

## 유자펙틴 추출물을 첨가한 요구르트의 이화학적, 미생물학적, 유변학적 및 관능적 품질 특성

윤미라 · 서정윤 · 유가은 · 김연호 · 서문초 · 장유희

경희대학교 식품영양학과

### Physicochemical, Microbial, Rheological, and Sensory Properties of Yogurt Added with Yuza Pectin Extract

Mi-Ra Yoon, Jeong-Yun Seo, Ga-Eun Ryu, Yeon-Ho Kim, Moon-Cho Seo, and Yoon Hyuk Chang

Department of Food and Nutrition, Kyung Hee University

**ABSTRACT** This study investigated the effects of Yuza pectin extract (0, 0.1, 0.15, and 0.2%, w/v) on the physicochemical, microbial, rheological, and sensory properties of yogurt. Pectin extract was extracted from Yuza peel by using citrate after juicing the flesh. The total sugar content of Yuza pectin was 89.07%. The pH of Yuza pectin extract-added yogurt was 4.43. All Yuza pectin extract-added yogurt samples showed shear-thinning flow behaviors ( $n=0.33\sim0.44$ ). The values for apparent viscosity ( $0.34\sim0.47\text{ Pa}\cdot\text{s}$ ), consistency index ( $4.48\sim10.25\text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ ), yield stress ( $6.56\sim17.61\text{ Pa}$ ), storage modulus ( $47.96\sim75.21\text{ Pa}$ ), and loss modulus ( $19.79\sim26.06\text{ Pa}$ ) for 0.1~0.2% (w/v) Yuza pectin extract-added yogurt were considerably higher than those of the control. These result indicated that Yuza pectin extract could enhance steady and dynamic shear rheological properties of yogurt. The sensory scores of Yuza pectin extract-added yogurt were higher than those of the control.

**Key words:** Yuza pectin extract, yogurt, physicochemical property, rheological property, sensory property

## 서론

요구르트는 우유를 유산균으로 발효시켜 산미와 감미를 강화한 후 향료, 과즙 등을 첨가하여 소비자의 기호에 적합하게 만든 발효유제품이다(1). 또한 주원료인 우유 외에도 유산균의 작용으로 lactic acid, peptone, peptides와 같은 유효성분이 생성되어 영양학적으로 매우 우수한 식품이다(2). 요구르트는 건강증진의 효과가 있으며 세계인의 기호식품으로 발전하였고 요구르트 소비량이 증가함에 따라 소비자 기호를 충족시키기 위해 다양한 맛과 향이 첨가된 요구르트가 출시되고 있다(2).

유자는 식물분류학상 운향과, 감귤 속에 속하고 제주도를 비롯한 남부지방에서 재배되고 있으며, 비타민 A와 C가 풍부하고 항산화, 항암 효과가 있다고 알려졌다(1). 유자는 신맛이 강하고, limonoid 화합물과 일부 flavonoid 등의 성분으로 인하여 떫은맛이 강해 과일로서의 기호도가 떨어진다(3). 또한 수확시기가 11월에서 12월로 사용시기가 한정되어 있어 저장성이 좋지 않기 때문에 유자는 대부분 당 절임 제품으로 유통되고 있다(4). 그러나 최근 유자 음료뿐만 아

니라 유자를 활용한 빙수, 과자 등 다양한 디저트 제품과 유자를 첨가한 주류 제품 등이 출시됨에 따라 유자의 활용 영역이 더욱 넓어졌다.

과거에는 유자청 위주의 가공제품이 주를 이루어 제조 시 과피제 당 절임을 하여 유자 부산물의 양이 적었지만, 최근 유자를 활용한 식품이 다양화됨에 따라 과피나 과육 등의 부산물 발생이 증가하여 이를 활용할 수 있는 새로운 방안이 고안되고 있다. 이렇듯 유자는 과즙이 적고 과피나 과육이 많아 펙틴 등의 섬유소 함량이 많은 것으로 보고되었으며(5), 펙틴의 응고 성질을 이용하여 잼이나 젤리의 첨가제로 사용되고 있다. 최근에는 펙틴의 기능성으로 항전이 활성(anti-metastasis activity)(6), 항궤양 활성(7) 등이 보고됨에 따라 응용범위가 확대되고 있다(5).

요구르트의 다양성과 유자 활용성의 증진을 위한 연구가 활발하게 진행되고 있는데, Lee(1)는 아이스크림, Kim(3)은 진양주, Jin 등(8)은 요구르트 등에 유자 과피 및 유자 착즙액을 첨가하여 특성을 평가하였으며 그 결과는 모두 기존보다 뛰어난 것으로 나타났다.

본 연구는 유자 부산물에서 유자펙틴 추출물을 추출하고, 추출한 유자펙틴 추출물을 첨가한 요구르트의 이화학적, 미생물학적, 유변학적 및 관능적 특성을 측정함으로써 유자펙틴 추출물의 기존 요구르트 제조 시 사용되는 펙틴의 대체 가능성을 평가하였다.

Received 23 November 2015; Accepted 23 February 2016

Corresponding author: Yoon Hyuk Chang, Department of Food and Nutrition, Kyung Hee University, Seoul 02447, Korea  
E-mail: yhchang@khu.ac.kr, Phone: +82-2-960-7608

## 재료 및 방법

### 실험재료

본 실험에는 2014년 전남 고흥군에서 생산된 유자를 구매하여 사용하였다. 유자 껍질을 60°C에서 열풍건조 후, blender(WF2211214, Intertek, Torrington, CT, USA)로 분쇄하여 50 mesh 표준체망을 통과시켜 얻은 가루를 사용하였다. 요구르트 제조에 사용한 우유는 서울우유(Yongin, Korea)로부터 구매하였다.

### 펙틴 추출

유자껍질 가루 시료에 0.1 N citrate(Jensei Chem. Co., Tokyo, Japan)를 1:20의 비율로 넣고 50°C에서 24시간 추출 후 실온까지 냉각시켰다. 추출한 용액을 감압여과 하여 상등액만을 취한 후 상등액의 3배에 해당하는 94% 에탄올(DaeJung Chemicals & Metals Co., Ltd., Gwangju, Korea)을 넣어 침전시킨 다음, 이를 다시 감압여과 하여 침전물을 취하였다. 유리당의 제거를 위해 침전물 양의 2배에 해당하는 94% 에탄올로 1회 세척하고 동량의 65% 에탄올을 넣어 1회 세척하였다. 그 후 동결건조기(FD8508, Ilshin, Dongducheon, Korea)를 이용하여 건조시킨 시료를 blender로 분쇄하고 100 mesh 표준체망을 통과시켜 유자펙틴 추출물을 얻었다.

### 유자펙틴 추출물 첨가 요구르트 제조

대조군은 유자펙틴을 첨가하지 않고 요구르트 제조 시 상용화되는 고 메톡실 펙틴[citrus pectin, high methoxyl (DE>50%); CP Kelco, Lille Skensved, Denmark] 0.2%를 첨가하여 제조하였으며, 유자펙틴 추출물 0.1, 0.15, 0.2%를 첨가하여 제조한 요구르트를 실험군으로 사용하였다. 먼저 각 100 mL의 우유에 탈지분유를 넣고 균질화한 후 90°C에서 10분간 살균하였다. 이를 42°C까지 냉각시킨 후 유산균 *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*(Sacco Srl, Cadorago, Italy)와 각각의 펙틴을 첨가하여 38°C에서 6시간 발효시켰다.

### 일반성분 분석

일반성분은 유자펙틴 추출물에 대해 수분, 조회분, 조단백질, 조지방, 총당, uronic acid 함량을 분석하였다. 수분 함량은 상압가열건조법, 조회분 함량은 직접회화법, 조단백질 함량은 micro-Kjeldahl method, 조지방 함량은 Soxhlet 추출법으로 측정하였다. 총당 함량은 Dubois 등(9)의 phenol-sulfuric acid method를 이용하여 측정하였고, uronic acid의 함량은 Blumenkrantz와 Asboe-Hansen(10)의 m-hydroxyphenyl colorimetric method를 이용하여 측정하였다.

### pH 및 유산균 수

요구르트의 pH는 pH meter(ORION3-STAR BT pH meter, Thermo, Seoul, Korea)를 사용하여 측정하였으며 요구르트의 유산균 수는 표준평판배양법으로 측정하였다. 각각의 시료를 10배 희석법으로 희석한 후 MRS Agar 배지를 부어 37°C 인큐베이터에서 48시간 동안 배양하였다. 황색으로 나타난 colony를 계측하여 colony forming unit (CFU)/mL로 나타내었다.

### 색도

요구르트의 색도를 색차계(JC 801, Color Techno System Corporation, Tokyo, Japan)를 사용하여 제조 후 5일 동안 보관한 총 4개의 시료에 대해 L(lightness, 명도), a (redness, 적색도), b(yellowness, 황색도) 값을 20번씩 측정해 평균값을 나타내었다. 이때 표준백판의 L, a, b 값은 각각 98.56, -0.01, -0.48이었다.

### 정상유동 특성 측정

요구르트의 정상유동 특성은 rheometer(MCR-102, Anton Paar, Graz, Austria)의 plate-plate system(직경 5 cm, 간격 500  $\mu\text{m}$ )을 이용해 25°C에서 측정하였다. 요구르트를 rheometer의 plate에 놓고 1.0~500  $\text{s}^{-1}$ 의 전단속도( $\dot{\gamma}$ ) 범위에서 측정하여 전단응력( $\sigma$ )과 전단속도( $\dot{\gamma}$ ) 데이터를 얻었다. 시료의 정상유동 특성은 power law 모델식(식 1)과 Casson 모델식(식 2)에 적용해 레올로지 매개변수들을 구하였다.

$$\text{Power law model: } \sigma = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (\text{식 1})$$

$$\text{Casson model: } \sigma^{0.5} = K_{oc} + K_c \cdot \dot{\gamma}^{0.5} \quad (\text{식 2})$$

여기서  $\sigma$ 는 전단응력(Pa),  $\dot{\gamma}$ 는 전단속도( $\text{s}^{-1}$ ), K는 점조도 지수(consistency index,  $\text{Pa} \cdot \text{s}^n$ ), n은 유동성 지수(flow behaviour index, dimensionless) 그리고  $(K_c)^2$ 은 Casson plastic viscosity( $\eta_c$ )이다. Casson 모델식에 따른 항복응력( $\sigma_{oc}$ )은 전단속도-전단응력의 선형회귀 곡선으로부터 얻었다. Power law 모델식을 통해 얻은 유동성 지수(n)와 점조도 지수(K)로부터 전단속도 100  $\text{s}^{-1}$ 에서의 겉보기 점도(apparent viscosity,  $\eta_{a,100}$ )를 계산하였다.

### 동적 점탄성 측정

요구르트의 동적 점탄성 특성은 rheometer(MCR-102, Anton Paar)의 plate-plate system(직경 5 cm, 간격 500  $\mu\text{m}$ )을 이용해 25°C에서 실험을 수행하였다. 2% strain에서 진동수(frequency,  $\omega$ ) 0.63~63.8 rad/s 범위에서 저장탄성률(storage modulus,  $G'$ ), 손실탄성률(loss modulus,  $G''$ ), 복소점도(complex viscosity,  $\eta^*$ ) 및  $\tan \delta$ 를 측정하였다.

### 기호도 검사

기호도 검사는 20~25세의 경희대학교 식품영양학과 학

**Table 1.** Proximate composition of Yuza pectin extract

	Moisture	Crude fat	Crude protein	Crude ash	Total sugar	Uronic acid
Yuza pectin extract	0.43±0.05 <sup>1)</sup>	0.22±0.01	0.32±0.00	9.68±0.06	89.07±0.79	53.93±1.15

<sup>1)</sup>Mean±SD.

생 40명을 대상으로 시행하였다. 패널에게 제조 후 5일간 4°C에서 냉장 저장된 각각의 요구르트를 소량씩 덜어 제공하였다. 색상, 신맛, 텍스처, 전체적인 기호도의 4가지 항목을 최고 점수 5점, 최저 점수 1점으로 평가하였다.

### 통계처리

본 연구에서 얻은 결과는 SAS 9.2(SAS Institute, Cary, NC, USA)를 이용하여 ANOVA의 Fisher's Least Significant Difference(LSD)로 처리하였다. 통계분석의 결과는 평균과 표준편차로 나타내었으며, 통계적 유의수준은  $P < 0.05$ 에서 검증하였다.

## 결과 및 고찰

### 일반성분 분석

유자펙틴 추출물의 일반성분 분석 결과는 Table 1과 같다. 수분 함량은 0.43%, 조지방 함량은 9.68%, 조단백질 함량은 0.32%, 조지방 함량은 0.22%, 총당 함량은 89.07%였다. 특히 유자펙틴 추출물의 uronic acid 함량은 53.93%를 나타내어 본 연구에서 사용된 유자펙틴 추출물의 주성분은 펙틴임을 확인할 수 있었다.

### 유자펙틴 추출물 첨가 요구르트의 pH 및 유산균 수

제조 후 5일간 4°C에서 냉장 저장된 요구르트의 pH는 Table 2와 같다. 대조군의 pH는 4.62, 실험군(유자펙틴 추출물 0.1%, 0.15%, 0.2%)의 pH는 각각 4.45, 4.45, 4.40으로 나타났다. 대조군과 실험군 0.1%는 유의적인 차이가 없었으나, 실험군 0.15%와 0.2%는 대조군보다 유의적으로 낮았다. Rasic과 Kurmann(11)은 요구르트의 pH가 4.0~4.6 범위에 속할 때 외관, 조직, 풍미 등에서 문제가 없는 우수한 품질의 요구르트라 보고하였다. 본 실험에 사용된 유자펙틴 추출물 첨가 요구르트는 해당 범위에 속하기 때문에 우수한

**Table 2.** pH and viable cell count of yogurt supplemented with different concentrations of Yuza pectin extract stored at 4°C for 5 days

Yuza pectin extract concentration (%)	pH	Lactic acid bacteria cells counts (CFU/mL)
0 (control) <sup>1)</sup>	4.62±0.046 <sup>a2)</sup>	2.50±0.71 × 10 <sup>9</sup> b
0.10	4.45±0.021 <sup>ab</sup>	3.00±1.41 × 10 <sup>9</sup> b
0.15	4.45±0.004 <sup>b</sup>	9.00±2.83 × 10 <sup>9</sup> a
0.20	4.40±0.014 <sup>b</sup>	7.00±0.00 × 10 <sup>9</sup> a

<sup>1)</sup>The control includes 0.2% high methoxyl pectin.

<sup>2)</sup>Values with different letters within the same column differ significantly ( $P < 0.05$ ).

품질의 요구르트라 볼 수 있다.

제조 후 5일간 4°C에서 냉장 저장된 각각의 요구르트 내 유산균 수의 변화는 Table 2와 같다. 대조군, 실험군(유자펙틴 추출물 0.1, 0.15, 0.2%)의 유산균 수는 각각 평균 2.50 × 10<sup>9</sup>, 3.00 × 10<sup>9</sup>, 9.00 × 10<sup>9</sup>, 7.00 × 10<sup>9</sup> CFU/mL로 나타났다. 이미 보고된 여러 연구 결과에 따르면 발효 및 저장하는 동안 probiotics의 증식과 생존은 산 생성과 상관관계가 있고, 군수가 증가할수록 pH는 낮아지며 생성된 산은 우유 내 유당의 분해에 기인하는 것으로 알려졌다(12). 장관 내에서 유의한 작용을 위한 probiotics의 군수는 최소 6 log cycle 이상이어야 하고(13), 식품공전에 발효음료의 총 유산균 수는 10<sup>7</sup> CFU/mL 이상으로 규정되어 있다. 이에 따라 유자펙틴 추출물 첨가 요구르트는 위의 제조규격에 적합하며, 뛰어난 probiotics 요구르트 생산에 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

### 색도

제조 후 5일간 4°C에서 냉장 저장된 대조군과 유자펙틴 추출물 첨가 요구르트의 품질을 비교하기 위해 색도 L, a, b 값을 색차계로 측정한 결과는 Table 3과 같다. 농도가 0.1, 0.15, 0.2%인 실험군과 대조군의 L, a, b 값 모두 유의적으로 차이가 없었다. 이로부터 유자펙틴 추출물의 첨가는 요구르트의 색도에 영향을 끼치지 않음을 알 수 있었다.

### 정상유동 특성

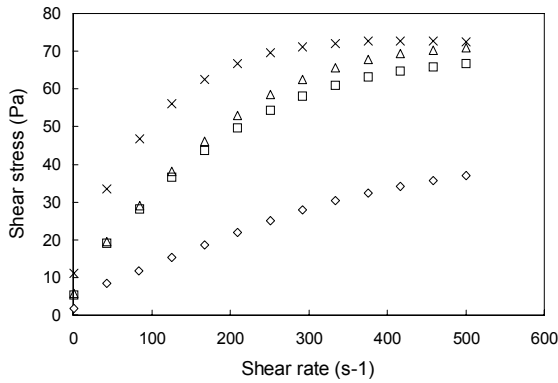
요구르트는 점도에 따라 소비자의 기호도가 달라지기 때문에 본 연구에서는 유자펙틴 추출물 농도(0~0.2%)를 달리 하여 제조한 요구르트를 5일간 4°C에서 냉장 저장 후 정상유동 특성을 측정하였다. 요구르트의 전단속도( $\dot{\gamma}$ )에 대한 전단응력( $\sigma$ )의 데이터는 Fig. 1과 같으며, 본 연구에서 사용된 모든 요구르트는 전단속도가 증가할수록 전단응력이 감소하는 의가소성(pseudoplastic) 특성을 나타내었다. 또한 요구르트의 전단속도에 대한 전단응력의 데이터 결과를 pow-

**Table 3.** The color (Hunter's L, a, and b) value of yogurt supplemented with different concentrations of Yuza pectin extract stored at 4°C for 5 days

Yuza pectin extract concentration (%)	L	a	b
0 (control) <sup>1)</sup>	107.35±0.56 <sup>NS2)</sup>	-3.99±0.22 <sup>NS</sup>	18.60±1.50 <sup>NS</sup>
0.10	107.36±0.35	-3.96±0.31	18.95±1.13
0.15	107.36±0.34	-3.93±0.39	18.90±1.42
0.20	107.37±0.52	-3.91±0.38	18.84±1.03

<sup>1)</sup>The control includes 0.2% high methoxyl pectin.

<sup>2)</sup>Not significant.



**Fig. 1.** Plot of shear stress versus shear rate for yogurt supplemented with different concentrations of Yuza pectin extract stored at 4°C for 5 days. ◇, control (without Yuza pectin extract); □, 0.1%; △, 0.15%; ×, 0.2%.

er law 모델식과 Casson 모델식에 적용하여 여러 유동특성 매개변수들을 구하였다(Table 4). 고 메톡실 첨가 요구르트(대조군)와 유자펙틴 추출물 첨가 요구르트(실험군 0.1~0.2%) 모두 유동성지수  $n$ 값이 1보다 낮은 범위( $n=0.33\sim 0.48$ )에 있어 shear-thinning 거동을 나타내었다. 대조군보다 유자펙틴 추출물 농도가 0.2%인 실험군의  $n$ 값이 유의적으로 감소하였다. 따라서 실험군이 대조군보다 강한 shear-thinning 성질을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 이와 같은 요구르트의 shear-thinning 거동은 입자 간의 상호결합으로부터 형성된 입자 집합체를 가진 분산식품에서 나타나는 현상이다. 입자 간의 결합이 강할수록 응집된 입자의 수는 증가하는데, 전단속도가 증가함에 따라 이들 입자 집합체의 수가 감소하고 따라서 shear-thinning 거동이 나타난다(14). Holdsworth(15)와 Rao(16)에 의하면 대부분 분산식품들

의 의가소성 유체성질은 액상 매개체 내에 분산된 고체물질인 탈지분유와 펙틴 등의 원료에 의해 설명될 수 있다.

Table 4에서 보여주고 있듯이 요구르트의 점조도 지수, 걸보기 점도, Casson 항복응력이 대조군보다 실험군에서 유의적으로 증가하였다. 이는 사과 섬유소를 첨가한 요구르트(17)에 대한 연구 보고와 유사한 결과를 보였다. 또한 본 연구에서 유자펙틴 추출물 농도가 증가할수록 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 단위 부피당 입자수가 증가하여 입자 간의 상호결합이 더 강해지고 따라서 점도가 증가하는 것으로 볼 수 있다(18). Casson 항복응력의 경우 2.07~17.61 Pa 범위를 나타냈으며 대조군보다 실험군 요구르트에서 유의적으로 증가하였다. 유자펙틴 추출물의 농도가 0.1%와 0.15%인 실험군에서는 유의적인 차이가 나타나지 않았으나 0.2% 실험군의 경우 유의적으로 증가하였다(Table 4). Janhoj(19)은 펙틴과 carboxymethyl cellulose 가 요구르트의 K값을 증가시킨다고 보고하였다. Murti 등(20)에 의하면 일반적으로 요구르트의 점도 증가는 젖산 발효 시 우유 단백질의 등전점 침전, protease에 의한 분해 응고 및 젖산균에 의한 polysaccharide의 생성 등에 의해 복합적으로 일어난다고 보고된 바 있다. 그러므로 본 연구에서 실험군의 점도, 점조도 지수 및 항복응력이 증가한 것은 유자펙틴 추출물의 응고와 우유단백질 미셀 간의 상호작용과 관련된 것으로 생각된다.

**동적 점탄 특성**

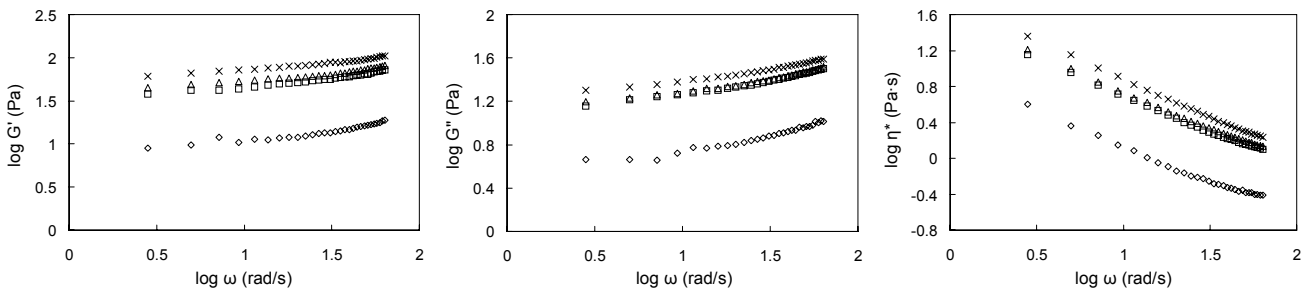
Fig. 2는 제조 후 5일간 4°C에서 냉장 저장된 요구르트에 대해 25°C에서 진동수( $\omega$ )에 따른 저장탄성률(storage modulus,  $G'$ ), 손실탄성률(loss modulus,  $G''$ ) 및 복소점도(complex viscosity,  $\eta^*$ )의 변화를 보여주고 있다. 본 연구에서

**Table 4.** Effect of Yuza pectin extract concentration on steady shear rheological properties of yogurt stored at 4°C for 5 days

Yuza pectin extract concentration (%)	Apparent viscosity $\eta_{a,100}$ (Pa·s)	Consistency index K (Pa·s <sup>n</sup> )	Flow behaviour index n	Casson yield stress $\sigma_{oc}$ (Pa)
0 (control) <sup>1)</sup>	0.16±0.01 <sup>d2)</sup>	1.78±0.56 <sup>c</sup>	0.48±0.05 <sup>a</sup>	2.07±0.42 <sup>c</sup>
0.10	0.34±0.01 <sup>c</sup>	4.48±0.37 <sup>b</sup>	0.44±0.01 <sup>a</sup>	6.56±0.72 <sup>b</sup>
0.15	0.37±0.01 <sup>b</sup>	4.91±0.41 <sup>b</sup>	0.44±0.01 <sup>a</sup>	7.60±0.51 <sup>b</sup>
0.20	0.47±0.02 <sup>a</sup>	10.25±0.91 <sup>a</sup>	0.33±0.01 <sup>b</sup>	17.61±1.41 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>The control includes 0.2% high methoxyl pectin.

<sup>2)</sup>Values with different letters within the same column differ significantly ( $P<0.05$ ).



**Fig. 2.** Plots of  $\log G'$ ,  $\log G''$ , and  $\log \eta^*$  versus  $\log \omega$  (frequency,  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ) for yogurt supplemented with different concentrations of Yuza pectin extract stored at 4°C for 5 days. ◇, control (without Yuza pectin extract); □, 0.1%; △, 0.15%; ×, 0.2%.

**Table 5.** The storage modulus ( $G'$ ), loss modulus ( $G''$ ), complex viscosity ( $\eta^*$ ), and  $\tan \delta$  at  $11.5 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$  for yogurt supplemented with different concentrations of Yuza pectin extract stored at  $4^\circ\text{C}$  for 5 days

Yuza pectin extract concentration (%)	Storage modulus $G'$ (Pa)	Loss modulus $G''$ (Pa)	Complex viscosity $\eta^*$ (Pa·s)	Tan $\delta$
0 (control) <sup>1)</sup>	10.79±1.45 <sup>d2)</sup>	5.51±0.44 <sup>c</sup>	1.05±0.13 <sup>d</sup>	0.51±0.04 <sup>a</sup>
0.10	47.96±0.16 <sup>c</sup>	19.79±1.01 <sup>b</sup>	4.51±0.02 <sup>c</sup>	0.41±0.02 <sup>ab</sup>
0.15	55.72±2.68 <sup>b</sup>	20.88±1.19 <sup>b</sup>	5.18±0.23 <sup>b</sup>	0.37±0.02 <sup>b</sup>
0.20	75.21±1.42 <sup>a</sup>	26.06±0.83 <sup>a</sup>	6.92±0.12 <sup>a</sup>	0.35±0.01 <sup>c</sup>

<sup>1)</sup>The control includes 0.2% high methoxyl pectin.

<sup>2)</sup>Values with different letters within the same column differ significantly ( $P<0.05$ ).

모든 실험군(0.1~0.2%)은 대조군의  $G'$ 과  $G''$  수치보다 유의적으로 높았다. 실험군은  $\omega$  범위 내에서 유자펙틴 추출물 첨가 농도에 따라  $G'$ 과  $G''$  수치가 유의적으로 증가하였고  $G'$  수치(47.96~75.21 Pa)가  $G''$  수치(19.79~26.06 Pa)보다 높게 나타났다(Table 5). 이는 우유 요구르트(21)에 대한 연구 보고와 일치하였다.

한편  $\eta^*$ 는  $\omega$ 가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈고, 대조군보다 실험군의 수치가 유의적으로 높았다(Fig. 2, Table 5). 이에 따라 유자펙틴 추출물 첨가 요구르트는 shear-thinning 거동을 나타냄을 알 수 있었다. 이러한 결과는 정상유동 특성에서 power law 모델식의  $n$ 값으로부터 확인한 shear-thinning 거동과 일치하였다.

11.5 rad/s에서 대조군과 실험군의  $G'$ 과  $G''$  값 결과는 Table 5에서 보여주고 있다. 실험군의  $G'$ 과  $G''$  값은 대조군보다 유의적으로 높았으며,  $G'$ 값은 유자펙틴 추출물의 농도가 증가할수록 유의적으로 증가하였다.  $G''$  수치의 경우 유자펙틴 추출물의 농도가 0.1%와 0.15%인 실험군에서 유의적인 차이가 나타나지 않았으나, 0.2% 실험군에서 유의적으로 증가하였다. 앞서 언급했듯이 유자펙틴 추출물을 첨가한 요구르트의 점도, 점조도 지수 및 항복응력이 증가한 것은 유자펙틴 추출물의 응고와 우유단백질 미셀 간의 상호작용과 관련된다. 마찬가지로 유자펙틴 추출물을 첨가한 요구르트의 동적 점탄성 계수들이 증가한 것은 우유단백질 미셀과 펙틴의 상호작용과 겔화와 연관된 것으로 생각된다.

시료의 점탄성 거동(viscoelastic behavior)을 평가하는 수치로  $G''$ 과  $G'$ 의 비율인  $\tan \delta$ 가 있는데, 이는  $\tan \delta$  값이 1보다 작으면 탄성적 성질이 크고, 1보다 크면 점성적 성질이 크다는 것을 의미한다. 11.5 rad/s에서 실험군의  $\tan \delta$  값(0.35~0.41)은 1보다 작았다(Table 5). 따라서 유자펙틴

추출물 첨가 요구르트는 점성적 성질보다 탄성적 성질이 더욱 우세함을 확인할 수 있었다.

Table 6은 실험군과 대조군  $\log(G', G'')$  및  $\log \omega$ 과의 관계식들(식 3과 4)로부터 선형회귀에 적용하여 얻어진  $G', G''$ 의 기울기( $n', n''$ )와  $G'$ 과  $G''$ 의 절편( $K', K''$ ) 및 결정계수( $R^2$ )를 보여주고 있다.

$$G' = K'(\omega)^{n'} \quad (\text{식 } 3)$$

$$G'' = K''(\omega)^{n''} \quad (\text{식 } 4)$$

$G'$ 의  $n'$  값은 0.16~0.28을,  $G''$ 의  $n''$  값은 0.20~0.35를 나타내었으며, 높은 결정계수( $R^2=0.94\sim0.97$ )의 직선관계를 나타냈다. 대조군보다 실험군의  $K'$ 과  $K''$  값이 유의적으로 높았다. Yoo와 Noh(22)에 따르면 구조적 측면에서 약한 겔인 경우 기울기( $K', K''$ )가 양(+ )의 기울기를 보여주며, 전체 주파수 범위에서  $G'$ 이  $G''$ 보다 높은 수치를 나타낸다. 이에 유자펙틴 추출물 첨가 요구르트는 약한 겔과 같은 구조적 성질을 가지고 있는 것으로 생각된다. 위의 결과에 따라 유자펙틴 추출물 첨가가 요구르트의 점탄성에 영향을 줄 수 있음을 확인하였다.

#### 기호도 검사

제조 후 5일간  $4^\circ\text{C}$ 에서 냉장 저장된 대조군과 유자펙틴 추출물 첨가 요구르트의 기호도를 비교하기 위해 색, 신맛, 텍스처, 전체적인 기호도를 측정된 결과는 Table 7과 같다. 색상에서는 0.2% 실험군이 6.38점으로 대조군의 5.13점보다 유의적으로 높은 값을 나타냈다. 신맛의 경우 대조군이 4.88점으로 가장 낮게 나타났으며, 실험군 0.1%, 0.15%, 0.2%는 각각 6.00점, 5.78점, 6.00점으로 실험군 모두 대조군보다 유의적으로 높게 나타났다. 텍스처에서는 대조군의

**Table 6.** Slopes ( $n', n''$ ) and intercepts ( $K', K''$ ) of  $\log(G', G'')$  versus  $\log \omega$  (frequency,  $\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$ ) data for yoghurt supplemented with different concentrations of Yuza pectin extract stored at  $4^\circ\text{C}$  for 5 days

Yuza pectin extract concentration (%)	$G'$			$G''$		
	$n'$	$K'$	$R^2$	$n''$	$K''$	$R^2$
0 (control) <sup>1)</sup>	0.28±0.04 <sup>a2)</sup>	0.73±0.07 <sup>c</sup>	0.94	0.35±0.01 <sup>a</sup>	0.37±0.02 <sup>c</sup>	0.96
0.10	0.20±0.02 <sup>b</sup>	1.47±0.02 <sup>a</sup>	0.95	0.23±0.01 <sup>b</sup>	1.05±0.0 <sup>b</sup>	0.96
0.15	0.18±0.02 <sup>b</sup>	1.56±0.05 <sup>a</sup>	0.95	0.22±0.01 <sup>c</sup>	1.09±0.03 <sup>b</sup>	0.94
0.20	0.16±0.01 <sup>c</sup>	1.17±0.01 <sup>b</sup>	0.97	0.20±0.01 <sup>c</sup>	1.21±0.01 <sup>a</sup>	0.95

<sup>1)</sup>The control includes 0.2% high methoxyl pectin.

<sup>2)</sup>Values with different letters within the same column differ significantly ( $P<0.05$ ).

**Table 7.** Sensory scores of yogurt supplemented with different concentrations of Yuza pectin extract stored at 4°C for 5 days

Yuza pectin extract concentration (%)	Color	Sour taste	Texture	Overall acceptability
0 (control) <sup>1)</sup>	5.13±0.83 <sup>c2)</sup>	4.88±0.79 <sup>b</sup>	3.13±0.79 <sup>c</sup>	4.22±0.83 <sup>b</sup>
0.10	5.78±0.87 <sup>b</sup>	6.00±0.84 <sup>a</sup>	5.66±0.87 <sup>a</sup>	5.22±0.79 <sup>a</sup>
0.15	6.31±0.82 <sup>a</sup>	5.78±0.87 <sup>a</sup>	4.91±0.82 <sup>b</sup>	5.13±0.71 <sup>a</sup>
0.20	6.38±0.83 <sup>a</sup>	6.00±0.76 <sup>a</sup>	5.78±0.79 <sup>a</sup>	5.22±0.61 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>The control includes 0.2% high methoxyl pectin.

<sup>2)</sup>Values with different letters within the same column differ significantly ( $P<0.05$ ).

경우 3.13점, 실험군 0.2%는 5.78점으로 대조군보다 유의적으로 높은 차이를 나타냈다. 전체적인 기호도 또한 실험군 0.1%, 0.15%, 0.2%가 각각 5.22점, 5.13점, 5.22점으로 4.22점인 대조군보다 유의적으로 높게 나타났다. 이상의 관능평가를 종합해 볼 때 유자펙틴 추출물 첨가 요구르트는 대조군보다 기호도 검사 모든 항목에서 점수가 높아 품질이 우수한 것으로 나타났다.

### 요 약

유자의 이용성을 높이기 위해 유자펙틴 추출물을 첨가한 요구르트를 제조하여 이화학적 특성을 평가하였다. 본 연구에서 추출된 유자펙틴 추출물의 uronic acid 함량은 53.93%였다. 유자펙틴 추출물 첨가 요구르트의 이화학적 특성 실험에 따르면 실험군의 pH는 4.3으로 나타났으며 실험군의 유산균 수는 식품공전에 명시된 요구르트 제조 기준에 적합하였다. 정상유동 특성의 경우 유자펙틴 추출물 첨가 요구르트의 n값은 1보다 낮은 범위(n=0.33~0.44)에 있어 shear-thinning 유체 특성이 있었다. 점조도 지수, 겔보기 점도의 경우 대조군보다 모든 유자펙틴 추출물 첨가 요구르트가 유의적으로 높았다. 동적 점탄성의 경우 저장탄성률(G')과 손실탄성률(G'')은 주파수가 증가함에 따라 유의적으로 증가하였고, G'의 수치가 G''보다 뚜렷하게 높았다. 유자펙틴 추출물 첨가 요구르트의 복소점도 값은 대조군보다 유의적으로 높았으며, 점성적 성질에 비해 탄성적 성질이 더욱 우세하였다. 또한 유자펙틴 추출물 첨가 요구르트는 약한 겔과 같은 구조적 성질을 가지고 있었다. 결과적으로 유자펙틴 추출물 첨가가 요구르트의 점탄성에 영향을 줄 수 있음을 확인하였다. 소비자검사에서도 실험군의 기호도가 더 높은 것으로 보아 우수한 품질임을 알 수 있었다. 따라서 유자를 이용한 후 버려지는 유자껍질에서 펙틴을 추출하여 요구르트 제조에 첨가함으로써 향후 친환경적이며 고부가가치 요구르트 제조가 가능할 것으로 생각한다.

### 감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2015R1D1A1A01059564)

### REFERENCES

- Lee YJ, Kim SI, Han YS. 2008. Antioxidant activity and quality characteristics of yogurt added yuza (*Citrus junos* Sieb ex Tanaka) extract. *Korean J Food & Nutr* 21: 135-142.
- Jung GT, Ju IO. 1997. Studies on the preparation of yogurt from milk added purple sweet potato powder. *Korean J Food & Nutr* 10: 458-461.
- Kim SH, Choi DJ, Shin JH, Lee JY, Sung NJ. 2004. Nutritional characteristics of ice cream added with citron juice. *Korean J Food & Nutr* 17: 212-219.
- Lee YC, Kim IH, Jeong JW, Kim HK, Park MH. 1994. Chemical characteristics of citron (*Citrus junos*) juices. *Korean J Food Sci Technol* 26: 552-556.
- Park SM, Lee HH, Chang HC, Kim IC. 2001. Extraction and physicochemical properties of the pectin in citron peel. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30: 569-573.
- Platt D, Raz A. 1992. Modulation of the lung colonization of B16-F1 melanoma cells by citrus pectin. *J Natl Cancer Inst* 84: 438-442.
- Hirano M, Kiyohara H, Matsumoto T, Yamada H. 1994. Structural studies of endopolygalacturonase-resistant fragments of an antiulcer pectin from the roots of *Bupleurum falcatum* L. *Carbohydr Res* 251: 145-162.
- Jin TY, Wang MH, Yin Y, Eun JB. 2008. Effect of *Citrus junos* peel on the quality and antioxidant activity of traditional rice wine, *Jinyangju*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 76-82.
- Dubois N, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substance. *Anal Chem* 28: 350-356.
- Blumenkrantz N, Asboe-Hansen G. 1973. New method for quantitative determination of uronic acids. *Anal Biochem* 54: 484-489.
- Rasic JL, Kurmann JA. 1978. *Yogurt: scientific grounds, technology manufacture and preparations*. Technical Dairy Publishing House, Copenhagen, Denmark. p 321.
- Rodrigues D, Rocha-Santos TAP, Pereira CI, Gomes AM, Malcata FX, Freitas AC. 2011. The potential effect of FOS and inulin upon probiotic bacterium performance in curdled milk matrices. *LWT - Food Sci Technol* 44: 100-108.
- Akalin AS, Fenderya S, Akbulut N. 2004. Viability and activity of bifidobacteria in yoghurt containing fructooligosaccharide during refrigerated storage. *Int J Food Sci Technol* 39: 613-621.
- Tsai SC, Zammouri K. 1988. Role of interparticular van der Waals force in rheology of concentrated suspensions. *J Rheol* 32: 737-750.
- Holdsworth SD. 1971. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products. *J Texture Stud* 2: 393-418.

16. Rao MA. 1977. Rheology of liquid foods-a review. *J Texture Stud* 8: 135-143.
17. Staffolo MD, Bertola N, Martino M, Bevilacqua YA. 2004. Influence of dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yogurt. *Int Dairy J* 14: 263-268.
18. Jinescu VV. 1973. The rheology of suspensions. *Int Chem Eng* 14: 397-420.
19. Janhoj T, Frost MB, Ipsen R. 2008. Sensory and rheological characterization of acidified milk drinks. *Food Hydrocolloids* 22: 798-806.
20. Murti TW, Bouillanne C, Landon M, Smazeaud MJ. 1992. Bacterial growth and volatile compounds in yoghurt-type products from soymilk containing *Bifidobacterium* sp. *J Food Sci* 57: 153-156.
21. Ramírez-Sucre MO, Vélez-Ruiz JF. 2013. Physicochemical, rheological and stability characterization of a caramel flavored yogurt. *LWT-Food Sci Technol* 51: 233-241.
22. Yoo BS, Noh WS. 2000. Effect of fermentation temperature on rheological properties of traditional *kochujang*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 29: 860-864.