

Phenolic acid가 Maillard 반응 모델액의 갈변억제에 미치는 영향

곽은정 · 임성일*

한국식품연구원 발효식품연구팀

Effect of Phenolic Acids on Inhibition of Browning of Maillard Reaction Model Solutions

Eun-Jung Kwak and Seong-II Lim*

Department of Fermented Food Research, Korea Food Research Institute

Abstract The effects of phenolic acids on inhibition of browning by the Maillard reaction were investigated with a glucose-glutamic acid model for *doenjang* with citric acid as the antibrowning agent and phenolic acid as its synergist. Five phenolic acids, cinnamic, coumaric, caffeic, hydroxybenzoic, and protocatechuic acids, were used. In order to investigate the antibrowning capacity, 0.1 M glucose, 0.1 M glutamic acid, 50 mM citric acid, and 1 mM phenolic acid were dissolved in 1 M phosphate buffer (pH 7.0), heated at 50°C for 24 hr in the presence of 0.2 mM FeCl₂, and stored at 4°C or 30°C for four weeks. Phenolic acid addition more efficiently inhibited browning during storage at 30°C than at 4°C, without changes in pH. Hydroxybenzoic acid was the most efficient and increased the antibrowning capacity by 13% compared to sample without phenolic acids. Although caffeic and protocatechuic acids inhibited most the formation of 3-deoxyglucosone or fluorescence, they increased browning by forming colored complexes between two hydroxy groups of phenolic acids and iron ions. Hydroxybenzoic acid will be able to be a useful synergist of citric acid, an antibrowning agent in *doenjang*, since it is permitted for *doenjang*.

Key words: Maillard reaction, inhibition of browning, phenolic acid, synergist, *doenjang*

서 론

Maillard 반응은 환원당과 같은 carbonyl 화합물과 아미노산, 펩타이드, 단백질과 같은 amino 화합물간에 일련의 복잡한 화학반응이 일어나 갈색소인 melanoidin을 생성하는 비효소적 갈변반응의 일종이다(1). 이 반응은 식품의 색뿐 아니라 flavor, 생리기능 및 영양에도 영향을 미쳐서, 적당히 일어나면 식품의 가치를 상승시키지만 지나치게 일어나면 품질 저하의 원인이 된다. 또한 대부분의 식품 중에는 Maillard 반응이 일어나기 위한 필수성분인 당과 아미노산, 단백질 등이 존재하므로, Maillard 반응은 식품의 가공, 조리 및 저장 중에도 필연적으로 일어나게 되는 식품 성분간 반응이다. Maillard 반응이 일어나는 대표적인 식품으로는 된장, 간장, 커피, 맥주 등을 들 수 있다. 특히 된장에 있어 갈변은 매우 중요한 품질평가요인으로 작용하여, 해마다 저장유통 중 현저하게 변색된 수천 톤의 된장이 폐기처분되는 것으로 보고되었다(2). 이에 된장의 갈변을 억제하기 위해 질소 또는 이산화탄소 가스 중에서의 저장(3), 탈산소제 봉입(4), ascorbic acid(3) 및 인산염의 첨가(3,4), 저장온도 변화(5) 등의 방법이 시도되었다. 저자들은 전보(6)에서 citric acid를 된장에 첨가시 0.25%, 0.5%

첨가농도에서 갈변은 각각 23%, 30% 정도 억제됨을 보고하였다.

한편 phenolic acid는 polyphenol의 한 종류로 곡물, 과일, 채소, 음료, 커피 등 식물성 식품계에 널리 분포하여 식이로 늘상 섭취하는 식품성분이다(7). 이는 구조상 다시 cinnamic acid와 benzoic acid의 유도체로 분류된다(8). Phenolic acid는 주로 높은 항산화성을 가지는 물질로 잘 알려져 있는데(8-14), 이 같은 성질은 phenolic acid와 금속이온이 결합하여 착체를 형성함에 따라 free radical 생성이 억제되기 때문인 것으로 보고되었다(8,14). Phenolic acid는 생체에서도 유지 산패를 억제하여(15) 이에 따른 변이원성 억제(16)와 같은 생리기능을 나타내며, 그 밖에 미생물 생육을 억제하는 작용(17)도 보고되고 있다.

본 연구에서는 phenolic acid가 된장 모델로 선정된 glucose-glutamic acid계 모델액에 첨가한 갈변억제제의 synergist로서 갈변억제에 미치는 영향을 알아보았다.

재료 및 방법

시료조제

시료는 된장을 모델로 하여 된장 중에 가장 함량이 많은 당과 아미노산인 glucose와 glutamic acid계로 선정하고, 된장제조시 사용되는 용수는 지하수임을 고려하여 반응액에 철 이온을 첨가하였다. 또한 전보(6)에서 된장의 갈변억제제로 가장 효과적인 citric acid를 갈변억제제로 사용하였고, 이의 synergist로서 5종의 phenolic acid를 선정해 첨가하였다. 즉, 0.1 M glucose, 0.1 M glutamic acid, 50 mM citric acid, 1 mM phenolic acid를 1 M phosphate buffer(pH 7.0)에 용해한 후, 물에 용해한 FeCl₂를 최종 농도가 0.2

*Corresponding author: Seong-II Lim, Korea Food Research Institute, San 46-1, Baekhyun-dong, Seongnam-si, Kyonggi-do, 463-420, Korea
Tel: 82-31-780-9277
Fax: 82-31-709-9876
E-mail: silim@kfri.re.kr
Received October 8, 2006; accepted December 8, 2006

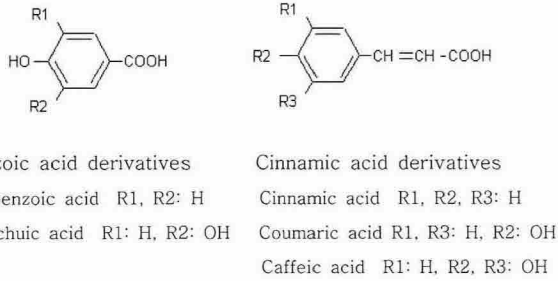


Fig. 1. Structure of phenolic acids.

mM이 되도록 첨가하였다. FeCl_2 를 물에 용해한 이유는 1 M phosphate buffer 중에서 용해되지 않고 침전물을 형성하기 때문이다. 다음 반응액 20 mL를 25 × 200 mm 시험관에 screw cap으로 밀봉하여 50°C의 block heater에서 24시간 가열하여 시료를 조제하였다. 시료액 15 mL를 30 mL 용량의 vial에 넣어 4°C와 30°C에서 각각 4주간 저장하면서 시료로 사용하였다.

Synergist의 선정

실험에 사용한 phenolic acid는 cinnamic acid계 3종, 즉 cinnamic acid, coumaric acid, caffeic acid와 benzoic acid계 2종, 즉 hydroxybenzoic acid, protocatechuic acid이다(Fig. 1). Cinnamic acid, coumaric acid, caffeic acid는 phenol에 OH기가 각각 0, 1, 2개 치환되어 있고, hydroxybenzoic acid, protocatechuic acid는 1, 2개가 치환되어 있는 구조를 갖는 화합물이다. 실험에서는 phenol에 치환된 OH기의 수에 따른 synergy 효과를 알아보았다.

갈변도 및 갈변억제율 측정

갈변도는 420 nm에서의 흡광도를 분광광도계(model 8453, Hewlett-Packard, Germany)를 이용하여 측정하였다. 갈변억제율은 다음의 식을 사용하여 계산하였다. 갈변억제율(%) = $100 - \{[\text{citric acid 또는 citric acid-phenolic acid 첨가구의 갈변도}/\text{대조구의 갈변도}] \times 100\}$

3-deoxyglucosone(3-DG) 생성량비 측정

3-DG의 생성량은 Ukeda와 Ishii의 방법(18)에 의해 530 nm에서의 흡광도를 측정한 후 대조구에 대한 생성량비를 구해 상대적 생성량비로 하였다. 생성량비는 다음의 식을 사용하여 계산하였다. 생성량비(%) = $(\text{citric acid 또는 citric acid-phenolic acid 첨가구의 흡광도}/\text{대조구의 흡광도}) \times 100$

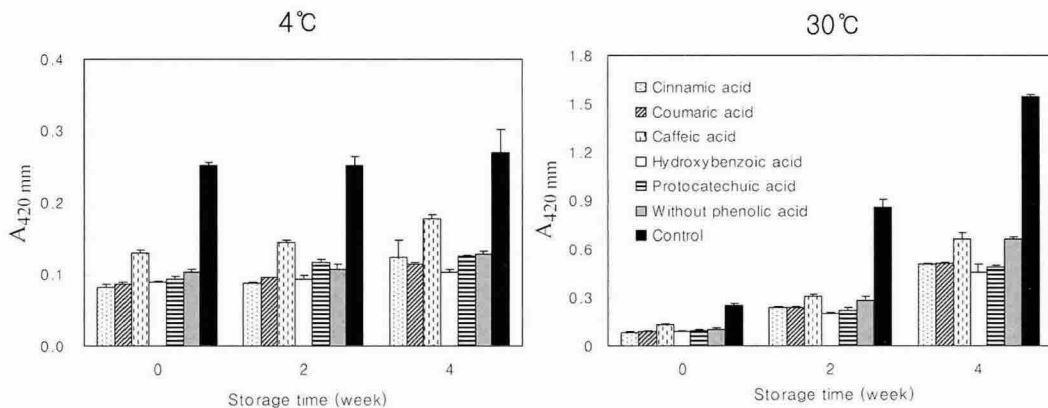


Fig. 2. Change in browning of the glucose-glutamic acid model solutions during storage at 4°C and 30°C for four weeks.

형광물질 측정

형광물질은 Morales와 Jiménez-Pérez의 방법(19)에 의해 excitation 파장은 341 nm, emission 파장은 415 nm에서 형광 분광광도계를 이용하여 측정하였다. 표준물질로는 quinine sulfate(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)를 사용하였다.

철 이온 결합능 측정

철 이온 결합능은 Okada 등의 방법(20)에 의해 측정하였다. 시료 2 mL를 10 mM KCl과 3 mM FeSO_4 를 함유하는 10 mM hexamine buffer(pH 5.0) 2 mL에 첨가한 후, 1 mM tetramethyl murxide 0.2 mL를 가해 480 nm에서 흡광도를 측정하였다. 결합능(%)은 갈변억제율의 방법과 동일하게 계산하였다.

pH 측정

pH는 pH meter(model 520A, Orion, USA)로 측정하였다.

결과처리

실험결과는 3회 반복 측정한 다음 평균±표준편차로 나타내었다. 시료간의 유의적 차이는 Duncan's multiple range test를 실시하였다($p < 0.05$).

결과 및 고찰

갈변도 및 갈변억제율의 변화

4°C와 30°C에서 저장시 시료의 갈변도 변화는 Fig. 2, 갈변억제율의 변화는 Fig. 3과 같다. 시료조제 직후의 갈변도는 cinnamic acid(0.081) < coumaric acid(0.086) < hydroxybenzoic acid(0.088) < protocatechuic acid(0.092) < phenolic acids 무첨가구(citric acid만 첨가: 0.102) < caffeic acid(0.130) < 대조구(0.251)의 순으로 나타나, caffeic acid를 제외한 phenolic acids 첨가시 시료간의 갈변도 차이는 크지 않았고 무첨가구보다 갈변도는 낮았다.

4°C에서 저장시 저장기간이 증가함에 따라 갈변도는 증가하는 경향이였다. 4주후 갈변도는 hydroxybenzoic acid(0.10) < coumaric acid(0.11) < cinnamic acid(0.12), protocatechuic acid(0.13), phenolic acids 무첨가구(0.13) < caffeic acid(0.18) < 대조구(0.27)의 순으로 나타나, 시료조제 직후 갈변도의 순서와는 차이가 있었다. 그러나 caffeic acid를 제외한 시료간의 흡광도 차는 0.02로 크지 않아 4°C와 같은 냉장온도에서는 갈변현상이 억제되는 것으로 나타났다. 4주 저장후의 갈변억제율은 hydroxybenzoic acid 첨가시 가 가장 높았고, phenolic acids 무첨가구보다 9%정도 높았다.

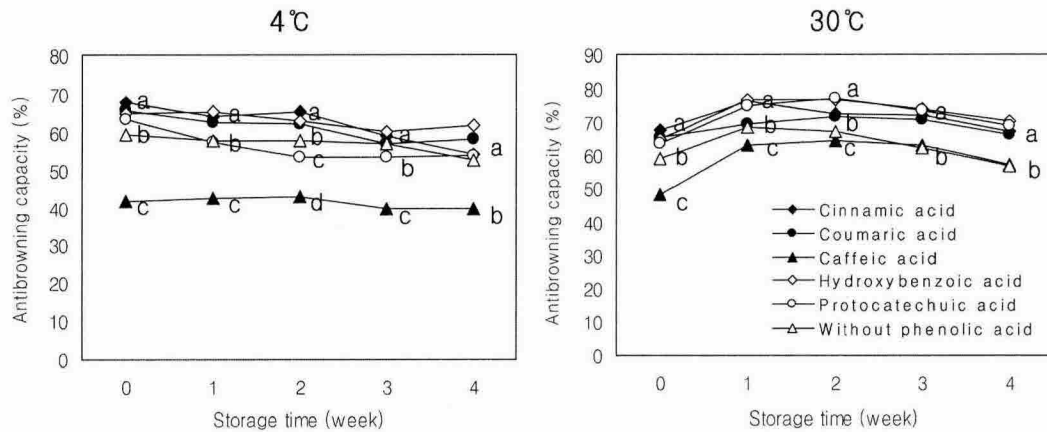


Fig. 3. Antibrowning capacity of diferent phenolic acids in the glucose-glutamic acid model solutions during storage at 4°C and 30°C for four weeks.

30°C에서 저장시의 갈변도는 저장기간이 증가함에 현저하게 증가하였다. 4주후의 갈변도는 hydroxybenzoic acid(0.45) < protocatechuic acid(0.49) < cinnamic acid(0.51), coumaric acid(0.52) < caffeic acid(0.66), phenolic acids 무첨가구(0.66) < 대조구(1.54)의 순으로 나타나, 4°C 저장시의 갈변도보다 4-6배 이상 증가하여 저장온도는 갈변억제 요인 중 영향력 있는 요인 중 하나인 것으로 나타났다(5).

30°C 저장시 갈변억제율의 변화는 조제직후보다 1주후에 급증하였고, 이후 저장기간이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으나 조제직후의 억제율보다 높았다. 이는 대조구의 갈변도 증가가 다른 첨가구들보다 더 높았기 때문인 것으로 생각되었다. 4주후의 갈변억제율은 hydroxybenzoic acid 첨가시가 가장 높았고, phenolic acids 무첨가구보다 13%나 높아 phenolic acids 첨가효과 는 4°C에서보다 30°C에서 더욱 효과적임을 알 수 있었다.

한편 cinnamic acid계 phenolic acids 첨가구의 갈변도는 cinnamic acid < coumaric acid < caffeic acid의 순으로 phenol에 치환된 OH기의 수가 증가함에 따라 증가하였는데, 이는 glucose-glutamic acid의 용액에 급속을 첨가하는 즉시 OH기와 급속간에 착체를 형성하여 가열 전부터 연한 청색을 띄었으며, 가열 중 더욱 착색되는 것으로 생각되었다. Benzoic acid계 OH기가 2개인 protocatechuic acid 첨가구도 가열 전부터 연보라색을 띄었으며, 갈변도는 hydroxybenzoic acid보다 높았다.

따라서 OH기가 2개 치환된 phenolic acids는 갈변억제를 위한 synergist로 부적당한 것으로 판단되며, 가장 높은 갈변억제율을 나타낸 hydroxybenzoic acid가 가장 유용한 synergist인 것으로 생각되었다. Hydroxybenzoic acid는 현재 *p*-hydroxybenzoic acid의 알킬 에스테르 형태(일명 파라벤)로 보존제나 향산화제로서 간장이나 된장 등에 사용하고 있으므로, 갈변억제제의 synergist로서도 사용될 수 있을 것으로 생각되었다.

3-deoxyglucosone(3-DG) 생성량비

4°C와 30°C에서 4주간 저장 후 대조구에 대한 3-DG 생성량의 비는 Fig. 4와 같다. 3-DG는 대표적인 Maillard 반응생성물로서 반응의 중간단계에서 생성되는 melanoidin의 전구물질로 알려져 있는 화합물이다(18).

3-DG는 4°C 저장시 대조구의 40%, 30°C 저장시에는 대조구의 70% 정도 생성되어 4°C 저장 시보다 생성량은 30% 증가하였다. 또한 cinnamic acid계보다 benzoic acid계 phenolic acids 첨가시의

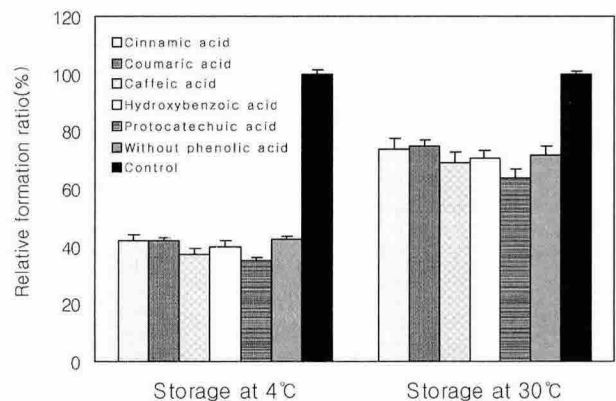


Fig. 4. Relative formation ratios of 3-deoxyglucosone in the glucose-glutamic acid model solutions after storage at 4°C and 30°C for four weeks.

생성량이 적은 경향이었고, cinnamic acid와 benzoic acid계 모두 phenol에 OH기가 2개 치환된 caffeic acid와 protocatechuic acid의 생성량이 가장 적었다.

형광물질생성량

4°C와 30°C에서 4주간 저장 후의 형광물질 생성량은 Fig. 5와 같다. 형광물질도 melanoidin의 전구물질로 알려져 있는 Maillard 반응생성물(21), 반응초기에 다량 생성되거나 Maillard 반응이 진행됨에 따라 생산량은 점차 감소된다(19).

형광물질은 4°C보다 30°C에서 저장시 현저하게 증가되었으나, phenolic acids 무첨가구의생성량은 4°C와 30°C 저장시 각각 대조구의 27.5%, 28.3%로 유사하게 적었다. 4°C 저장시 caffeic acid 첨가구에서는 형광물질은 생성되지 않았고, 이어 protocatechuic acid가 11.5%로 phenolic acids 무첨가구보다 16.0% 낮았다. 30°C 저장시는 caffeic acid와 protocatechuic acid 첨가구가 무첨가구보다 17.3%, 7.6%나 적어 가장 생성량이 적었다. 한편 cinnamic acid 첨가구는 phenolic acids 무첨가구보다 생성량이 많은 것으로 나타났다.

3-DG와 형광물질은 melanoidin의 전구물질로 알려진 화합물이므로, 이들 화합물의 생성량이 적으면 melanoidin 생성량도 적어져 갈변도도 낮을 것으로 예상되었다. 본 연구 결과에서도 대조구보다 낮은 갈변도를 보인 첨가구들의 3-DG와 형광물질의 생

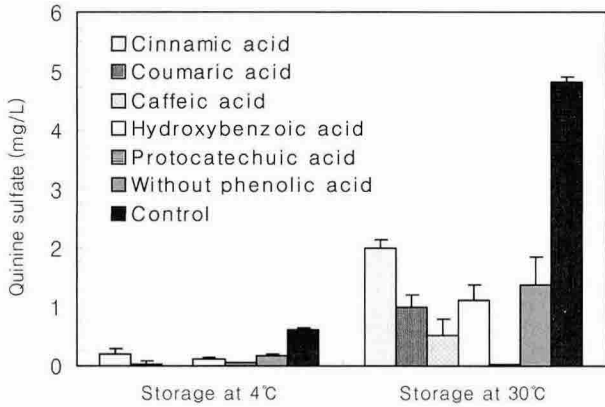


Fig. 5. Development of fluorescence in the glucose-glutamic acid model solutions after storage at 4°C and 30°C for four weeks.

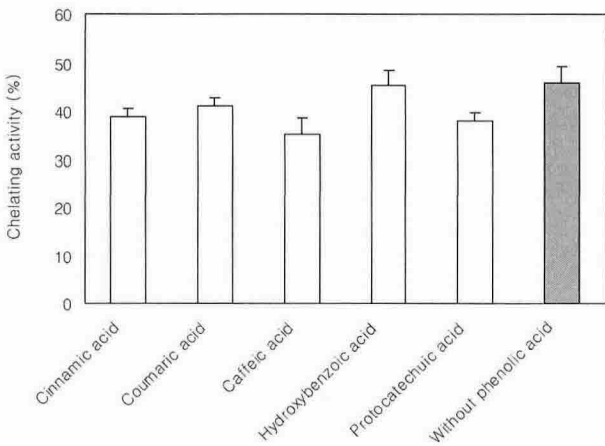


Fig. 6. Fe-chelating activity of phenolic acids in the glucose-glutamic acid model solutions after storage at 30°C for four weeks.

성량은 대조구보다 낮게 나타났다. 한편 caffeic acid와 protocatechuic acid 첨가구의 3-DG와 형광화합물의 생성량은 최저였으나, cinnamic acid와 benzoic acid 계열의 다른 phenolic acids 첨가구들에 비하여 갈변도는 상대적으로 높게 나타나 일반적인 경향과는 일치하지 않았다.

철 이온 결합능

30°C에서 4주간 저장 후의 철 이온 결합능은 Fig. 6과 같다. 철 이온 결합능이 가장 높은 시료는 phenolic acids 무첨가구로서 대조구에 비해 50% 높게 나타났다. Citric acid는 금속결합능이 있어 킬레이터로 사용되는 화합물인데 Okada와 Okada(20) 등도 citric acid가 40%의 철 이온 결합능을 갖는 것으로 보고하였다. Phenolic acids 첨가구의 철 이온 결합능은 phenolic acids 무첨가구와 동일한 정도의 결합능을 보인 hydroxybenzoic acid 첨가구를 제외하고 무첨가구보다 4-10% 정도 낮은 경향을 보였다. 가장 낮은 철 이온 결합능을 보인 시료는 caffeic acid 첨가구로 대조구보다는 40% 높는데, phenolic acids 무첨가구보다는 10%가 낮다.

이와 같은 결과는 citric acid, caffeic acid 및 철 이온을 함유한 시료에서 citric acid, caffeic acid와 철 이온간에 이미 착체가 형성되었기 때문에 철 이온 결합능을 측정하기 위해 첨가한 철 이

Table 1. pH value of the glucose-glutamic acid model solutions after storage at 4°C and 30°C

	Before storage	After four weeks of storage	
		4°C	30°C
Cinnamic acid	6.35	6.30	6.33
Coumaric acid	6.32	6.30	6.30
Caffeic acid	6.30	6.27	6.28
Hydroxybenzoic acid	6.30	6.28	6.28
Protocatechuic acid	6.30	6.28	6.27
Without phenolic acid	6.29	6.27	6.27
Control	6.67	6.64	6.65

온과는 착체를 형성하지 못하게 되어 철 이온 결합능이 낮게 나타났기 때문인 것으로 생각되었다. 이는 caffeic acid 첨가구가 phenolic acids 무첨가구보다 10% 많은 금속이온과 착체를 형성하고 있음을 의미하며, 즉 caffeic acid를 첨가함에 따라 무첨가구보다 철 이온 결합능은 10%가 증가한 것으로 추측할 수 있었다. Protocatechuic acid 첨가구의 결합능은 caffeic acid보다 다소 높았으나 차이는 크지 않았다.

Natella 등(8)은 ortho구조의 phenol에 OH기가 2개 치환된 phenolic acid만이 구리이온과 착체를 형성한다고 보고하였으나, 본 연구결과와 glucose-lysine계 모델(23)에서 철 이온은 OH기로 치환되지 않은 cinnamic acid나 OH기 1개가 치환된 hydroxybenzoic acid와도 착체를 형성하는 것으로 나타났다. 본 실험과 동일한 농도의 glucose-glutamic acid액에 OH기가 3개 치환된 gallic acid를 1 mM 정도 첨가하고 동일 조건으로 가열하여 30°C에서 4주간 저장 후 갈변도 및 철 이온 결합능을 측정하였다. 그 결과 갈변도는 대조구보다 높았고, 철 이온 결합능도 phenolic acids 무첨가구보다 50%가 높았다(결과는 제시하지 않음). 또한 철 이온을 첨가해 유지 산패를 촉진한 실험결과에서는 caffeic acid가 phenol에 치환된 2개의 OH기 중에서 1개가 methyl기로 치환된 ferulic acid보다 억제능이 높았다(12). 따라서 금속이온은 phenol에 치환된 OH기뿐 아니라 COOH기와도 결합하며, OH기의 수가 많을수록 철 이온과의 결합능은 증가하는 것으로 예측되었다. 이상의 결과로부터 금속이온은 Maillard 반응을 촉진시키지만(22), citric acid와 함께 phenolic acid, 특히 OH기가 2개 치환된 phenolic acids는 OH기가 0, 1개인 것보다 철 이온 결합능이 높아 이들 phenolic acids가 존재하면 Maillard 반응이 저해되어 Fig. 4, 5와 같이 3-DG, 형광화합물과 같은 Maillard 반응 중간산물의 생성량은 감소되는 것으로 생각되었다. 그러나 중간반응산물이 적게 생산되어 melanoidin의 생성량이 감소되어도, OH기가 2개 치환된 phenolic acid와 철 이온간에 반응직후 생성된 유색의 착체는 가열중 melanoidin과 높은 갈변도의 복합체를 형성함에 따라 이들 phenolic acids 첨가구의 갈변도는 높게 나타난 것으로 추측되었다.

한편 본 실험과 동일한 농도의 citric acid를 함유한 glucose-lysine계 모델(23)에 있어서는 caffeic acid와 protocatechuic acid 첨가시 침전물을 형성하여 phenolic acid의 OH기의 수에 따른 갈변억제효과를 비교할 수 없었다. 그러나 10 mM의 cinnamic acid와 hydroxybenzoic acid 첨가구의 30°C에서 4주간 저장 후 갈변억제율은 45%로 본 모델계보다 낮았지만, phenolic acids 무첨가구에 비하여 20% 정도 증가되는 것으로 나타나 phenolic acid 첨가는 citric acid를 갈변억제제로 사용시 이의 유용한 synergist인 것으로 사료되었다.

pH

4°C와 30°C 저장시의 pH의 변화는 Table 1과 같다. 시료조제 직후의 pH는 6.67로 가장 높았고, phenolic acids 무첨가구는 6.29로 가장 낮았으나, phenolic acids 첨가구와 무첨가구의 차이는 최대 0.05로 거의 유사하였다. 4주 저장 후에도 조제직후와 차이가 없었다. Phenolic acid를 첨가해도 첨가량은 1 mM 정도의 미량이었으므로 시료의 pH에 영향이 없는 것으로 생각되었다.

요 약

된장모델로서 0.1 M glucose-0.1 M glutamic acid 모델을 선정하고 0.2 mM FeCl₂의 존재 하에 갈변억제제인 50 mM citric acid와의 synergist로 5종의 phenolic acids를 첨가하여 조제한 시료를 4°C와 30°C에서 4주간 저장하면서 phenolic acids가 갈변억제에 미치는 영향을 알아보았다.

그 결과 phenolic acids 첨가에 따른 갈변억제효과는 4°C의 저온에서보다 30°C의 실온에서 저장시 pH의 변화 없이 더욱 효과적인 것으로 나타났다. 5종의 phenolic acids 중에서 hydroxybenzoic acid는 갈변억제능이 가장 높아, 갈변억제능은 30°C에서 4주간 저장후 phenolic acids 무첨가구보다 13%가 높았다. Caffeic acid와 protocatechuic acid와 같이 OH기가 2개 치환된 phenolic acids는 Maillard 반응의 촉매로 작용하는 철 이온과의 결합능이 높아 Maillard 반응이 보다 더 억제되어 3-DG 및 형광화합물과 같은 중간반응산물의 생성을 가장 억제하였으나, 이들 phenolic acids는 유색의 착체를 형성하여 동일계의 OH기가 0, 1개 치환된 phenolic acids보다 갈변도는 오히려 증가하였다. Hydroxybenzoic acid는 실제 된장에도 사용가능한 첨가물로서 citric acid를 갈변억제제로 사용시 이의 synergist로 사용이 가능할 것으로 생각되었다.

문 헌

- Martins SIFS, Jongen WMF, Van Boekel MAJS. A review of Maillard reaction in food and implication to kinetic modelling. *Trends Food Sci. Technol.* 11: 364-373 (2001)
- Korean Food Research Institute. Technical Development for Inhibiting browning of *Doenjang*. KFRI, Kyonggido, Korea, pp. 15-17 (1997)
- Kim ND. Study on the browning and its inhibition in soybean paste (*doenjang*). PhD thesis, Konkuk University, Seoul, Korea (1996)
- Kwon DJ, Kim YJ, Kim HJ, Hong SS, Kim HK. Changes of color in *doenjang* by different browning factors. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30: 1000-1005 (1998)
- Yamabe S. Changes in constituents of misos during storage. *J. Brew Soc. Jpn.* 86: 108-114 (1991)
- Kwak EJ, Park WS, Lim SI. Color and quality properties of *doenjang* added with citric acid and phytic acid. *Korean J. Food Sci. Technol.* 35: 455-460 (2003)
- Yeh CT, Yen GC. Modulation of hepatic phase II phenol sulfotransferase and antioxidant status by phenolic acids in rats. *J. Nutr. Biochem.* 17: 561-569 (2006)
- Natella F, Nardini M, Felice MD, Scaccini C. Benzoic acid and cinnamic acid derivatives as antioxidants: structure-activity relation. *J. Agr. Food Chem.* 47: 1453-1459 (1999)
- Minussi RC, Rossi M, Bologna L, Cordi L, Rotilio D, Pastore GM, Durán N. Phenolic compounds and total antioxidant potential of commercial wines. *Food Chem.* 82: 409-416 (2003)
- Silva FAM, Borges F, Guimarães C, Lima JLFC, Matos C, Reis S. Phenolic acids and derivatives: studies on the relationship among structure, radical scavenging activity, and physicochemical parameters. *J. Agr. Food Chem.* 48: 2122-2126 (2000)
- Bonnely S, Peyrat-Maillard MN, Rondini L, Masy D, Berset C. Antioxidant activity of malt rootlet extracts. *J. Agr. Food Chem.* 48: 2785-2792 (2000)
- Chen JH, Ho CT. Antioxidant activities of caffeic acid and its related hydroxycinnamic acid compounds. *J. Agr. Food Chem.* 45: 2373-2378 (1997)
- Kikuzaki H, Hisamoto M, Hirose K, Akiyama K, Taniguchi H. Antioxidant properties of ferulic acid and its related compounds. *J. Agr. Food Chem.* 50: 2161-2168 (2002)
- Kweon MH, Hwang HJ, Sung HC. Identification and antioxidant of novel chlorogenic acid derivatives from bamboo (*Phyllostachys edulis*). *J. Agr. Food Chem.* 49: 4646-4655 (2001)
- Castelluccio C, Bolwell GP, Gerrish C, Rice-Evans C. Differential distribution of ferulic acid to the major plasma constituents in relation to its potential as an antioxidant. *Biochem. J.* 316: 691-694 (1996)
- Galati G, O'Brien PJ. Potential toxicity of flavonoids and other dietary phenolics: significance for their chemopreventive and anticancer properties. *Free Radical Bio. Med.* 37: 287-303 (2004)
- Chun SS, Vattem DA, Lin YT, Shetty K. Phenolic antioxidants from clonal oregano (*Origanum vulgare*) with antimicrobial activity against *Hericobacter pylori*. *Process Biochem.* 40: 809-816 (2005)
- Ukeda H, Ishii T. Analytical methods of Maillard reaction products in foods. *FFF Jpn.* 171: 84-91 (1997)
- Morales FJ, Jiménez-Pérez S. Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to color and fluorescence. *Food Chem.* 72: 119-125 (2001)
- Okada Y, Okada M. Scavenging effect of water soluble proteins in broad beans on free radicals and active oxygen species. *J. Agr. Food Chem.* 46: 401-406 (1998)
- Morales FJ, Romero C, Jiménez-Pérez S. Fluorescence associated with Maillard reaction in milk and milk-resembling systems. *Food Chem.* 57: 423-428 (1996)
- Kwak EJ, Lim SI. The effect of sugar, amino acid, metal ion, and NaCl on model Maillard reaction under pH control. *Amino Acids* 27: 85-90 (2004)
- Kwak EJ, Lim SI. Inhibition of browning by antibrowning agents and phenolic acids or cinnamic acid in the glucose-lysine model. *J. Sci. Food Agr.* 85: 1337-1342 (2005)