

Food 에세이

## 토마토의 헬스푸드 스토리

고종호<sup>1</sup> · 김세윤<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국폴리텍특성화대학 바이오식품분석과, 토마토산학연합협력단

<sup>2</sup>동부팜가야(주)

### 토마토에 알려져 있는 피토케미칼 성분과 생리활성

리코펜의 보고로 10대 장수 식품으로 전 세계에 알려져 있는 가지과 식물에 속하는 토마토(*Lycopersicon esculentum*)에는 9종류의 카로티노이드 성분 이외에 페놀계(phenolic compounds)중 플라노이드계 성분으로 퀘세틴(Quercetin) 함량이 높은 것으로 알려져 있다. 퀘세틴은 신선토마토나 캔 제품에는 주로 conjugated form으로 1.2~21.5, free form으로 0.1~0.2 mg/100 g 수준으로 함유되어 있으며 소스류에는 각각 10.9~61.4 및 3.8~9.5 mg/100 g 수준으로 함유되어 있는 것으로 알려져 있다. 이는 열처리 가공 공정 등을 거치면서 상당 부분의 conjugated form이 free form으로 전환된 것을 알 수 있다. 캄페놀(kaempferol)과 나린제닌(naringenin) 함량은 다소 적게 함유하고 있는 것으로 알려져 있으며 캄페놀은 free form과 conjugated form이 신선 토마토나 캔 제품에는 각각 0.1~0.3 및 0.1~1.3 mg/100 g, 소

스류에는 각각 0.0~0.06 및 0.2~1.3 mg/100 g이 함유되어 있고 나린제닌은 신선 토마토나 캔 제품에는 0.8~4.5 mg/100 g, 소스류에는 2.5 mg/100 g이 함유(그림 1)되어 있다(1-3).

이외 페놀계 캄파운드로 분류되는 hydroxycinnamic acids 구조를 갖고 있는 피토케미칼 성분으로는 크로로제닉산(chlorogenic acid), 카페익산(caffeic acid), 페룰산(ferulic acid), 카우마릭산( $\Delta$ -coumaric acid)이 알려져 있으며, 크로로제닉산은 신선 토마토나 캔 제품에는 0.9~4.2 mg/100 g, 소스류에는 0.7 mg/100 g, 카페익산, 페룰산 및 카우마릭산은 소스류에는 잔존하지 않고 신선 토마토나 캔 제품에만 각각 0.1~0.7, 0.1~0.2 및 0.2~0.4 mg/100 g 함유되어 있다.

이외에 녹색토마토에 보다 풍부하게 함유되어 있는 것으로 알려진 토마틴(tomatine)은 0.5 mg/100 g이 함유되어 있다.



그림 1. 토마토와 피토케미칼 성분들

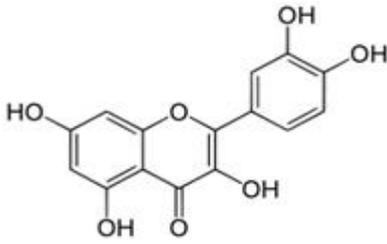


그림 2. 퀘세틴의 화학구조

### 퀘세틴과 생리적 활성

토마토의 껍질에는 다량의 페놀 물질들이 존재하며 이 가운데 플라본(flavone)류에 속하는 퀘세틴(Quercetin, 그림 2)은 활성산소와 결합하여 활성산소를 제거해 주고 남성호르몬인 안드로젠 수용체(androgen receptor)의 발현을 저지함으로써 전립선 암의 예방에 효과가 있다고 알려져 있다.

Giovanucci 등(4)은 토마토나 토마토 가공식품의 섭취는 전립선암의 예방효과가 있는 것으로 보고하였으며 12년 동안의 또 다른 추적 연구를 통하여 일주일에 2회 이상 토마토 소스를 섭취했을 경우 전립선암의 발병 위험을 약 23%까지 감소시킬 수 있다고 발표하였다.

Hwang 등(5)은 임상연구 보고에서 라이코펜 섭취와 토마토 제품섭취군 모두가 백혈구 및 전립선에서의 DNA 산화물질을 감소시킴을 확인하였다고 보고하였다.

### 캠페놀과 생리적 활성

몇몇 전염병학 연구(epidemiological studies)에서 캠페놀(kaempferol, 그림 3)을 함유하는 식품의 섭취와 암(cancer) 및 심혈관 질환(cardiovascular diseases)과 같은 몇몇 질환 형성 감소와 긍정적인 연관성이 있다고 보고하였다. 많은 전임상 연구(preclinical studies)에는 캠페놀과 캠페놀 배당체가 다양한 약리적 활성, 즉 항산화(anti-oxidant), 항염증(anti-inflammatory), 항암(anti-cancer), 심장보호(cardio-protective), 신경보호(neuro-protective), 항골공증(anti-osteoporotic), 에스트로젠/항에스트로젠 활성(estrogenic/anti-estrogenic), 항알러지(anti-allergic), 심장질환 위험감소(reduced risk of heart disease) 활성 등을 갖고 있다고 알려져

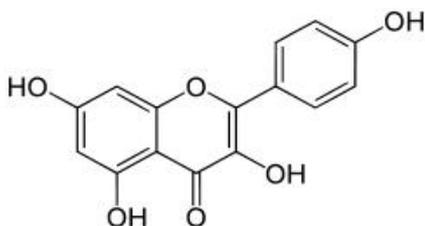


그림 3. 캠페놀의 화학구조

있다(6-8).

### 나린제닌과 생리적 활성

나린제닌(naringenin, 그림 4)은 그레이프프루트(grapefruit), 오렌지 및 토마토(껍질)에 풍부하게 존재한다. 이 성분은 단순히 섭취로는 체내에 흡수되기 어렵다. 가장 효과적인 경우라 하더라도 섭취된 나린제닌 중 15%만이 장내에서 흡수가 된다. Naringenin-7-glucoside form은 aglycone 구조보다 생체 이용률(bioavailable)이 더욱 나쁘며 나린제닌은 가열 조리된 상태(cooked tomato paste)의 경우에 흡수가 더 잘 된다(9,10).

나린제닌은 항산화(antioxidant), 자유 라디칼 제거(free radical scavenger), 항염증(anti-inflammatory agent), 탄수화물대사 촉진(carbohydrate metabolism promoter) 및 면역계 조절(immune system modulator) 작용 기능으로서의 인체 건강에 대한 생체활성 효과(bioactive effect)를 발휘하는 것으로 알려져 있다. 나린제닌은 *in vitro* DNA의 산화적 손상(oxidative damage)을 줄여 주고 고지방 식이(high-fat diet)의 비만 영향으로부터 LDLR-결여 마우스(deficient mice)를 보호하며 고콜레스테롤 식이(high-cholesterol diet) 쥐(rats)의 HMG-CoA reductase 및 ACAT을 억제시킴으로써 혈청(plasma) 및 간의 콜레스테롤 농도(cholesterol concentration)를 낮추는 데 기여한다(3,11,12).

### 페룰산과 생리적 활성

페룰산(ferulic acid, 그림 5)은 커피, 사과, 아티초크, 땅콩, 오렌지 및 파인애플뿐만 아니라 쌀, 보리 및 밀의 씨에 존재하며 아라비노자일란과 같은 식물 세포벽에서도 발견된다. 리그닌의 한 구성 성분으로서 아로마 캠페운드 합성의 전구체로서 역할을 한다(13). 페룰산은 효모(특히 밀 맥주 양조에 사용되는 *Saccharomyces delbrueckii*)에 의하여 4-vinyl guaiacol(Weosbier 및 Wit 맥주에 독특한 “clove” 향을 부여함)으로 전환된다(14).

페룰산은 DNA 손상(damage), 암(cancer), 세포노화 촉진(accelerated cell aging)과 관련이 있는 활성산소(reactive oxygen species, ROS)와 같은 자유라디칼(free radicals)에 반응성을 갖는 *in vitro* 항산화제로 작

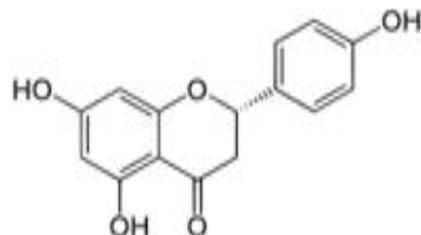


그림 4. 나린제닌의 화학구조

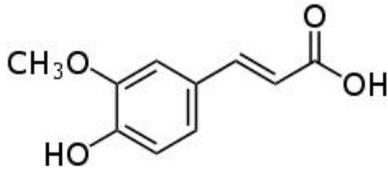


그림 5. 페롤산의 화학구조

용을 하며, 비타민 C(ascorbic acid) 및 비타민 E의 국부적 첨가 시에는 페롤산이 피부의 산화적 스트레스(oxidative stress) 및 thymine dimers 형성을 감소시킨다. 페롤산이 폐암(breast cancer) 및 간암(liver cancer)에 대한 직접적인 항종양 활성이 있다고 동물연구(animal studies) 및 *in vitro* 연구에서 밝혀졌다(15,16).

### 카페익산과 생리적 활성

카페익산(caffeic acid, 그림 6)은 리그닌 생합성의 주요 중간체로 모든 식물에서 발견된다. 카페익산은 *in vitro* 및 *in vivo*에서 항산화 활성이 있다고 알려져 있으며 면역조절(immune-modulatory), 항염증(anti-inflammatory) 및 발암작용(carcinogenesis) 억제 활성이 있다고 알려져 있다(17).

### 크로로제닉산과 생리적 활성

크로로제닉산(chlorogenic acid, 그림 7)은 많은 식물체에서만 아니라 커피 및 대나무 죽순대에서 발견되는 페놀계로 리그닌 생합성, 페놀릭 카페익산과 cyclitol (-)-guinic acid의 에스테르의 주요 중간체로 항산화제로서 상대적으로 저 독성(low toxicity)이며 부작용이 낮다. 크로로제닉산은 항 미생물 저항성을 유도하지 않는

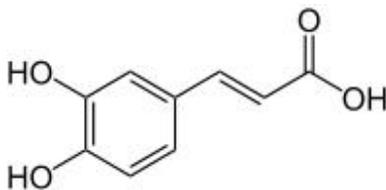


그림 6. 카페익산의 화학구조

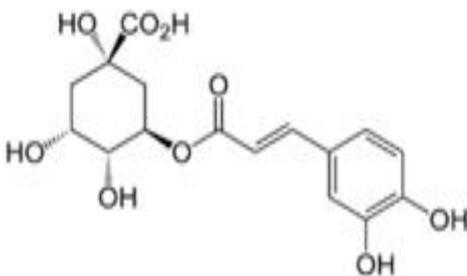


그림 7. 크로로제닉산의 화학구조

특성과 함께 항바이러스, 항세균성, 항곰팡이성 효과가 있어 제약, 식품, 사료 및 화장품에 활용되고 있다(18).

크로로제닉산은 식사 후에 포도당이 혈류로의 방출을 느리게 하여 체중감량 촉진 목적으로 커피, 껌 및 민트에 식품첨가물(노르웨이와 영국 시판, Svetol®)로 사용하고 있으며 당뇨 및 심혈관 질환(cardiovascular disease)의 예방에 기여한다(19,20).

### 카우마릭산과 생리적 활성

카우마릭산(coumaric acid)은 *o*-coumaric acid, *m*-coumaric acid와 *p*-coumaric acid으로 존재하며 *p*-coumaric acid(그림 8)이 자연계에서 가장 풍부하다. Lignocellulose의 중요 구성으로 물에는 약간 용해되지만 에탄올과 디에틸에테르에는 잘 녹는 항산화 물질로 토마토 외에는 땅콩, 당근 및 마늘 등에 함유되어 있다. *p*-coumaric acid은 와인에서 효모 *Brettanomyces*에 의해 생성되는 4-ethylphenol의 전구체이기도 하다. 효모의 cinnamate decarboxylase에 의해 4-vinylphenol로 전환되고 vinyl phenol reductase에 의해 4-ethylphenol 환원된다. *Brettanomyces* 양성반응(냄새) 확인을 위해 미생물 배지법에 카우마릭산을 첨가하여 사용하기도 한다.

카우마릭산은 발암성 니트로아민(carcinogenic nitrosamines)의 형성을 감소시킴으로써 위암(stomach

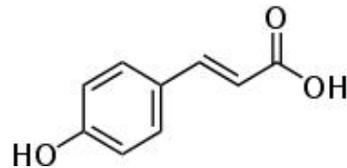


그림 8. 파라-카우마릭산의 화학구조

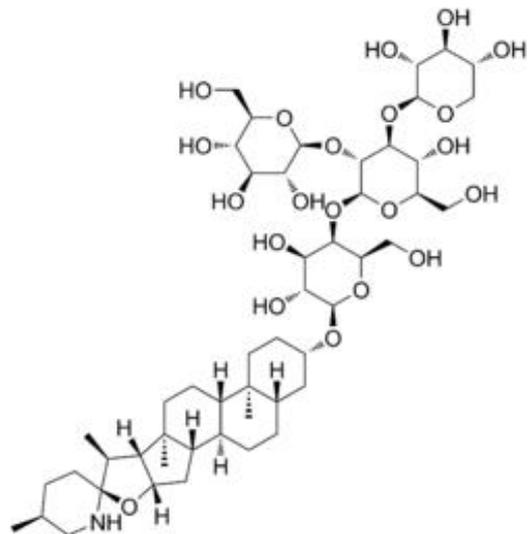


그림 9. 토마틴의 화학구조

cancer)의 발생을 감소시킨다고 알려져 있다(21).

### 토마틴과 생리적 활성

토마틴(tomatine, 그림 9)은 녹색 토마토에 다량 존재하며 플럼 토마토(plum tomato)에는 소량 함유되어 있다. 척추동물에서 항염증 효과를 보이며 사이토카인(cytokines)을 유도하고 인체 암세포에 대한 약제 내성(multi-drug resistance)을 억제함으로써 항암화학요법에도 효과가 있는 것으로 보고되고 있으며, 토마틴은 특정 단백질 항원과 관련된 면역 보조제로 알려져 있다(22).

### 참고문헌

- Beecher GR. 1998. Nutrient content of tomatoes and tomato products. *Proc Soc Exp Biol Med* 218: 98-100.
- Giovannucci E, Ascherio A, Rimm EB, Stampfer MJ, Colditz GA, Willett WC. 1995. Intake of acrotenoides and retinol in relation to risk of prostate cancer. *J Natl Cancer Inst* 87: 1767-1776.
- Martínez-Valverde I, Periago MJ, Provan G, Chesson A. 2002. Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum*). *J Sci Food Agric* 82: 323-330.
- Giovannucci E, Rimm EB, Liu Y, Stampfer MJ, Willett WC. 2002. A prospective study of tomato products, lycopene, and prostate cancer risk. *J Natl Cancer Inst* 94: 391-398.
- Hwang ES, Bowen, Bowen PE. 2004. Effects of Tomatoes and Lycopene on Prostate Cancer Prevention and Treatment. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 455-462.
- Kim SH, Choi KC. 2013. Anti-cancer effect and underlying mechanism(s) of kaempferol, a phytoestrogen, on the regulation of apoptosis in diverse cancer cell models. *Toxicol Res* 29: 229-234.
- Lee WS, Lee EG, Sung MS, Yoo WH. 2014. Kaempferol inhibits IL-1 $\beta$ -stimulated, RANKL-mediated osteoclastogenesis via downregulation of MAPKs, c-Fos, and NFATc1. *Inflammation* 37: 1221-1230.
- Lee KH, Cho YL, Joo CG, Joo YJ, Kwon SS, Park C. 2011. Study on the Anti-inflammatory Effect of Kaempferol and Kaempferol Rhamnosides Isolated from *Hibiscus cannabinus* L.. *Korean J Medicinal Crop Sci* 19: 426-434.
- Tulipani S, Huelamo MM, Ribalta MR, Estruch R, Ferrer EE, Andres-Lacueva C, Illan M, Lamuela-Raventós RM. 2012. Oil matrix effects on plasma exposure and urinary excretion of phenolic compounds from tomato sauces: evidence from a human pilot study. *Food Chemistry* 130: 581-590.
- Bugianesi R, Salucci M, Leonardi C, Ferracane R, Catasta G, Azzini E, Maiani G. 2004. Effect of domestic cooking on human bioavailability of naringenin, chlorogenic acid, lycopene and  $\beta$ -carotene in cherry tomatoes. *European J Nutrition* 43: 360-366.
- Annadurai T, Muralidharan AR, Joseph T, Hsu M J, Thomas PA, Geraldine P. 2012. Antihyperglycemic and antioxidant effects of a flavanone, naringenin, in streptozotocin-nicotinamide-induced experimental diabetic rats. *J Physiol Biochem* 68: 307-318.
- Campbell JK, King JL, Harmston M, Lila MA, Erdman Jr JW. 2006. Synergistic effects of flavonoids on cell proliferation in Hepa-1c1c7 and LNCaP cancer cell lines. *J Food Science* 71: 358-363.
- Mandal S, Mitra A. 2008. Accumulation of cell wall-bound phenolic metabolites and their upliftment in hairy root cultures of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Bio-technol Lett* 30: 1253-1258.
- Mukai N, Masaki K, Fujii T, Iefuji H. 2013. Single nucleotide polymorphisms of PAD1 and FDC1 show a positive relationship with ferulic acid decarboxylation ability among industrial yeasts used in alcoholic beverage production. *J Biosci Bioeng* 118: 50-55.
- Cesare M, Rosaria S. 2013. Ferulic acid: pharmacological and toxicological aspects. *Food Chem Toxicol* 65: 185-195.
- Panneerselvam L, Subbiah K, Arumugam A, Senapathy JG. 2012. Ferulic acid modulates fluoride-induced oxidative hepatotoxicity in male wistar rats. *Bio Tra Ele Res* 151: 85-91.
- Rajendra Prasad N, Karthikeyan A, Karthikeyan S, Reddy Bandugula Venkata. 2010. Inhibitory effect of caffeic acid on cancer cell proliferation by oxidative mechanism in human HT-1080 fibrosarcoma cell line. *Mol Cell Biochem* 349: 11-19.
- Kabir F, Katayama S, Tanji N, Nakamura S. 2014. Antimicrobial effects of chlorogenic acid and related compounds. *J Kor Soc Appl Bio Chem* 57: 359-365.
- Lee J, Seo KI, Kim MJ, Lee SJ, Park EM, Lee MK. 2012. Chlorogenic Acid Enhances Glucose Metabolism and Antioxidant System in High-fat Diet and Streptozotocin-induced Diabetic Mice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 41: 774-781.
- Cha JY, Kim DJ, Cho YS. 2000. Effect of Chlorogenic Acid on the Concentrations of Serum and Hepatic Lipid in Rats. *J Korean Soc Agric Chem Biotechnol* 43: 153-157.
- Femia AP, Caderni G, Buzzigoli C, Cocca E, Salvadori M, Dolara P. 2001. Effect of simple phenolic compounds on azoxymethane-induced aberrant crypt foci in rat colon. *Nutr Cancer* 41: 107-110.
- Friedman M, Levin CE, Lee SU, Kim HJ, Lee IS, Byun IS, Byun JO, Kozulue N. 2009. Tomatine-containing green tomato extracts inhibit growth of human breast, colon, liver, and stomach cancer cells. *J Agric Food Chem* 57: 5727-5733.