopersicum* L.) peel. *J Appl Biol Chem* 67(52): 374-379.
- Jeong SJ, Shim HR, Lee JS, Nam HS, Lee HG (2015) Antioxidant and synergistic activities of fruit and vegetable concentrates. *Korean J Food Sci Technol* 47(2): 240-245.
- Jomova K, Raptova R, Alomar SY, Alwasel SH, Nepovimova E, Kuca K, Valko M (2023) Reactive oxygen species, toxicity, oxidative stress, and antioxidants: Chronic diseases and aging. *Arch Toxicol* 97(10): 2499-2574.
- Khachik F, Beecher GR, Smith JC Jr (2002) Lutein, lycopene, and their oxidative metabolites in chemoprevention of cancer. *J Cell Biochem Suppl* 22: 236-246.
- Kim D, Son B, Choi Y, Kang J, Lee Y, Je B, Park Y (2020) Quantitative analysis of water-soluble vitamins and polyphenolic compounds in tomato varieties (*Solanum lycopersicum* L.). *J Plant Biotechnol* 47: 78-89.
- Kim HK, Chun JH, Kim SJ (2015) Method development and analysis of carotenoid compositions in various tomatoes. *Korean J Environ Agric* 34(3): 196-203.
- Kim JM, Jeon SW, Lee WG, Nam HJ, Kim YB (2010) Study of preventing methods for skin aging and wrinkles. *J Physiol & Pathol Korean Med* 24(4): 533-542.
- Kim JY, Lee JS, Han YS, Lee JH, Bae I, Yoon YM, Kwon SM, Lee SH (2015) Pretreatment with lycopene attenuates oxidative stress-induced apoptosis in human mesenchymal stem cells. *Biomol Ther* 23(6): 517-524.
- Kozukue N, Han JS, Lee HK, Friedman M (2004) Dehydrotomatine and alpha-tomatine content in tomato fruits and vegetative plant tissues. *J Agric Food Chem* 52(7): 2079-83.

- Kozukue N, Kim DS, Choi SH, Mizuno M, Friedman M (2023) Isomers of the tomato glycoalkaloids  $\alpha$ -tomatine and dehydrotomatine: Relationship to health benefits. *Molecules* 28(8): 3621.
- Ku HB, Son ES, Park MJ, Kim GN (2025) Mechanisms of melanin biosynthesis and whitening effects of natural product-derived food ingredients: A review of recent research trends. *J East Asian Diet Life* 35(4): 240-248.
- Lee E, Hong J (2022) Effects of dietary carotenoid pigments on growth and inflammatory responses in skin cells and monocytes. *Korean J Food Sci Technol* 54(5): 483-489.
- Lee H, Lee JM, Hong SM, Kim NY, Son SJ, Jeong YJ, Lee HS, Lee J (2018) Protective effects of ethanol extracts from selected food materials against UVB-induced damage in human skin fibroblast (Hs68) cells. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 47(6): 664-668.
- Lima GPP, Gómez HAG, Junior SS, Maraschin M, Tecchio MA, Borges CV (2022) Functional and nutraceutical compounds of tomatoes as affected by agronomic practices, postharvest management, and processing methods: A mini review. *Front Nutr* 9: 868492.
- Liu Y, Hu H, Yang R, Zhu Z, Cheng K (2023) Current advances in the biosynthesis, metabolism, and transcriptional regulation of  $\alpha$ -tomatine in tomato. *Plants* 12(18): 3289.
- Madison KC (2003) Barrier function of the skin: “la raison d’être” of the epidermis. *J Invest Dermatol* 121(2): 231-241.
- Miazek K, Beton K, Śliwińska A, Brożek-Płuska B (2022) The effect of  $\beta$ -carotene, tocopherols and ascorbic acid as anti-oxidant molecules on human and animal *in vitro/In Vivo* studies: A review of research design and analytical techniques used. *Biomolecules* 12(8): 1087.
- Ministry of Food and Drug Safety (2025) Food Composition Data-Tomato (*Solanum lycopersicum*), Nutrient Database System for Standard Food. <https://various.foodsafetykorea.go.kr> (accessed on 26. 2. 2026).
- Nwachukwu ID, Udenigwe CC, Aluko R (2016) Lutein and zeaxanthin: Production technology, bioavailability, mechanisms of action, visual function, and health claim status. *Trends Food Sci Technol* 49: 74-84.
- Oh BY, Lee YS, Kang JH, Nam SH, Lee SK, An IS, Kim EH, Jung KJ (2013) Inhibition effect of tomato leaves supercritical extracts on skin pigmentation. *Asian J Beauty Cosmetol* 11(6): 1129-1136.
- Paciolla C, Fortunato S, Dipierro N, Paradiso A, De Leonardis S, Mastropasqua L, de Pinto MC (2019) Vitamin C in plants: From functions to biofortification. *Antioxidants* 8(11): 519.
- Park CM, An H, Yoon HS (2024) Anti-oxidant activity of lycopene via the induction of HO-1 expression by MAPK/Nrf2 signaling pathway in RAW 264.7 cells. *Journal of The Korean Society of Integrative Medicine* 12(1): 1-10.
- Park SN (1997) Skin aging and antioxidant. *J Soc Cosmet Sci Korea* 23(1): 75-132.
- Park SY, Jung H, Jhin C, Hwang KT, Kwak HK (2017) Comparison of quantitative structure-activity relationship and chemical antioxidant activity of  $\beta$ -carotene and lycopene and their protective effects on intracellular oxidative stress. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 46(9): 1143-1150.
- Proksch E, Brandner JM, Jensen JM (2008) The skin: An indispensable barrier. *Exp Dermatol* 17(12): 1063-1072.
- Raiola A, Tenore GC, Barone A, Frusciante L, Rigano MM (2015) Vitamin E content and composition in tomato fruits: Beneficial roles and bio-fortification. *Int J Mol Sci* 16(12): 29250-64.
- Rao AV, Agarwal S (2000) Role of antioxidant lycopene in cancer and heart disease. *J Am Coll Nutr* 19(5): 563-9.
- Rhim TJ (2022) Radical scavenging activities and anti-inflammatory effects of tomato extracts. *Korean J Community Living Sci* 33(1): 39-53.
- Riso P, Visioli F, Erba D, Testolin G, Porrini M (2004) Lycopene and vitamin C concentrations increase in plasma and lymphocytes after tomato intake. Effects on cellular antioxidant protection. *Eur J Clin Nutr* 58(10): 1350-8.
- Rizwan M, Rodriguez-Blanco I, Harbottle A, Birch-Machin MA, Watson REB, Rhodes LE (2011) Tomato paste rich in lycopene protects against cutaneous photodamage in humans *in vivo*: A randomized controlled trial. *Br J Dermatol* 164(1): 154-62.
- Schuler G, Steinman RM (1985) Murine epidermal langerhans cells mature into potent immunostimulatory dendritic cells *in vitro*. *J Exp Med* 161(3): 526-546.
- Serio F, Leo L, Parente A, Santamaria P (2006) Antioxidant properties of tomato fruits as affected by water regime and ripening stage. *J Sci Food Agric* 86(14): 2468-2475.
- Serrati S, Porcelli L, Guida S, Ferretta A, Iacobazzi RM, Cocco T, Maida I, Tamasi G, Rossi C, Manganelli M, Tommasi S, Azzariti A, Guida G (2020) Tomatine displays antitumor potential in *in vitro* models of metastatic melanoma. *Int J Mol Sci* 21(15): 5243.

- Shankaranarayanan J, Arunkanth K, Dinesh KC (2018) Beta carotene-therapeutic potential and strategies to enhance its bioavailability. *Nutri Food Sci Int J* 7(4): 555716.
- Sherratt MJ, Bayat A (2016) Ageing and the skin: Structure, function and repair. *Int J Cosmet Sci* 38(3): 211-218.
- Shi J, Le Maguer M (2000) Lycopene in tomatoes: Chemical and physical properties affected by food processing. *Crit Rev Food Sci Nutr* 40(1): 1-42.
- Shi J, MacNaughton L, Kakuda Y, Bettger W, Yeung D, Jiang Y (2004) Bioavailability of lycopene from tomato products. *Prev Nutr Food Sci* 9(1): 98-106.
- Slimestad R, Verheul M (2009) Review of flavonoids and other phenolics from fruits of different tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars. *J Sci Food Agric* 89(8): 1255-1270.
- Soares NCP, Machado CL, Trindade BB, Lima ICC, Gimba ERP, Teodoro AJ, Takiya C, Borojevic R (2017) Lycopene extracts from different tomato-based food products induce apoptosis in cultured human primary prostate cancer cells and regulate TP53, Bax and Bcl-2 transcript expression. *Asian Pac J Cancer Prev* 18(2): 339-345.
- Song SB, Chung GJ, Jung HJ, Jang JY, Chung HY, Kim ND, Lee JH, Min K, Park SY, Kwak CS, Hwang ES (2021) Suppression of reactive oxygen species generation as a part of antioxidative effect of plant extracts. *Korean J Food Sci Technol* 53(6): 706-714.
- Stahl W, Sies H (2007) Carotenoids and flavonoids contribute to nutritional protection against skin damage from sunlight. *Mol Biotechnol* 37(1): 26-30.
- Story EN, Kopec RE, Schwartz SJ, Harris GK (2010) An update on the health effects of tomato lycopene. *Annu Rev Food Sci Technol* 1: 189-210.
- Tarshish E, Hermoni K (2023) Beauty from within: Improvement of skin health and appearance with Lycopato a tomato-derived oral supplement. *J Cosmet Dermatol* 22(6): 1786-1798.
- Yoon Y, Bae S, An S, Choe YB, Ahn KJ, An IS (2013) Effects of ultraviolet radiation on the skin and skin cell signaling pathways. *Asian J Beauty Cosmetol* 11(3): 417-426.
- Zhang S, Lu S, Wang Y, Ni J, Xiao G (2024) The efficacy of a novel tomato extracts formulation on skin aging and pigmentation: A randomized, double-blind, parallel-controlled trial. *J Dermatol Sci Cosmet Technol* 1(1): 100005.
- Zhang X, Zhou Q, Qi Y, Chen X, Deng J, Zhang Y, Li R, Fan J (2024) The effect of tomato and lycopene on clinical characteristics and molecular markers of UV-induced skin deterioration: A systematic review and meta-analysis of intervention trials. *Crit Rev Food Sci Nutr* 64(18): 6198-6217.
- Zhao Z, Chen J, Ci FF, Pang H, Cheng N, Xing A (2022)  $\alpha$ -carotene: A valuable carotenoid in biological and medical research. *J Sci Food Agric* 102: 5606-5617.

---

Date Received Feb. 03, 2026  
 Date Revised Feb. 27, 2026  
 Date Accepted Feb. 28, 2026