

시판 호상 요구르트의 품질 특성과 항산화 활성

노영희¹ · 장아순¹ · 표영희^{1,*}
¹성신여자대학교 식품영양학과

Quality characteristics and antioxidant capacities of Korean commercial yogurt

Young-Hee Noh¹, Ah-Soon Jang¹, and Young-Hee Pyo^{1,*}

¹Department of Food and Nutrition, Sungshin Women's University

Abstract We investigated the quality characteristics and antioxidant capacities of Korean commercial yogurt. Twenty commercial yogurt samples exhibited a pH of 4.05-4.51, titratable acidity of 0.80-1.45%, viable counts of 6.65-9.39 log CFU/g, and total phenolic content of 0.71-2.92 mg gallic acid equivalent/g dry weight (dw). Lactic acid was the major organic acid detected by HPLC with UV detection, and its content was 5.4 times and 46.5 times higher than that of malic acid and citric acid, respectively. The tested commercial yogurt samples exhibited antioxidant potential (1.62-8.95 mM trolox equivalent/g, dw) measured based on scavenging activities of DPPH and ABTS radicals. The average antioxidant potentials of commercial set yogurt containing fruit syrup were significantly ($p < 0.05$) higher than that of cream and plain yogurt. A positive linear correlation was observed between the total phenolic content and the antioxidant capacities, suggesting that phenolic components are likely to contribute significantly to the antioxidant potential of commercial yogurt.

Keywords: commercial yogurt, quality characteristics, antioxidant capacities

서 론

건강식품의 하나인 요구르트는 소비자들의 건강증진 욕구와 유산균 제제의 효능에 대한 높은 관심으로 소비자들의 선호도가 높은 세계적인 기호식품 중 하나이다. 국내 시장에서 ‘요구르트’ 혹은 ‘요거트’로 판매되는 발효유 제품의 소매시장 규모는 2017년 기준 9,698억 원으로 2015년의 8,887억 원보다 9.1% 증가하여 연평균 4.6%씩 성장해 왔다(Min, 2019). 발효유는 원유 또는 유 가공품을 유산균 또는 효모로 발효시킨 것이거나 또는 여기에 식품 및 식품첨가물을 첨가한 것을 지칭하는 것으로, 통상 발효유는 드링크, 호상, 액상으로 구별된다(Tamime와 Robinson, 1985). 일반 소매시장에서 마시는 요거트를 드링크 발효유, 요구르트를 액상 발효유, 떠먹는 요거트를 호상 발효유라 한다. 그중 떠먹는 호상 요구르트의 종류는 나날이 진화되어 유고형분 이외의 다양한 성분 즉, 딸기, 복숭아, 블루베리 등의 과일류 시럽의 첨가(Kim과 Jung, 2013; Sung과 Choi, 2014)는 물론 고구마, 호박, 귀리, 보리, 옥수수 등의 잡곡을 첨가한 요구르트 제조(Lee 등, 1999; Lee 등, 2013; Talha 등, 2017)에 관한 연구가 보고되어 왔다. 아울러 소비자들의 건강을 고려해 근래에는 기존 일반 요구르트보다 당의 함량을 줄이고 100 mL 당 10억 마리 이상의 프로바이오틱스(probiotics)를 함유하여 장 건강을 고려함과 동시에, 유산

균 증식에 도움이 되는 프리바이오틱스(prebiotics)를 함유한 신바이오틱스(synbiotics) 제품도 출시되고 있다(Lim 등, 2015; Nurul 등, 2018)). 현재 국내에서 시판되는 요구르트의 품질에 관한 연구로는 시판 요구르트의 이화학적 성질(Kim 등, 1993), 품질 평가(Shin 과 Lee, 2018), 요구르트 분말의 품질 특성(Lee 등, 2014), 그리고 시판 호상 요구르트의 품질 특성 분석(Won 등, 2018) 등이 보고되어 왔다. 이들 선행연구의 공통점은 시판 요구르트의 품질, 즉 일반적인 품질 특성인 산도, 점도, 고형분 함량, 유산균 수의 측정 등 이화학적 및 미생물학적 특성의 비교에 국한하고 있다는 점이다. 특히 호상 요구르트에 첨가되는 부재료에 따른 전체적인 probiotics의 차이와 *in vitro* 항산화 활성에 대한 보고는 발견되지 않는다. 따라서 본 연구에서는 현재 시판되는 호상 요구르트 중에서 비교적 인지도가 높은 6개 브랜드의 제조사 제품 20종을 선별하여, 요구르트의 일반적인 품질 특성과 함께 첨가된 부재료의 종류에 따른 lactic, citric, malic acid 등의 유기산 함량과 항산화 활성 등을 비교 평가하고자 한다.

재료 및 방법

실험재료

국내에서 생산된 호상 요구르트(set type yogurt, A-F 브랜드 20종)는 대형마트에서 제조일이 가장 최근인 제품을 각각 구입하여 4°C 냉장고에 보관하면서 실험분석에 사용하였다.

pH와 적정산도 측정

요구르트의 pH는 pH meter (Orion 3 star benchtop, Thermo Orion, Beverly, MA, USA)를 사용하여 측정하였고, 적정산도(titratable acidity)는 1% 페놀프탈레인 0.5 mL를 첨가하고 0.1 N

*Corresponding author: Department of Food and Nutrition, Sungshin Women's University, Seoul 01133, Republic of Korea
Tel: +2-920-7588
Fax: +2-920-2076
E-mail: rosapyo@sungshin.ac.kr
Received September 14, 2019; revised November 30, 2019;
accepted December 6, 2019

NaOH로 적정하여 측정하였다.

유산균 수 측정

시료의 유산균 수 측정은 멸균수에 십진 희석하여 유산균 배지(MRS plate count agar, Difco, Detroit, MI, USA)에 접종한 후 표준평판법과 주입법으로 37°C에서 48시간 배양하였다. 유산균 수는 형성된 colony 수를 측정하여 log colony forming unit (log CFU/g)로 환산하여 평균값으로 제시하였다.

추출물 제조

시판 요구르트를 동결 건조한 분말 시료 1 g에 10배의 70% 메탄올을 가하고 상온에서 4시간 추출한 다음 원심분리(7,500×g, 10 min)하였다. 상등액을 수집하여 0.45 µm membrane filter (Dismic-25CS, Toyoroshikaisha Ltd., Tokyo, Japan)로 여과 한 다음 시료에 함유된 생리활성 성분의 농도와 항산화 활성 측정에 사용하였다.

총 페놀함량 측정

시료의 총 폴리페놀 함량은 Singleton과 Rossi(1965)의 방법을 일부 변경하여 측정하였다. 시료 50 µL에 2% Na₂CO₃ 용액 1 mL을 첨가한 다음 3분간 반응시킨 후 Folin-Ciocalteu 시약(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) 50 µL를 혼합하여 암소에서 30분 동안 반응시킨 후 700 nm에서 흡광도(DU-650, Beckman Coulter, Anaheim, CA, USA)를 측정하였다. 시료의 총 폴리페놀 함량은 mg gallic acid equivalent (GAE/g, dried weight; dw)로 나타내었다.

유기산 함량 측정

요구르트 시료를 2배 희석하여 Sep-pak C18 카트리지로 전처리한 다음 HPLC (Azura, Knauer, Germany)로 분리 정량하였다 (Scherer 등, 2012). 표준물질로는 lactic acid, citric acid, malic acid (Sigma-Aldrich Co.)를 선정하였다. 칼럼은 Luna (250 mm×4.6 mm, 5 µm, Phenomenex, CA, USA)를 사용하였으며, 용매는 0.85% phosphoric acid (Sigma-Aldrich Co.)를 0.8 mL/min의 속도로 이동시켰으며 215 nm의 UV 파장에서 검출하여 정량하였다.

DPPH 라디칼 소거활성

시료의 항산화활성은 DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, Sigma-Aldrich Co.)에 대한 전자공여능(electron donating ability)으로 DPPH 라디칼 소거능력을 측정하였다(Brand-Williams 등, 1995). 시료 100 µL와 35 µM DPPH 용액 900 µL를 첨가한 후 10분 후에 515 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 각 시료의 DPPH 라디칼 소거활성은 mM trolox equivalent (mM TE/g, dw)로 제시하였다.

ABTS 라디칼 소거 활성

ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid, Sigma-Aldrich Co.) 라디칼 소거 활성은 ABTS cation decolorization assay 방법(Re 등, 1999)에 따라 측정하였다. 7.4 mM ABTS 5 mL과 2.6 mM K₂S₂O₈ (Sigma-Aldrich Co.) 5 mL를 섞어 암실에서 12-16시간 방치한 후 메탄올을 일정 비율로 섞어 734 nm에서 대조구의 흡광도 값이 0.75±0.02가 되도록 조절하였다. 적당히 희석한 ABTS 용액 900 µL에 시료 100 µL를 첨가하여 혼합한 후 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 각 시료의 ABTS 라디칼 소거 활성은 mM trolox equivalent (mM TE/g, dw)로 제시하였다.

통계처리

실험결과는 3회 반복 측정한 후 평균±표준편차(Mean±SD)로 나타내었다. 각 평균치 간의 유의성은 SPSS program (ver. 19.0, Chicago, IL, USA)을 이용하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며, 각 시료의 유의성 검정은 던컨의 다중범위검정을 이용하여 $p < 0.05$ 수준에서 실시하였다.

결과 및 고찰

pH 및 총 산도

현재 국내 시장에서 시판되고 있는 호상 요구르트 20종의 pH와 적정산도의 분석결과는 Table 1과 같다. 전체적으로 pH 4.05~4.51의 범위로 측정되어 Won 등(2018)이 보고한 pH 4.18~4.60 범위와 유사하였으며, 식품공전에 제시된 요구르트의 적합 pH 범위(3.27~4.53)에 해당하는 것으로 나타났다. 요구르트의 풍미와 기능성의 최적 pH 4.1~4.7 범위(Tamime와 Robinson, 1985)와도 일치하여 국내 시판 호상 요구르트의 pH는 적정수준을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 요구르트의 pH 저하는 젖산균 발효 중 생성되는 다양한 종류의 유기산에 의해 결정되나, 기질의 젖당에서 생성된 lactic acid의 함량에 따라 주로 그 결과가 달라진다. 요구르트의 pH는 탈지유나 우유만으로 제조한 것보다 곡류나 과일류 첨가와 같이 다양한 소재류를 첨가한 요구르트의 pH가 다소 낮은 경향을 보인다고 하여(Kim과 Jung, 2013; Sung과 Choi, 2014) 이들 소재들이 젖산균의 산 생성 촉진에 도움이 되는 것을 알 수 있다. Table 1의 시판 요구르트 중에서, 딸기 시럽(C-1, E-1)이나 곡류 시럽(D-3, D-4)이 첨가된 요구르트의 pH(4.05~4.18)가 그릭 요거트(G-1)나 플레인 요구르트(A-1, A-4)의 pH(4.20~4.51) 보다 유의적으로($p < 0.05$) 낮게 측정되어 선행 연구의 결과와 유사하였다.

시판 요구르트의 적정 산도의 범위는 0.80~1.45%로 나타났다. 이 같은 결과는 시판 요구르트의 적정 산도가 0.55~1.30%라고 보고한(Won 등, 2018) 결과와 약간 차이가 있으나, Kim 등(1993)이 보고한 0.97~1.42%와 유사한 결과로 비교되었다. 또한, 본 연구의 결과는 시판 요구르트의 적정산도 기준치인 0.97~1.40% 범위에 해당하여 국내에서 시판되는 요구르트의 총 산도는 대체적으로 적합한 수준으로 평가되었다. 보통 mild 요구르트의 산도는 0.85~0.95%이고 acid 요구르트의 산도는 0.95~1.20%로 분류하는 기준에 따르면(Lee 등, 2014), 시판 호상 요구르트의 품질은 산도의 범위가 광범위한 것으로 나타났다. 흥미롭게도 가장 약한 pH 4.51의 그릭 요거트 G-1의 총 산도는 1.45%로 가장 높게 측정되어 pH와 총 적정 산도와의 상관관계가 성립되지 않았다. 실제로 본 연구에 사용된 시료들의 pH와 적정산도와의 상관성은 $r=0.0681$ 로 낮게 산출되었다. 이 같은 결과는 포장에 명시하지 않은 신맛이나 물성 개선을 위해 첨가한 신미료 등의 첨가물의 유기산 농도가 기질에 해리된 H⁺의 농도보다 상대적으로 높았기 때문으로 설명할 수 있다.

유산균의 생균 수

시판 요구르트에 함유되어있는 유산균 수는 Table 1에서와 같이 6.65~9.39 log CFU/g으로 나타났다. 현행 식품공전에서 농후 발효유의 총 유산균 수는 0~10°C 냉장보관 시 젖산 세균수의 기준인 6.0 log CFU/g 이상으로 되어 있으며, 신선한 액상 및 호상 발효유의 유산균 수는 각각 7.0과 8.0 log CFU/g 이상으로 규정하고 있다. 따라서 시판 요구르트의 유산균 함량은 기준치 범위

Table 1. The quality characteristics of 20 commercial yogurts

Brand	Sample	Major ingredient	pH	Titrateable acidity (%)	Viable cell numbers (log CFU/g)
A	A-1	Raw milk, Defatted milk powder, Whey powder, Fish gelatin, Emulsifier	4.27±0.02 ^{c1)}	1.13±0.02 ^d	9.22±0.02 ^{b2)}
	A-2	Raw milk, Modified starch, Defatted milk powder, Whey powder, Gelatin, Strawberry syrup, Sugar, Amid pectin	4.13±0.01 ^f	1.22±0.01 ^b	8.74±0.01 ^c
	A-3	Raw milk, Modified starch, Defatted milk powder, Whey powder, Gelatin, Peach syrup, Sugar, Amid pectin	4.12±0.01 ^f	1.17±0.01 ^c	8.74±0.03 ^c
	A-4	Organic raw milk,	4.20±0.01 ^d	0.92±0.00 ^f	8.88±0.02 ^c
B	B-1	Raw milk, Modified starch, Dextrin, Mixed milk powder, Berry juice, Strawberry syrup, Sugar, Oligo sugar	4.26±0.01 ^c	1.15±0.02 ^d	8.91±0.03 ^c
	B-2	Raw milk, Modified starch, Dextrin, Mixed milk powder, Oligo sugar, Gelatin, Peach syrup, Sugar, Amid pectin	4.26±0.01 ^c	1.05±0.01 ^e	8.82±0.02 ^c
C	C-1	Raw milk, Modified starch, Dextrin, Mixed defatted milk powder, fruits juice, Maltodextrin, Strawberry syrup, Sugar, Amid pectin	4.05±0.01 ^h	1.01±0.01 ^e	8.81±0.03 ^c
	C-2	Raw milk, Plain syrup (Sugar, Modified starch, Amid pectin, Citric acid, Locust-bean gum), Mixed defatted milk powder, Maltodextrin, Whey protein	4.19±0.02 ^d	0.94±0.01 ^f	8.46±0.04 ^d
	C-3	Raw milk, Modified starch, Oat & sweet potato syrup, Mixed defatted milk powder, Sugar, Maltodextrin, Whey protein	4.41±0.02 ^b	0.84±0.01 ^g	8.46±0.02 ^d
	C-4	Raw milk, Modified starch, Oat & pineapple syrup, Mixed defatted milk powder, Sugar, Maltodextrin, Whey protein	4.27±0.02 ^c	0.80±0.02 ^g	8.35±0.02 ^d
	C-5	Raw milk, Modified starch, Mixed defatted milk powder, Fructo-oligo sugar, Crystal fructose, Maltodextrin, Amid pectin, Stevia	4.19±0.01 ^d	1.12±0.01 ^d	7.61±0.02 ^f
D	D-1	Raw milk, Strawberry syrup, Defatted milk powder, Milk cream, Xylitol, Citric acid, Gelatin, Whey protein, Amid pectin	4.12±0.01 ^f	0.98±0.01 ^f	8.11±0.03 ^e
	D-2	Milk cream, Defatted milk powder, Whey protein, Glucose, Gelatin, Amid pectin, Modified starch, Sugar	4.15±0.01 ^e	0.94±0.01 ^f	7.74±0.01 ^f
	D-3	Cereal syrup, Purple sweet potato paste, Milk cream, Defatted milk powder, Whey protein, Glucose, Gelatin, Amid pectin, Modified starch, Sugar	4.18±0.01 ^d	1.04±0.02 ^e	9.08±0.03 ^b
	D-4	Cereal syrup, Sweet pumpkin paste, Milk cream, Defatted milk powder, Whey protein, Glucose, Gelatin, Amid pectin, Modified starch, Sugar	4.16±0.01 ^e	1.02±0.01 ^e	9.18±0.04 ^b
E	E-1	Raw milk, Strawberry syrup, Defatted milk powder, Whey protein, Gelatin, Amid pectin, Emulsifier, Cellulose gum, Modified starch, Maltodextrin, Sugar, Na-citrate	4.09±0.01 ^g	1.01±0.02 ^c	6.65±0.01 ^g
	E-2	Raw milk, Blueberry syrup, Defatted milk powder, Na-citrate, Polydextrose, Wheyprotein, Gelatin, Oligosugar, Amid pectin, Emulsifier, Cellulose gum, Modified starch, Maltodextrin, Sugar	4.21±0.02 ^d	1.19±0.03 ^c	8.53±0.05 ^d
F	F-1	Raw milk, Plain syrup (Oligosugar, Sugar, Modified starch, Amid pectin, Citric acid) Mixed defatted milk powder, Whey protein, Milk cream, Gelatin, Na-citrate	4.20±0.01 ^d	1.25±0.02 ^b	8.35±0.02 ^d
	F-2	Raw milk, Aloe syrup (Oligosugar, Sugar, Modified starch, Amid pectin) Mixed defatted milk powder, Whey protein, Milk cream, Gelatin	4.27±0.02 ^c	1.18±0.01 ^c	8.58±0.02 ^d
G	G-1	Raw milk (1A grade)	4.51±0.01 ^e	1.45±0.02 ^a	9.39±0.03 ^a

¹⁾Values are means±standard deviation.

²⁾Means with the same lettered superscripts in a column are not significantly different at the 5% level.

에 적합한 것으로 판정할 수 있다. 식품 기질 내의 유산균 수의 증가는 첨가한 식품소재에 영향을 받는 것으로 보고되었으나(Lee 등, 2014; Nurul 등, 2018), 본 연구에서는 그릭 요거트인 G-1과 플레인 요구르트의 A-1의 유산균 수가 각각 9.39와 9.22 log CFU/g으로 나타나 다른 시료에 비해 유의적으로($p<0.05$) 높은 반면, 비피더스 딸기 요구르트 E-1의 유산균 수는 6.65 log CFU/g으로 가장 낮게 나타났다. 제품마다 함유되어있는 유산균의 균종은 주로 *L. bulgaricus*, *S. thermophilus*, L-GG, *L. casei* 431등의 유산균을 복합하여 사용한 제품이 대부분이었으며 그 밖에 비피

더스와 LB-9 유산균도 함유되었다. Table 1에서와 같이 대부분의 시판 호상 요구르트의 유산균 수는 8.0 log CFU/g 이상으로 나타나, 식품공전상의 농후발효유의 유산균 품질 기준 규격보다 높은 함량으로 평가되었다.

유기산 함량

요구르트에 함유된 유기산 성분은 신맛 등의 풍미를 부여하는 동시에 pH를 낮추므로 기질의 부패방지 효과를 통해 보존성 증진에 기여하는 주요 성분이다(Lee 등, 2013). 요구르트에 함유된

Table 2. Content of total phenolics and organic acids in 20 commercial yogurts

Samples	Total phenolics (mg GAE/g, dw)	Major organic acid (mg/g, dw)			
		Lactic acid	Malic acid	Citric acid	Total
A-1	1.42±0.04 ^{h 1)}	42.58±0.11	4.06±0.01	0.73±0.04	47.37±0.05 ^c
A-2	2.34±0.06 ^{b 2)}	35.44±0.04	9.97±0.02	0.81±0.04	46.22±0.03 ^c
A-3	1.52±0.02 ^g	37.54±0.05	10.49±0.04	0.83±0.04	48.86±0.04 ^c
A-4	1.54±0.01 ^g	54.23±0.07	11.06±0.03	0.89±0.04	66.18±0.05 ^a
B-1	2.30±0.05 ^b	33.69±0.04	9.89±0.02	0.71±0.04	44.29±0.03 ^d
B-2	1.42±0.04 ^h	37.17±0.03	11.76±0.03	0.72±0.04	49.65±0.03 ^c
C-1	2.31±0.03 ^b	38.84±0.08	1.59±0.01	0.92±0.04	41.35±0.04 ^e
C-2	1.50±0.01 ^g	37.92±0.04	0.58±0.01	0.79±0.04	39.29±0.03 ^e
C-3	1.80±0.01 ^d	32.52±0.07	1.03±0.01	0.80±0.04	34.35±0.04 ^f
C-4	1.62±0.02 ^f	34.76±0.02	1.05±0.01	0.86±0.04	36.67±0.02 ^f
C-5	2.26±0.04 ^e	45.33±0.08	0.79±0.00	1.00±0.04	47.12±0.04 ^c
D-1	1.72±0.02 ^e	33.66±0.03	10.58±0.04	0.92±0.04	45.16±0.04 ^d
D-2	0.71±0.01 ⁱ	26.53±0.04	8.01±0.02	0.42±0.04	34.96±0.03 ^f
D-3	1.34±0.02 ⁱ	20.38±0.07	7.92±0.03	0.48±0.04	28.78±0.05 ^g
D-4	1.52±0.01 ^g	26.98±0.04	8.26±0.02	0.53±0.04	35.77±0.03 ^f
E-1	2.22±0.04 ^e	37.55±0.06	13.45±0.05	1.14±0.04	52.14±0.05 ^b
E-2	2.92±0.03 ^a	37.15±0.08	2.96±0.02	0.87±0.04	40.98±0.05 ^c
F-1	1.52±0.02 ^g	41.66±0.12	3.93±0.02	0.79±0.04	46.38±0.06 ^c
F-2	1.84±0.01 ^d	32.77±0.10	10.33±0.05	0.77±0.04	43.87±0.06 ^d
G-1	1.72±0.01 ^e	54.42±0.06	9.49±0.04	0.96±0.04	64.87±0.05 ^a

¹⁾Values are means ± standard deviation.

²⁾Means with the same lettered superscripts in a column are not significantly different at the 5% level.

다양한 유산균은 발효 과정 중 원유나 탈지유의 lactose로부터 lactic acid를 생성한다(Tamime와 Robinson, 1985). 제품에 따라 사용되는 유산균과 원유의 종류에 따라 malic, acetic, citric, formic acid 등의 유기산이 생성되는 것으로 보고되어 왔다(Sung과 Choi, 2014; Shin과 Lee, 2018). 선행연구에 따르면, 시판 요구르트에 함유된 주요 유기산은 lactic acid와 citric acid이고 acetic, malic, formic acid 등은 미량 함유된 것으로 보고되었다(Shin과 Lee, 2018). 특히 발효유에서 검출되지 않은 malic acid는 농후 발효유에 미량 함유된 것으로 나타나 본 연구에서는 lactic acid, citric acid 그리고 malic acid의 함량을 집중 분석하여 그 결과를 건조 시료의 g 중량 당 mg (mg/g, dw)으로 제시하였다. Table 2에서와 같이 시판 요구르트에 함유된 lactic acid는 20.38-54.42 mg으로 나타나, 총 유기산 평균함량의 82.9%를 차지하였다. 이 같은 lactic acid의 평균함량은 malic acid와 citric acid의 평균함량 보다 각각 5.4배, 46.5배 높은 함량으로 비교된다. Shin과 Lee(2018)가 보고한 농후발효유에 함유된 lactic acid 함량은 citric acid의 4.72-8.15 배, acetic acid의 26.83-47.2배 높았다고 하여 본 연구의 결과와 농도의 차이가 나는 것은 시료의 종류와 분석기기, 분석방법, 전처리 조건 등이 다르기 때문으로 설명할 수 있다. 본 연구에서 lactic acid의 농도가 가장 높은 시료는 G-1의 그릭 요거트(54.42±0.06 mg)와 A-4의 유기농 플레인 요구르트(54.23±0.07 mg)로 나타났다. 이들 시료의 젖산균의 생균수 역시 각각 9.39와 8.88 log CFU/mL로 나타나 다른 시료에 비해 상대적으로 높은 유산균 수와 lactic acid 함량의 관계를 보여 주었다($p<0.05$). 요구르트에 함유된 lactic acid는 유해 미생물의 성장 억제작용뿐만 아니라 우유 단백질의 소화증진 및 칼슘, 철, 인 등의 무기질 성분의 생체 이용률 증진에도 기여하는 것으로 알려진다(Talha 등, 2017). 한편 malic acid와 citric acid의 함량은 첨가된 부재료의 종류에 따라 그 농도가 다르게 나타났으며, 특히 malic acid의 경우 과일

시럽이 함유된 시료에서 그 농도가 높았다. 예를 들어 딸기 시럽이 첨가된 비피더스 딸기 요구르트 E-1 (13.45±0.05 mg)과 복숭아 요플레 B-2 (11.76±0.03 mg)의 malic acid 함량은 가장 높았으나, 다논 플레인 요거트 C-2 (0.58±0.01 mg)와 다논 액티비아 플레인 C-5 (0.79±0.00 mg) 요구르트의 malic acid는 가장 낮은 함량으로 나타났다. 20종의 시판 호상 요구르트에 함유된 citric acid의 농도는 lactic acid에 비해 매우 미량인 0.42-1.14 mg 범위로 측정되었다. 비피더스 딸기 요구르트 E-1의 citric acid 농도가 1.14±0.04 mg으로 가장 높게 나타났으나, 이것은 주요 원료의 정보(Table 1)에서 보는 바와 같이 구연산염이 첨가물로 사용되었기 때문으로 설명할 수 있다. 시판 호상 요구르트 20종에 함유된 lactic acid, malic acid, citric acid로 평가한 총 유기산의 함량은, 유기농 플레인 요구르트 A-4 (66.18±0.05 mg)와 그릭 요거트 G-1 (64.87±0.05 mg)이 다른 시료에 비해 가장 높은 함량으로 비교되었으며($p<0.05$) 결과적으로 lactic acid의 농도가 총 유기산 함량에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다($r=0.7819$). Shin과 Lee(2018)는 원유 사용량이 높은 농후 발효유가 일반 발효유보다 lactic acid는 1.47배, citric acid는 2.53배 높았다 하여 요구르트에 함유된 유기산의 농도는 원유나 탈지유의 사용량과 그밖에 첨가되는 부재료의 함량에 따라 변화되는 것을 알 수 있다.

총 페놀 함량

최근 요구르트의 생균제(probiotics)와 함께 이들 균주의 생육변식을 위한 먹이(prebiotics)로 첨가하는 시럽 형태의 각종 곡물류와 과일류는 요구르트의 성분에서 총 페놀화합물의 함량을 증가시킬 수 있는 요인이 된다. 곡물류와 과일류와 같은 식물성 물질은 미량의 생리활성 물질, 즉 페놀화합물, 카로티노이드, 식물성 스테롤, 식이성 섬유소 등과 같은 phytochemicals을 공급하기 때문이다(Nurul 등, 2018). 일반적으로 phytochemical은 기능성 생리

활성 물질의 근원으로 각종 대사성 질환을 예방할 수 있는 기능성 건강식품의 소재로 항산화와 항암 등의 연구에 널리 활용되어 보고되어 왔다(Doughari 등, 2009). 따라서 본 연구에서는 시판 호상 요구르트에 함유되어있는 총 페놀함량을 측정하여 gallic acid 등량 값(mg GAE/g, dw)으로 나타낸 결과는 Table 2와 같다. 표에서와 같이 요구르트의 총 페놀함량이 유의적으로($p < 0.05$) 가장 높은 시료는 블루베리 시럽이 첨가된 떠먹는 요구르트 E-2의 2.92 ± 0.03 mg이었으나, 생크림 요거트인 D-2의 총 페놀함량은 0.71 ± 0.01 mg으로 가장 낮게 나타났다. 20종의 시판 요구르트에 함유된 총 페놀함량은 예측한 대로 블루베리(E-2), 딸기(A-2, C-1, B-1, E-1) 등의 과일 시럽이 첨가된 시료의 평균 총 페놀함량이 2.42 mg으로 나타나, 플레인 요구르트(A-1, A-4, C-2, F-1)의 평균함량 1.50 mg에 비해 38.2% 더 높게 비교되었다. 그러나 과일류 중에서도 블루베리나 딸기 시럽을 함유한 요구르트에 비해 복숭아(A-3)와 파인애플(C-4) 시럽이 첨가된 요구르트의 평균 총 페놀함량(1.57 mg)은 35.1% 낮게 나타났다. 이 같은 차이는 과일류의 껍질 포함 여부에 따라 총 페놀함량의 결과가 달라지는 것으로 이해된다. 또한, 고구마와 귀리(C-3), 자색 고구마(D-3), 단호박(D-4) 등의 시럽이 첨가된 요구르트 역시 평균 총 페놀함량이 1.55 mg으로 나타나, 블루베리와 딸기 시럽을 첨가한 요구르트에 비해 35.9% 낮은 함량으로 비교되었다. 시료 중의 폴리페놀 성분은 구조상의 phenolic hydroxy기로 인해 단백질이나 거대분자들과 쉽게 결합하여 항암 및 항산화 활성 등의 다양한 생리적 효능을 나타내는 것으로 보고되었다(Doughari 등, 2009). 따라서 본 연구에 사용된 20종의 시판 요구르트 시료에 대한 항산화 활성을 측정하였다.

항산화 활성

20종의 시판 호상 요구르트의 항산화 활성은 DPPH와 ABTS 라디칼 소거능으로 측정하여 표준 항산화제인 trolox 당량값(mM trolox equivalent, mM TE/g, dw)으로 나타낸 결과는 Table 3과 같다. DPPH와 ABTS 라디칼 소거능의 trolox 당량값의 결과를 평균(mean)으로 비교하면 표와 같이 딸기 시럽이 첨가된 A-2 (8.95 ± 0.05 mM TE/g)와 B-1 (8.80 ± 0.02 mM TE/g)의 시료가 가장 유의적으로($p < 0.05$) 항산화 활성이 높았다. 흥미롭게도 이들 시료의 DPPH와 ABTS 라디칼 소거능의 각각의 결과도 비슷한 경향으로 나타났다. 대체적으로 과일류 시럽을 첨가한 시료가 곡물류 시럽을 첨가한 요구르트에 비해 라디칼 소거활성이 유의적으로($p < 0.05$) 높았으며, 특히 딸기 시럽이 첨가된 B-1, A-2 이외에 E-1, C-1, D-1 등의 딸기 요구르트와 E-2의 블루베리 요구르트의 항산화 활성이 높은 것으로 측정되었다. 이 같은 결과는 이들 시료 내의 페놀성분뿐 아니라 비타민 C의 함량이 영향을 미쳤을 것으로 판단된다(da Silva 등, 2016). 반면에 플레인 요구르트 A-1, F-1과 생크림 요거트인 D-2 등은 DPPH와 ABTS 라디칼 소거능이 다른 시료들에 비해 유의적으로($p < 0.05$) 낮게 비교되었으나, 그릭 요거트 G-1은 평균수준의 활성(6.76 ± 0.02 mM TE/g)을 유지

Table 3. Antioxidant activity of 20 commercial yogurts

Sam- ples	DPPH (mM TE/g, dw)	ABTS (mM TE/g, dw)	Mean (mM TE/g, dw)
A-1	0.28±0.01 ¹⁾	3.35±0.02	3.63±0.01 ^{f2)}
A-2	7.95±0.08	9.94±0.07	8.95±0.05 ^a
A-3	3.80±0.03	5.63±0.02	4.72±0.02 ^e
A-4	5.25±0.02	5.61±0.02	5.43±0.01 ^d
B-1	7.63±0.05	9.97±0.04	8.80±0.02 ^a
B-2	4.79±0.01	4.72±0.01	4.76±0.01 ^e
C-1	6.72±0.02	9.24±0.03	7.98±0.04 ^b
C-2	4.23±0.01	5.32±0.01	4.78±0.01 ^e
C-3	4.22±0.02	4.82±0.01	4.52±0.02 ^e
C-4	4.19±0.01	5.13±0.02	4.66±0.01 ^e
C-5	5.87±0.02	5.65±0.02	5.76±0.02 ^{cd}
D-1	7.06±0.03	8.14±0.03	7.60±0.03 ^b
D-2	3.20±0.02	3.12±0.01	3.16±0.01 ^f
D-3	4.53±0.03	5.85±0.02	5.19±0.02 ^d
D-4	3.33±0.01	3.82±0.01	3.58±0.01 ^f
E-1	6.93±0.04	9.68±0.04	8.31±0.03 ^{ab}
E-2	5.98±0.03	9.91±0.05	7.95±0.02 ^b
F-1	0.09±0.00	3.15±0.01	1.62±0.01 ^h
F-2	0.13±0.01	3.79±0.01	1.96±0.01 ^g
G-1	7.04±0.03	6.47±0.02	6.76±0.02 ^c

¹⁾Values are means ± standard deviation.

²⁾Means with the same lettered superscripts in a column are not significantly different at the 5% level.

하는 것으로 평가되었다. 특히 F 브랜드의 플레인 소프트 요거트(F-1; 1.62 ± 0.01 mM TE/g)와 알로에 소프트 요거트(F-2; 1.96 ± 0.01 mM TE/g)는 다른 브랜드에 비해 매우 라디칼 소거활성이 낮게 나타났다. 전체적으로, DPPH와 ABTS 라디칼 소거활성에 따른 요구르트의 항산화 활성이 우수한 순서는 A-2>B-1>E-1>C-1>E-2>D-1의 순으로 나타났으며, 이들 시료는 E-2의 블루베리를 제외하면 모두 딸기 시럽이 첨가된 시료라는 공통점을 갖고 있다. 따라서 항산화 활성이 강화된 요구르트를 제조하거나 소비할 때는 과일류 중에서도 딸기 소재가 유리한 것으로 나타났다.

항산화 성분과의 상관성

시판 요구르트의 항산화 활성을 측정하기 위해 사용된 DPPH와 ABTS 라디칼 소거능에 따른 항산화 작용의 결과와 활성 성분과의 상관관계를 분석한 결과는 Table 4와 같다. 총 페놀함량과 DPPH 라디칼 소거활성과의 상관도는 $r=0.2852$ 로 정의 상관관계가 성립되었으며, 특히 ABTS 라디칼 소거활성과는 $r=0.6295$ 로 매우 높은 상관도를 보여 주었다. 즉 총 페놀함량이 높은 시료일수록 DPPH는 물론 ABTS 라디칼 소거활성이 높은 것으로 나타나 호상 요구르트 시료의 항산화 작용은 주로 총 페놀성분

Table 4. Correlation coefficients between free radical scavenging effect and antioxidant compounds in 20 commercial yogurts

	DPPH	ABTS	Total phenols	Lactic acid	Citric acid	Malic acid
DPPH	1					
ABTS	0.7091	1				
Total phenols	0.2852	0.6295	1			
Lactic acid	0.0180	0.0035	0.0399	1		
Citric acid	0.1667	0.2367	0.3612	0.4385	1	
Malic acid	0.0413	0.0323	0.0188	0.0007	0.0011	1

의 농도에 기인하는 것(Doughari 등, 2009)으로 이해된다. 이 같은 결과는 항산화 활성 측정법으로 사용된 DPPH와 ABTS 측정법 상호간의 상관도($r=0.7091$)도 높게 측정되어 페놀성 화합물의 라디칼 소거활성에 대한 높은 상관성을 뒷받침한다. Table 4에서와 같이 시료 중의 유기산 성분들도 라디칼 소거활성과 양의 상관관계를 나타내어 미약하지만 항산화 활성에 영향을 주는 것으로 나타났다. 특히 citric acid의 함량은 다른 유기산에 비해 DPPH ($r=0.1667$)와 ABTS ($r=0.2367$) 소거활성과 비교적 높은 상관관계가 성립되어, 요구르트에 함유된 유기산 중에서 가장 항산화 활성에 기여도가 높은 물질로 나타났다. 주로 산미료(acidulant)의 기능으로 식품에 첨가되는 구연산의 항산화 작용의 기전은, 식품 기질에 분포되어 있는 금속이온의 킬레이트화에 의한 상승제로서의 기능을 통해 시료의 항산화 활성에 기여하는 것으로 알려졌다(Ana 등, 2018).

요 약

국내에서 시판되는 20종의 호상 요구르트의 품질 특성은 pH 4.05-4.51, 적정산도 0.80-1.45%, 생균수 6.65-9.39 log CFU/g 으로 측정되어 일반적인 호상 요구르트의 품질기준에 적합한 것으로 나타났다. 총 페놀함량은 생크림 요거트(D-2)가 0.71 mg GAE/g 으로 가장 낮은 반면, 블루베리(E-2)와 딸기 시럽(A-2, C-1, B-1)이 첨가된 요구르트(2.30-2.92 mg GAE/g)가 가장 높게 측정되었다. 시판 호상 요구르트에 함유된 lactic acid의 함량은 20.38-54.42 mg으로 측정되었으며, 총 유기산 함량의 82.9%를 차지하여 주요 유기산 성분으로 나타났다. 생균수와 젖산 및 총 유기산의 함량이 가장 높은 시료는 그릭 요거트(G-1)로 나타났다. DPPH와 ABTS 라디칼 소거활성으로 측정된 항산화 활성이 가장 높은 시료는 딸기시럽이 첨가된 A-2와 B-1이었으며, 가장 낮은 시료는 플레인 소프트 요거트 F-1이었다. 이들 항산화 측정법과 시료에 함유된 총 페놀함량과의 상관관계는 평균 $r=0.4574$ 로 나타나, 호상 요구르트의 항산화 활성은 자체 내 함유된 총 페놀성분의 농도와 밀접한 상관성을 보여 주었다. 따라서 본 연구의 결과는, 소비자 측면에서 항산화 활성과 probiotics의 효능을 동시에 지향하는 요구르트 제품을 선택하고자 할 때 유익한 정보로 활용될 수 있다.

감사의 글

본 논문은 2020년도 성신여자대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었으므로 감사드립니다.

References

- Ana M, Rubicelia V, Annia G. Citric acid: A promising copper scavenger. *Comput. Theor. Chem.* 1133: 47-50 (2018)
- Brand-Williams W, Cuvelie ME, Berset C. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.* 28: 25-30 (1995)
- da Silva BV, Barreira JCM, Oliveira BPP. Natural phytochemicals and probiotics as bioactive ingredients for functional foods: Extraction, biochemistry and protected-delivery technologies. *Trends Food Sci. Tech.* 50: 144-158 (2016)
- Doughari JH, Human IS, Nennade S, Ndakidemi PA. Phytochemicals as chemotherapeutic agents and antioxidants. *J. Med. Plants Res.* 3:172-180 (2009)
- Kim MS, Ahn ES, Shin DH. Physico-chemical properties of commercial yogurt in Korea. *Korean J. Food Sci. Technol.* 25: 340-344 (1993)
- Kim AN, Jung HA. Quality characteristics of curd yogurt supplemented with Jujube hot water extracts. *J. East Asian Diet.* 23: 69-77 (2013)
- Lee JA, Jeon GH, Lim KS, Oh SJ, Park DJ, Imm JY. Quality characteristics of commercial yogurt powder marketed in Korea. *Korean J. Dairy Sci. Technol.* 32: 157-161 (2014)
- Lee MJ, Kim KS, Kim YK, Park JC, Kim HS, Kim KJ. Quality characteristics and antioxidant activity of yogurt added with whole barley flour. *Korean J. Food Sci. Technol.* 45: 721-726 (2013)
- Lee JC, Lee KS, Lee JK, Han KH, Oh MJ. Preparation and characteristics of curd yogurt from milk added with purple sweet potato. *Korean J. Postharvest Sci. Technol.* 6: 442-447 (1999)
- Lim KS, Heong JW, Oh SJ, Moon YI, Hoh JH. Current market trends and perspectives of probiotics. *Curr. Top. Lact. Acid Bact. Probiotics* 3: 46-53 (2015)
- Min HJ. Industrial Economic Fact Reviews. Available from <http://www.biznews.or.kr/news/article.html?no=9018>. Accessed Jun. 27, 2019.
- Nurul FF, Arbakariya BA, Mohd EK, Leonardo RS. Influence of probiotics, prebiotics, synbiotics and bioactive phytochemicals on the formulation of functional yogurt. *J. Funct. Foods* 48: 387-399 (2018)
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evan C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Bio. Med.* 26: 1231-1237 (1999)
- Scherer R, Rybka ACP, Ballus CA, Meinhart AD, Filho JT, Godoy HT. Validation of a HPLC method for simultaneous determination of main organic acids in fruits and juices. *Food Chem.* 135: 150-154 (2012)
- Shin KS, Lee JH. Evaluation of quality characteristics in commercial yogurt. *Korean J. Food Preserv.* 25: 195-204 (2018)
- Singleton VL, Rossi JAJ. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Viticult.* 16: 144-158 (1965)
- Sung JM, Choi HY. Effect of mulberry powder on antioxidant activities and quality characteristics of yogurt. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 43: 690-697 (2014)
- Talha D, Kubra A, Didem S, Hale I, Nihat A. Rice bran improve probiotic viability in yoghurt and provide added antioxidative benefits. *J. Funct. Foods* 36: 396-403 (2017)
- Tamime AY, Robinson RK. *Yoghurt: Science and Technology*. Pergamon Press, Elmsford, NY, USA P 175 (1985)
- Won JI, Lee JH, Par HI, Cho YU, Lee SK, Oh SK, Han SI, Choi HS. Quality characteristics of commercial semisolid type yogurt in Korea. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 47: 1185-1190 (2018)

Ana M, Rubicelia V, Annia G. Citric acid: A promising copper scavenger. *Comput. Theor. Chem.* 1133: 47-50 (2018)

Brand-Williams W, Cuvelie ME, Berset C. Use of free radical