

쓰가루 사과즙을 이용한 두부의 품질 및 항산화 특성

김동호¹ · 홍경남¹ · 임여경¹ · 차승현¹ · 류지은¹ · 조진호² · 김대일³ · 유도일⁴ · 장금일¹

¹충북대학교 식품생명공학과, ²충북대학교 축산학과
³충북대학교 원예학과, ⁴충북대학교 농업경제학과

Quality and Antioxidant Properties of Tofu Coagulated with 'Tsugaru' Apple (*Malus domestica* Borkh) Juice

Dong-Ho Kim¹, Kyeong-Nam Hong¹, Yeo-Kyeong Lim¹, Seung-Hyeon Cha¹,
Ji-Eun Ryu¹, Jin-Ho Cho², Dae-Il Kim³, Do-Il Yoo⁴, and Keum-Il Jang¹

¹Department of Food Science and Biotechnology, ²Department of Animal Science,
³Department of Horticultural Science, and
⁴Department of Agricultural Economics, Chungbuk National University

ABSTRACT In this study, we investigated the quality, antioxidant properties, and sensory characteristics of tofu coagulated with 'Tsugaru' apple (*Malus domestica* Borkh) juice. Yield, °Brix, pH, total acidity, total polyphenol content, 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) radical scavenging activity, and 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging activity of 'Tsugaru' apple juice were 60%, 10.3, 3.89, 0.51%, 2.26 mg gallic acid equivalent (GAE)/g, 20 µg L-ascorbic acid equivalent (AE)/g, and 75 µg AE/g, respectively. In case of Tofu coagulated with 20% (w/v) 'Tsugaru' apple juice, yield, °Brix, pH, total acidity, hardness, chewiness, cohesiveness, total polyphenol content, ABTS radical scavenging activity, and DPPH radical scavenging activity were 165%, 6.23, 0.27%, 513 g, 315, 0.61, 12.04 mg GAE/g, 80.67 µg AE/g, and 92.32 µg AE/g, respectively. Both the manufacture yield and pH of tofu decreased with increasing amount of 'Tsugaru' apple juice, whereas total acidity increased. Regarding the texture and chromaticity of tofu coagulated with increasing amounts of 'Tsugaru' apple juice, hardness, chewiness, and a- and b-values increased, whereas cohesiveness and L-value both decreased. In terms of antioxidant activities, total polyphenol content and DPPH radical scavenging activity increased, whereas ABTS radical scavenging activity was maintained within a certain range. Finally, concerning the sensory evaluation (taste, color, flavor, and overall preference) of tofu coagulated with 30% (w/w) 'Tsugaru' apple juice showed the highest scores. Taken together, these results support the possible use of 'Tsugaru' apple juice in producing various foods, as addition of juice enhanced quality, antioxidant properties, and sensory characteristics of tofu.

Key words: quality, antioxidant, tofu, Tsugaru apple, coagulant

서 론

두부는 칼슘과 마그네슘의 염화물 또는 황산염 등의 응고제를 첨가하여 대두 단백질이 disulfide 결합, 수소결합 등에 의해 응집되어 침전되거나 산에 의해 등전점(pH 4.2~4.6)에서 침전되는 성질을 이용하여 제조한 것으로서(1,2), 맛이 담백하고 체내의 신진대사와 성장 발육에 필요한 아미노산과 칼슘, 철분 등의 무기물이 다량 함유된 식물성 단백질 식품으로 알려져 있다(3,4).

두부 제조에서 첨가되는 응고제는 염화마그네슘(MgCl₂),

황산칼슘(CaSO₄) 및 염화칼슘(CaCl₂) 등이 사용되고 있으며, 현재 가장 많이 사용 중인 황산칼슘은 사용하기 쉽고 수율이 높지만 맛이 떨어지고, 소위 간수라 일컫는 염화마그네슘은 황산칼슘보다 부드럽지는 않지만 염화칼슘보다 침전이 부드럽고 수율이 높은 특징을 나타낸다(2,4). 또한 산에 의한 두부 제조에서 사용되는 대표적인 응고제로는 G.D.L (glucono-delta-lacton)이 있는데, 무기염이나 무기산에 의한 응고보다 수율이나 질적인 면에서는 좋지만 맛이나 기능적인 면에서 떨어지는 특성을 나타낸다(4,5).

최근 두부의 품질을 고급화하고 저장성을 높이기 위하여 함초를 첨가한 두부(3), 귀눈이콩을 첨가한 두부 제조(6) 등의 연구가 보고되고 있으며, 식생활의 고급화, 건강지향화 및 친환경화를 선호하여 화학물질 사용에 대한 소비자들의 거부감이 증가함에 따라 화학응고제 대신 천연응고제로서 오미자즙과 매실즙을 첨가하여 제조한 두부(1), 석류 농축액

Received 29 February 2016; Accepted 12 May 2016

Corresponding Author: Keum-Il Jang, Department of Food Science and Biotechnology, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk 28644, Korea
E-mail: jangki@chungbuk.ac.kr, Phone: +82-43-261-2569

을 첨가하여 제조한 두부(4), 살구즙을 첨가한 두부(2) 등 다양한 생리활성 성분을 함유한 천연소재를 첨가하여 제조한 두부의 품질, 기능성 및 저장성 향상을 동시에 추구하려는 연구가 활발하게 진행되고 있다.

사과는 쌍떡잎식물 장미목 장미과의 낙엽교목 식물인 사과나무의 열매로 관능적 특성이 좋고 영양학적으로 무기질 함량이 높은 알칼리성 식품이며, 당, 식이섬유 및 유기산 등이 풍부한 과실로 알려져 있다(7,8). 특히 ‘쓰가루’ 사과 (*Malus domestica* Borkh)는 1930년 일본 아오모리현에서 육성된 품종으로 국내에서는 아오리 사과로 알려져 있는데, 과형은 원형이고 과피색은 녹황색 또는 녹색을 나타내며, 과육은 황백색으로 치밀하고 과즙이 많은 편이며, pH가 4.0 이하로 낮고 당도가 높은 품종이다(9). ‘쓰가루’ 사과는 8월 중순부터 9월 초순에 생산되는데 과실의 저장성과 가공 적합성이 낮아 주로 단기간에 생과로만 소비되고 있다(9,10).

일반적으로 사과를 이용한 가공식품으로 사과주스, 사과잼, 사과식초 등에 관련되어 저온 및 고온살균 사과주스의 품질(7), 해당화 열매 첨가 사과잼의 품질(11), 생강 첨가 사과잼(12), 사과식초를 위한 사과주스의 초산 발효 최적화(13) 등 다양한 가공 기술이 연구되고 있지만, ‘쓰가루’ 사과를 이용한 연구는 주로 1-MCP 처리에 의한 저장 중 품질 특성(14), aminoethoxyvinylglycine 처리에 의한 ‘쓰가루’ 사과의 저온 저장 중 에틸렌 발생 및 세포벽 성분 변화(15), 저장온도에 따른 ‘쓰가루’ 사과의 호흡 및 품질(16) 등 주로 단기간의 저장 중 품질 연장에 관한 연구만 진행되었으며 ‘쓰가루’ 사과를 이용한 가공식품 제조에 관한 연구는 전혀 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 사과의 부가가치 향상을 위한 가공 방법으로 콩 단백질의 등전점보다 낮은 pH를 갖는 ‘쓰가루’ 사과 과즙을 이용한 두부의 제조 가능성을 제시하고자 하였다. 먼저 ‘쓰가루’ 사과 과즙의 품질 특성을 분석한 다음, ‘쓰가루’ 사과 과즙을 응고제로 제조한 두부와 염화마그네슘, 염화칼슘 등의 화학응고제로 제조한 두부의 이화학적 특성 및 항산화 활성과 관능 특성을 상호 비교함으로써 두부 제조를 위한 응고제로서 ‘쓰가루’ 사과 과즙의 이용 가능성을 확인하고, ‘쓰가루’ 사과 품종을 이용한 다양한 가공식품의 제조 가능성에 대한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용한 대두(백태) 및 ‘쓰가루’ 사과는 충북 청주시 흥덕구 가경동 홈플러스 청주지점(2015년 국내산)에서 구입하여 시료로 사용하였으며, 두부 제조에서 사과즙에 의한 두부와 비교하기 위한 응고제로 $MgCl_2$ 와 $CaCl_2$ (Food additives grade, Qingdao Huadong Calcium Producing Co., Qingdao, China)를 구입하여 사용하였다. 그리고 본 실험에서 항산화 활성을 분석하기 위한 시약으로 DPPH(2,

2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), Folin-Ciocalteu's phenol reagent, ABTS(2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)와 gallic acid 및 potassium persulphate는 Sigma-Aldrich Co.(St. Louis, MD, USA)에서 구입하였으며, Na_2CO_3 (sodium carbonate) 용액은 Samchun Pure Chemical Co.(Seoul, Korea)에서, 그리고 L-ascorbic acid는 Junsei Chemical Co.(Tokyo, Japan)에서 구입하여 사용하였다.

사과즙 제조

사과즙은 ‘쓰가루’ 사과를 제피 및 제핵하고 무게를 측정 후 녹즙기(NJE-2003R, NUC, Daegu, Korea)를 이용하여 마쇄 및 착즙한 다음 고품질을 여과하여 1차 사과즙(10.3°Brix)을 제조하고 무게를 측정하여 수율을 분석하였다. 그리고 1차 사과즙을 동결건조기(FD5508, Ilshin Lab Co., Dongducheon, Korea)를 이용하여 사과 분말을 제조하였고 $-80^{\circ}C$ 의 deep freezer(MDF-399, Sanyo, Tokyo, Japan)에서 보관한 후 두부 제조 시 해동하고 100 mL의 증류수에 20, 30 및 40 g의 사과 분말을 첨가하여 대두 100 g에 대한 20, 30 및 40%(w/v)의 2차 사과즙을 제조하여 사용하였다. 두부 제조에서 사용되는 사과즙의 품질 및 항산화 특성을 분석하기 위해 20%(w/v) 사과즙의 총산, pH 및 색도 그리고 총폴리페놀 함량, DPPH 라디칼 소거능 및 ABTS 라디칼 소거능을 분석하였다.

두부 제조

사과즙 및 응고제 첨가로 제조하는 두부는 Lee 등(2)과 Kim과 Lee(6)의 방법을 변형하여 제조하였으며, 제조공정은 Fig. 1에 나타내었다. 먼저 대두를 수세하고 대두 무게의 5배 증류수에 넣은 후 실온에서 12시간 동안 침지시켰다. 그리고 침지액을 제거한 다음 균질기(IKA Ultra-Turrax T25, Janke & Kunkel, Staufen, Germany)에 넣고 대두 무게의 10배에 해당하는 증류수를 가하여 마쇄하였다. 마쇄액을 면포로 여과하여 얻은 두유 일정량을 $80^{\circ}C$ 로 가열한 후 먼저 두부 형성을 위한 최소 사과즙 농도인 20%(w/v) 그리고 30, 40%(w/v)의 사과즙을 첨가하여 순두부를 제조하고, 같은 조건에서 응고제인 $MgCl_2$ 와 $CaCl_2$ 에 의해 제조되는 두부의 특성을 상호 비교하기 위해 20%(w/v) $MgCl_2$ 와 $CaCl_2$ 를 첨가한 순두부를 각각 제조한 다음 $10 \times 8 \times 7 \text{ cm}^3$ 크기의 압착 성형틀에 넣고 3 kg의 추를 가하여 최종 37.5 g/cm^2 의 압력으로 30분 동안 압착하여 두부를 성형, 제조하였다.

두부 시료의 전처리

두부의 pH, 총산 및 색도 등의 이화학적 품질 특성을 분석하기 위한 두부 시료는 제조된 두부 10 g을 취하여 비커에 넣고 20 mL의 멸균증류수를 가한 후 균질기(IKA Ultra-Turrax T25)로 마쇄한 다음 Whatman filter paper(No. 2,

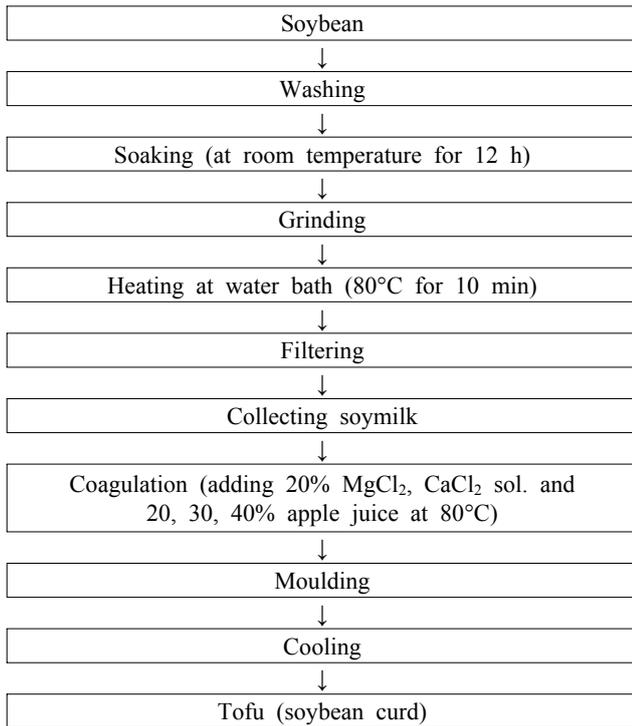


Fig. 1. Preparation procedure for tofu coagulated with various coagulants.

Whatman International, St. Louis, MO, USA)로 여과하여 사용하였다. 두부의 항산화 특성을 분석하기 위한 두부 시료는 먼저 제조한 두부를 동결건조기로 동결 건조한 10 g 두부 분말에 70% 에탄올 100 mL를 첨가하여 2시간 동안 교반(Wisestir SMHS6, Daihan Scientific Co., Wonju, Korea)한 다음 2,500×g에서 10분 동안 원심분리(Union 5kr, Han-il Science Industrial Co., Incheon, Korea)하여 두부 추출물을 제조하였다. 그리고 두부 추출물은 Whatman filter paper(No. 2, Whatman International)로 여과하여 사용하였다.

수율, 총산 및 pH 측정

사과즙의 수율은 사과즙의 무게를 원료 사과의 무게로 나누어 백분율로 구하였으며, 두부의 수율은 Kim과 Lee(6)의 방법을 적용하여 제조된 두부의 무게를 원료 대두의 무게로 나누어 백분율로 나타내었다. 총산은 사과즙과 두부 시료 10 mL에 증류수를 가하여 100 mL로 정용한 후 0.1 N NaOH를 가하여 pH 8.3이 될 때까지 적정한 다음 소요된 NaOH의 mL를 lactic acid로 환산하였다(17). pH는 사과즙과 두부 시료를 이용하여 pH meter(Orion 4 star, Thermo Scientific, Beverly, MA, USA)로 측정하였다. 모든 분석은 시료에 대하여 3회 반복 측정하였다.

색도 및 텍스처 측정

사과즙과 두부의 색도는 색차계(CR-300, Minolta Co.,

Tokyo, Japan)를 이용하여 L값(lightness), a값(redness), b값(yellowness)의 변화된 값을 비교하였으며, 사용한 표준 백색판 값은 L=92.7, a=0.3137, b=0.3960이었다. 그리고 두부의 텍스처 특성을 조사하기 위해 시료를 1.5 cm×1.5 cm×1.5 cm의 크기로 절단하고 texture analyser(Text analyzer TA-XT2, Texture Technologies Co., Scarsdale, NY, USA)를 이용하여 경도(hardness), 씹힘성(chewiness) 및 응집성(cohesiveness)을 분석하였다. 두부의 텍스처는 30% strain, 지름 20.0 mm의 probe, 1.0 mm/s의 test speed, 3.0 mm/s의 pre-test speed, 1.0 mm/s의 post-test speed, 10.0 g의 trigger type의 조건에서 분석하였으며, 모두 10회 반복 측정하였다.

사과즙과 두부의 총폴리페놀 함량 분석

사과즙과 두부에 대한 총폴리페놀 함량은 Dewanto 등(18)의 방법에 따라 Folin-Ciocalteu reagent가 시료의 폴리페놀성 화합물에 의해 환원된 결과, 몰리브덴 청색으로 발색하는 것을 원리로 측정하였다. 사과즙 및 두부 시료 100 μ L에 2% Na_2CO_3 용액을 2 mL 첨가한 후 3분간 실온에서 방치하였다. 그리고 50% Folin-Ciocalteu reagent를 0.1 mL 가한 후 30분 동안 반응시켜 흡광도 값을 750 nm에서 측정하였다. 표준물질로 gallic acid를 사용하여 검량선을 작성한 후 총폴리페놀 함량은 시료 g당 mg gallic acid equivalent(GAE)로 나타내었다. 그리고 모든 시료에 대하여 3회 반복 측정하였다.

사과즙과 두부의 ABTS 라디칼 소거능

사과즙과 두부의 ABTS 라디칼 소거능은 Ahn 등(19)의 방법에 따라 ABTS cation decolorization assay를 수행하였다. 7.4 mM의 ABTS와 2.6 mM의 potassium persulfate를 1:1로 동량 혼합한 후 암실에서 12~16시간 교반하여 반응시키고, 735 nm에서 흡광도 값이 1.4~1.5가 되도록 흡광계수($\epsilon=3.6 \times 10^4 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$)를 이용하여 증류수로 희석하였다. 그리고 사과즙과 두부 시료 50 μ L를 희석된 ABTS 용액 1 mL에 가하여 60분간 반응시키고 735 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 표준물질로 L-ascorbic acid를 동량 첨가하였다. 총항산화력은 ascorbic acid에 해당하는 항산화력(AEAC, L-ascorbic acid equivalent antioxidant capacity, $\mu\text{g AE/g}$)으로 나타내었다. 그리고 모든 시료에 대하여 3회 반복 측정하였다.

사과즙과 두부의 DPPH 라디칼 소거능

사과즙과 두부의 DPPH 총라디칼 소거능은 Blois(20)의 방법에 따라 먼저 DPPH 용액을 0.005 g/100 mL로 99.9% 에탄올에 희석한 후 2시간 이상 암소에서 방치하고, 520 nm에서 흡광도 값이 1.5~1.7로 보정하여 준비하였다. 그리고 사과즙과 두부 시료 0.2 mL에 DPPH 용액 0.8 mL를 넣어 교반한 다음 실온에서 30분간 방치한 후 520 nm에서

흡광도를 측정하였으며, 표준물질로 L-ascorbic acid를 동량 첨가하였다. DPPH 라디칼 소거능은 정량적으로 비교 분석하기 위하여 ascorbic acid에 해당하는 항산화력(AEAC, $\mu\text{g AE/g}$)으로 나타내었다. 그리고 모든 시료에 대하여 3회 반복 측정하였다.

두부의 관능검사

관능패널의 선발은 Whang 등(21)의 방법을 변형하여 수행하였다. 먼저 충북대학교 식품생명공학과 학생 30명을 대상으로 제공된 3가지 두부 시료 중에서 2개의 두부 시료와 특성이 다른 1가지의 두부 시료를 선별하는 삼점법을 이용하였는데, 20%(w/v) 염화칼슘 또는 염화마그네슘 그리고 20%(w/v) 최저 사과즙으로 제조한 2가지의 두부 시료 중 여러 방식의 조합으로 마련된 3가지 시료를 난수표에서 뽑은 백 단위 숫자를 시료 기호로 표시하여 제공하였다. 총 5회에 걸쳐 시료를 평가한 후 3회 이상 정확한 판정을 내린 관능 요원 20명을 선발하였다. 선발된 관능 요원에게 실험 목적과 두부에 대한 관능적 품질요소를 잘 인식하도록 사전 교육을 한 후 관능검사를 하였다. 관능검사용 사과즙 첨가 두부 시료는 무작위로 조합된 3자리 숫자가 주어졌으며, 동일 크기(2.0 cm×2.0 cm×2.0 cm)로 자른 후 흰색 접시에 담아 제공하였다. 한 개의 시료를 평가한 후 반드시 생수로 입안을 헹구고 다른 시료를 평가하도록 하였으며, 측정 항목은 색, 맛, 냄새(향기), 전체적인 선호도 등을 5점 척도법(매우 좋다, 5점; 좋다, 4점; 보통이다, 3점; 나쁘다, 2점; 매우 나쁘다, 1점)으로 측정하였다.

통계분석

통계처리는 SAS(Statistical Analysis System, Ver. 8.01, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) program을 이용하여 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하고, 처리 간의 차이 유무를 one-way ANOVA(analysis of variation)로 분석한 뒤 Duncan's multiple range test를 이용하여 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

‘쓰가루’ 사과즙의 이화학적 품질 특성

‘쓰가루’ 사과즙의 이화학적 품질 특성을 Table 1에 나타내었다. 사과 대비 사과즙의 수율은 약 60% 정도로 높은 수율을 나타내었으며, 당도는 10.3°Brix로 ‘쓰가루’ 사과는 과즙이 많고 당도가 높다는 Park 등(9)의 보고와 유사하였다. 그리고 콩의 수용성 단백질이 등전점(pH 4.2~4.6)에서 응고되어 두부가 형성된다는 보고(1)로 미루어볼 때 ‘쓰가루’ 사과즙의 pH는 3.89로 등전점보다 낮게 나타나 사과즙에 의한 두부 제조가 가능할 것으로 생각된다. 또한 총산은 0.51% 수준으로 시판 사과주스의 산도가 0.45~0.53% 범위를 나타낸다는 Hwang 등(22)의 보고와 유사하였다. 그러

Table 1. Physicochemical and antioxidant properties of ‘Tsugaru’ apple juice

	‘Tsugaru’ apple juice
Yield (%)	60.7±2.5
Total acidity (%)	0.51±0.03
pH	3.89±0.03
Color L value	72.77±1.32
a value	14.25±3.99
b value	23.25±1.16
Total polyphenol content (mg GAE/g)	2.26±0.45
ABTS radical scavenging ($\mu\text{g AE/g}$)	20±0.6
DPPH radical scavenging ($\mu\text{g AE/g}$)	75±1.4

나 ‘쓰가루’ 사과를 마쇄하면서 갈변이 발생하고 색이 갈색을 나타내어 최종 두부의 색에 영향을 미칠 것으로 생각된다. 따라서 사과즙 제조에서부터 갈변 방지에 관한 기술을 적용해 두부를 제조한다면 사과 고유의 색으로 두부가 제조될 수 있을 것으로 생각된다.

‘쓰가루’ 사과즙의 항산화 특성을 분석한 결과, 먼저 총폴리페놀 함량은 2.26 mg GAE/g, ABTS 라디칼 소거능은 20 $\mu\text{g AE/g}$, DPPH 라디칼 소거능은 75 $\mu\text{g AE/g}$ 을 나타내었다(Table 1). 이는 8개의 사과 품종에서 총폴리페놀 함량이 0.7~1.2 mg GAE/g 범위를 나타낸 Khanizadeh 등(23)의 보고보다 높은 총폴리페놀 함량을 나타내어 ‘쓰가루’ 사과즙으로 두부 제조 시 두부의 항산화 활성이 향상될 것으로 기대된다.

농도별 사과즙 첨가 두부의 이화학적 특성

염화칼슘과 염화마그네슘 그리고 20, 30, 40%(w/v) 사과즙으로 제조한 두부의 이화학적 품질 특성은 Table 2에 나타내었다. 두부의 제조 수율은 염화칼슘 두부와 20%(w/v) 사과즙 두부에서 160% 이상의 제조 수율을 나타내었으나, 30%(w/v)와 40%(w/v) 사과즙 두부에서는 제조 수율이 약 20% 정도 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 0.16%까지는 phytic acid 첨가량이 증가할수록 두부의 무게도 증가하지만 그 이상의 첨가량부터는 무게가 감소한다는 Setyono (24)의 보고와 유사하였다.

두부 pH와 산도를 비교해보면 염화칼슘과 염화마그네슘 두부보다 20%(w/v) 사과즙 두부에서 pH는 높고 산도는 낮게 나타났으나, 사과즙의 농도가 증가할수록 pH는 감소하고 산도는 증가하여 40%(w/v) 사과즙 두부에서는 pH가 낮아져 염화칼슘과 염화마그네슘 두부의 pH와 총산 모두 유사하게 나타났다. 이는 두유의 단백질 용해도가 pH에 영향을 받으며, 등전점보다 낮은 pH에서는 단백질이 산과 반응하여 단백질-산염 복합체를 형성하여 불용성으로 응고되고 침전되므로(24), ‘쓰가루’ 사과즙의 경우에서도 20%(w/v)의 농도까지는 사과즙 내 유기산이 두유의 단백질과 반응하면서 소모되어 pH가 높게 나타나지만, 사과즙 농도가 증가하면서 단백질과 반응하고 남는 여분의 유기산이 존재함에 따라 pH가 낮아지면서 산도가 증가한 것으로 생각된다.

Table 2. Physicochemical properties of tofu coagulated with various coagulants

		Coagulants for tofu preparation					F-value
		20% (w/v) calcium chloride	20% (w/v) magnesium chloride	20% (w/v) 'Tsugaru' apple juice	30% (w/v) 'Tsugaru' apple juice	40% (w/v) 'Tsugaru' apple juice	
Yield (%)		161.33±4.73 ^a	148.67±9.71 ^b	164.67±3.79 ^a	146.67±8.96 ^b	144.33±4.73 ^b	5.45 [*]
pH		5.41±0.310 ^c	5.64±0.194 ^{bc}	6.23±0.066 ^a	5.9±0.03 ^{ab}	5.79±0.18 ^b	8.34 [*]
Total acidity (%)		0.32±0.05 ^{ab}	0.39±0.03 ^a	0.27±0.09 ^b	0.39±0.02 ^a	0.38±0.03 ^a	3.36 [*]
Texture	Hardness (g)	633.2±46.17 ^{bc}	630.9±117.95 ^{bc}	513.5±86.57 ^c	831.3±136.47 ^b	1,114.5±203.50 ^a	10.01 [*]
	Chewiness	342.50±14.622 ^b	322.55±77.03 ^b	315.23±35.01 ^b	482.82±68.72 ^a	488.59±82.69 ^a	6.09 [*]
	Cohesiveness	0.60±0.010 ^a	0.57±0.064 ^a	0.61±0.031 ^a	0.5±0.01 ^b	0.42±0.03 ^b	15.46 ^{**}
Color	L value	84.37±0.098 ^a	84.53±1.165 ^a	76.37±2.450 ^b	72.5±3.02 ^{bc}	69.48±4.95 ^c	17.16 ^{**}
	a value	0.23±0.23 ^c	0.24±0.23 ^c	1.27±0.30 ^b	1.68±0.56 ^{ab}	2.29±0.61 ^a	13.83 ^{**}
	b value	14.23±0.644 ^{ab}	13.48±0.370 ^{ab}	12.00±2.268 ^b	15.0±1.47 ^a	16.29±2.02 ^a	3.27 [*]

^{a-c}Means represented by different superscripts in the same row are significantly different at $P < 0.05$.

Significant at ^{*} $P < 0.05$, ^{**} $P < 0.001$.

pH와 산도는 두부의 저장 및 부패에 직접적인 영향을 줄 수 있는데, Jung 등(1)은 오미자즙과 매실즙을 첨가하여 제조한 두부가 CaSO_4 를 첨가하여 제조한 두부보다 두부 부패 세균의 생육에 대한 억제 효과가 좋았던 것은 오미자즙과 매실즙 첨가가 두부의 pH를 낮추었기 때문이라고 보고하였다. 또한 Kim과 Park(4)은 석류즙을 첨가하여 제조한 두부군의 세균이 GDL 첨가 두부보다 pH가 낮아 세균의 증식 속도가 감소하여 저장 기간이 연장되었다고 보고하였는데, 이와 같은 결과로 미루어볼 때 '쓰가루' 사과즙 첨가 농도가 증가할수록 두부의 pH 감소 및 산도가 증가하기 때문에 사과즙으로 제조한 두부의 경우 두부 변패에 영향을 줄 수 있는 세균류의 성장이 억제되어 두부의 저장성이 향상될 수 있을 것으로 생각된다.

조직감의 경우 염화칼슘과 염화마그네슘 두부 및 20% (w/v) 사과즙 두부는 경도, 씹힘성, 응집성 모두 유사한 범위를 유지하였으나, 사과즙의 농도가 증가할수록 경도와 씹힘성은 증가하는 반면 응집성은 다소 낮아지는 경향을 나타내었다. 이는 살구즙을 첨가하여 제조한 두부에서 살구즙 함량이 증가할수록 경도, 씹힘성, 응집성 모두 증가하였다는 Lee 등(2)의 보고와 유사하나 응집성의 경우 차이를 나타내었으며, 우유를 첨가한 두부에서 경도와 씹힘성은 증가하나 응집성에서는 변화가 없었다는 Kim 등(25)의 보고와 유사하였다. 두부의 색도는 염화칼슘과 염화마그네슘 두부보다 사과

즙 두부에서 사과즙의 함량이 증가할수록 명도(L-value)가 낮아져 상대적으로 어두운색을 나타냈으며, 40%(w/v) 사과즙 두부에서는 적색도(a-value)와 황색도(b-value)가 증가하는 경향을 나타내었다(Table 2, Fig. 2). 이는 사과즙 제조 과정에서 사과즙이 갈변되기 때문에 기인한 것으로 생각된다.

농도별 사과즙 첨가 두부의 항산화 특성

'쓰가루' 사과즙 첨가에 따른 두부의 항산화 특성을 비교해보면(Table 3), 염화칼슘과 염화마그네슘 두부 및 20% (w/v) 사과즙 두부는 총폴리페놀 함량, ABTS 라디칼 소거능 및 DPPH 라디칼 소거능 모두 약간의 차이는 있지만 유사한 범위를 나타내었다. 그러나 사과즙의 함량이 증가할수록 총폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거능은 증가했지만 ABTS 라디칼 소거능은 일정한 범위를 유지하였다. Rekha와 Vijayalakshmi(26)의 두유, 일반두부, 레몬 응고두부, 타마린드 응고두부, 구스베리 응고두부 등을 제조하여 두부에 남아 있는 이소플라본의 함량을 비교한 결과 유의적인 차이가 나타나지 않았다는 보고로 미루어볼 때, 20%(w/v) '쓰가루' 사과즙으로 제조한 두부에서는 사과즙에 함유된 폴리페놀 성분이 콩 단백질의 응고과정에 대부분 소모되었지만, 염화칼슘과 염화마그네슘 두부와 유사하게 콩에서 추출된 이소플라본 등의 폴리페놀 성분이 남아 있어 12 mg GAE/g

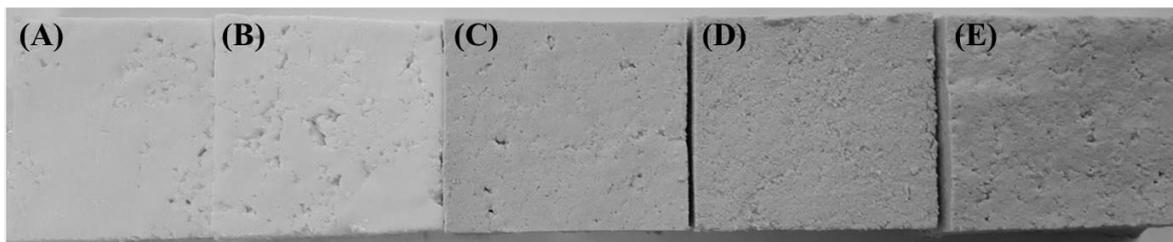


Fig. 2. Images of tofu coagulated with various coagulants such as (A) 20% (w/v) calcium chloride, (B) 20% (w/v) magnesium chloride, (C) 20% (w/v) 'Tsugaru' apple juice, (D) 30% (w/v) 'Tsugaru' apple juice, and (E) 40% (w/v) 'Tsugaru' apple juice.

Table 3. Antioxidant activities of tofu coagulated with various concentration of 'Tsugaru' apple juice

	Coagulants for tofu preparation					F-value
	20% (w/v) calcium chloride	20% (w/v) magnesium chloride	20% (w/v) 'Tsugaru' apple juice	30% (w/v) 'Tsugaru' apple juice	40% (w/v) 'Tsugaru' apple juice	
Total polyphenol content (mg GAE/g)	12.77±0.26 ^b	12.40±0.77 ^b	12.04±0.63 ^b	15.43±1.59 ^a	16.13±0.50 ^a	13.90 ^{**}
ABTS radical scavenging (µg AE/g)	60.33±8.02 ^c	70.33±7.37 ^{abc}	80.67±3.21 ^a	76.33±4.93 ^{ab}	65.67±11.02 ^{bc}	3.60 [*]
DPPH radical scavenging (µg AE/g)	89.33±5.13 ^b	90.33±11.72 ^b	92.32±16.26 ^b	122.31±29.54 ^{ab}	154.67±48.50 ^a	3.36 [*]

^{a-c}Means represented by different superscripts in the same row are significantly different at $P<0.05$. Significant at ^{*} $P<0.05$, ^{**} $P<0.001$.

Table 4. Sensory test profiles for tofu coagulated with various coagulants

Coagulants	20% (w/v) calcium chloride	20% (w/v) magnesium chloride	20% (w/v) 'Tsugaru' apple juice	30% (w/v) 'Tsugaru' apple juice	40% (w/v) 'Tsugaru' apple juice	F-value
Color	3.18±0.60 ^a	3.36±0.67 ^a	2.82±0.75 ^{ab}	2.91±0.83 ^{ab}	2.27±0.90 ^b	3.30 [*]
Taste	2.45±0.69 ^c	2.64±0.50 ^{bc}	2.82±0.60 ^{abc}	3.00±0.63 ^{ab}	3.18±0.40 ^a	2.75 [*]
Flavor	2.55±0.69 ^c	2.82±0.75 ^{bc}	3.18±0.75 ^{abc}	3.64±0.92 ^a	3.36±0.81 ^{ab}	3.32 [*]
Overall preference	2.45±1.04 ^b	2.45±0.82 ^b	3.00±0.63 ^{ab}	3.27±0.79 ^a	3.27±0.65 ^a	2.96 [*]

^{a-c}Means represented by different superscripts in the same row are significantly different at $P<0.05$. Significant at ^{*} $P<0.05$.

의 총폴리페놀 함량이 나타난 것으로 생각된다. 그러나 '쓰가루' 사과즙의 함량이 증가할수록 단백질 응고과정 후 남아 있는 사과즙의 폴리페놀 함량이 증가하기 때문에 전체적으로 두부의 총폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거능이 증가한 것으로 생각된다. 이는 딸기를 이용하여 제조한 죽의 총폴리페놀, 플라보노이드와 DPPH 라디칼 소거능 활성이 딸기 자체가 함유한 안토시아닌 성분에 기인하여 증가하였다는 Kim 등(27)의 보고와 함초를 첨가하여 제조한 두부에서 DPPH 라디칼 소거능이 증가하였다는 보고(3)와 유사하였다.

사과즙 첨가 농도별 두부의 관능적 특성

'쓰가루' 사과즙 첨가에 따른 두부의 관능적 특성으로 색, 맛, 냄새(향기), 전체적인 선호도를 평가한 결과는 Table 4에 나타내었다. '쓰가루' 사과즙 첨가에 따른 두부의 색 선호도는 첨가 사과즙의 갈변으로 인하여 전체적인 두부의 색깔이 어두운 갈색을 나타내어 염화칼슘과 염화마그네슘 두부에서 사과즙 두부보다 선호도가 높게 나타났다. 그러나 두부 맛의 평가에서는 사과즙의 첨가로 두부에서 단맛을 느낄 수 있어서 사과즙 두부에서 염화칼슘과 염화마그네슘 두부보다 유의적으로 높은 선호도를 나타내었는데, 특히 40%(w/v) 사과즙 두부는 단맛이 강하게 나타나 관능 패널들에게 높은 선호도를 나타내었다. 두부 냄새(향기)의 경우에서도 '쓰가루' 사과즙 두부에서 염화칼슘과 염화마그네슘 두부보다 높은 선호도를 나타내었으며, 특히 30%(w/w) 사과즙 두부에서는 가장 높은 선호도를 나타내었다. 그리고 사과즙

두부에 대한 전체적인 선호도 평가에서 염화칼슘과 염화마그네슘 두부보다 사과즙 두부에 대한 선호도가 높았으며, 30%와 40%(w/v) '쓰가루' 사과즙 두부의 선호도가 가장 높게 나타났다. 이는 일정 농도까지 석류액 첨가로 두부의 전체적인 선호도가 증가하였다는 Kim과 Park(4)의 보고와 4%까지의 살구액 첨가에 따라 두부의 선호도가 증가하였다는 Lee 등(2)의 보고와 유사하였다. '쓰가루' 사과즙 두부의 관능적 특성을 종합적으로 평가한 결과 맛에서 40%(w/v) '쓰가루' 사과즙 두부가 가장 높은 선호도를 보였지만, 색, 향기, 전체적인 선호도 모두에서 선호도를 종합해볼 때 '쓰가루' 사과즙 두부를 제조하기에는 30%(w/v) 사과즙이 관능적인 면에서 가장 바람직하다고 생각되며 '쓰가루' 사과즙의 특성에 따른 두부의 관능적 특성에 따라 일반 두부보다는 쉐러드용 두부에 적합하다고 생각된다.

결론적으로 20%(w/v) 이상의 '쓰가루' 사과즙 농도 이상에서 두부의 제조가 가능하였는데 일반 두부보다 경도가 낮고 갈변된 색깔을 나타내었으며, 사과즙의 농도가 증가할수록 수율이 낮아지면서 경도가 증가하여 단단한 두부가 제조되어 항산화 활성이 증가하는 경향을 나타내었다. 관능적인 면에서 일반 두부보다 '쓰가루' 사과즙을 첨가하여 제조한 두부의 선호도가 높았으며, 30%(w/v)의 사과즙 농도에서 가장 높은 선호도를 나타내었다. 따라서 본 연구에서는 일반 두부와 '쓰가루' 사과즙의 농도별 첨가로 제조한 두부의 품질 및 항산화 특성을 상호 비교하고 관능적 특성을 확인함으로써 '쓰가루' 사과 품종을 이용한 다양한 가공식품의 제조 가능성을 제시하였다.

요 약

본 연구에서는 ‘쓰가루’ 사과즙을 이용하여 제조한 두부의 품질, 항산화 활성 및 관능 특성을 분석하고자 하였다. 두부 제조를 위해 사용한 ‘쓰가루’ 사과즙은 60%의 수율, 10.3 °Brix, pH 3.89, 0.51%의 총산을 나타내었고, 총폴리페놀 함량은 2.26 mg GAE/g, ABTS 라디칼 소거능은 20 µg AE/g, DPPH 라디칼 소거능은 75 µg AE/g을 나타내었다. ‘쓰가루’ 사과즙을 첨가하여 두부의 제조가 가능하였으며, 사과즙의 첨가량이 증가할수록 제조된 두부의 수율과 pH는 감소하였으나 총산은 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 조직감에서는 경도와 씹힘성이 증가하였으나 응집성은 다소 감소하는 경향을 나타내었으며, 색도에서는 L값이 감소하고 a값과 b값은 증가하여 전반적으로 어두운 갈색을 나타내었다. 이러한 갈색화 반응의 주요 원인은 사과즙의 효소적 갈색화 반응에 기인하므로 비타민 C 등의 환원제, 산미제 및 무기염을 사용하는 방법으로 갈변 방지를 최소화할 수 있을 것으로 생각된다. 그리고 항산화 활성에서는 총폴리페놀 함량과 DPPH 라디칼 소거능이 증가한 반면 ABTS 라디칼 소거능은 일정한 범위를 유지하였다. ‘쓰가루’ 사과즙 첨가량에 따라 제조된 두부의 맛, 색, 풍미, 전체적인 선호도에서 30%(w/v) ‘쓰가루’ 사과즙으로 제조한 두부의 선호도가 가장 높게 나타났다. 따라서 본 연구에서는 ‘쓰가루’ 사과즙으로 제조한 두부의 품질, 항산화 특성 및 관능적 특성을 확인함으로써 ‘쓰가루’ 사과 품종을 이용한 다양한 가공식품의 제조 가능성을 제시하였다고 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 충북사과산학협력단의 지원에 의해 연구되었음.

REFERENCES

- Jung GT, Ju IO, Choi JS, Hong JS. 2000. Preparation and shelf-life of soybean curd coagulated by fruit juice of *Schizandra chinensis* RUPRECHT (Omija) and *Prunus mume* (maesil). *Korean J Food Sci Technol* 32: 1087-1092.
- Lee SJ, Chung ES, Park GS. 2006. Quality characteristics of tofu coagulated by apricot juice. *Korean J Food Cook Sci* 22: 825-831.
- Kim MH, Shin MK, Hong GJ, Kim KS, Lee KA. 2010. Quality assessment of soybean curd supplemented with saltwort (*Salicornia herbacea* L.). *Korean J Food Cook Sci* 26: 406-412.
- Kim JY, Park GS. 2006. Quality characteristics and shelf-life of tofu coagulated by fruit juice of pomegranate. *Korean J Food Cult* 21: 644-652.
- Han SB. 2005. Management system of tofu in Korea. *Food Industry and Nutrition* 10(1): 1-5.
- Kim JH, Lee YT. 2007. Quality characteristics and antioxidant activities of soybean curd products containing small black soybean. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 1431-1435.
- Lee SJ, Jang HL, Shin SR, Yoon KY. 2012. Quality characteristics of apple juice according to the sterilization methods. *Korean J Food Preserv* 19: 178-184.
- Kim BS, Hyun NU, Nahmgoong B. 1999. Effect of pressure cooling for quality of 'Tsugaru' apple during storage at different temperatures. *Korean J Postharvest Sci Technol* 6: 371-375.
- Park JD, Hong SI, Park HW, Kim DM. 1999. Modified atmosphere packaging of 'Tsugaru' apple (*Malus domestica* Borkh) for distribution. *Korean J Postharvest Sci Technol* 6: 357-364.
- Cho JS, Jeong MC, Moon KD. 2012. Effects of ultrasound and ascorbic acid cotreatment on browning of fresh-cut 'Tsugaru' apples. *Korean J Food Preserv* 19: 323-327.
- Kim MH, Kim MH, Yun S, Lee BY, Lee C, Kim BA, Jang KH, Lee JC, Surh J. 2010. Preparation and quality characterization of apple jam with *Rosa rugosa* Thunb. fruit. *Korean J Food Cook Sci* 26: 367-380.
- Lee SM. 2014. Quality characteristics of apple jam added with ginger. *Korean J Culinary Res* 20: 79-88.
- Kang BH, Shin EJ, Lee SH, Lee DS, Hur SS, Shin KS, Kim SH, Son SM, Lee JM. 2011. Optimization of the acetic acid fermentation condition of apple juice. *Korean J Food Preserv* 18: 980-985.
- Kim IT. 2008. Effects of 1-methylcyclopropene on quality of 'Tsugaru' and 'Hongro' apple fruit during storage. *MS Thesis*. Kyungpook National University, Daegu, Korea.
- Kang IK, Choi C, Choi DG. 2006. Effect of aminoethoxyvinylglycine dipping treatment on ethylene production and cell wall composition of 'Tsugaru' apple fruits during cold storage. *J Bio-Environ Control* 15: 75-82.
- Park HW, Park JD, Hong SI, Kim DM. 2000. Changes in respiratory and quality characteristics of 'Tsugaru' apple by storage temperature. *Korean J Postharvest Sci Technol* 7: 133-138.
- Lee TJ, Hwang DY, Lee CY, Son HJ. 2009. Changes in yeast cell number, total acid and organic acid during production and distribution processes of *Makgeolli*, traditional alcohol of Korea. *Korean J Microbiol* 45: 391-396.
- Dewanto V, Wu X, Liu RH. 2002. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 50: 4959-4964.
- Ahn JB, Park JA, Jo H, Woo I, Lee SH, Jang KI. 2012. Quality characteristics and antioxidant activity of commercial *Doenjang* and traditional *Doenjang* in Korea. *Korean J Food Nutr* 25: 142-148.
- Blois MS. 1958. Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181: 1199-1200.
- Whang K, Ha YD, Kim HI. 1996. Sensory and instrumental texture characteristics of low fat ground beef manufactured with the addition of cooked old rice. *Korean J Food Sci Technol* 28: 668-672.
- Hwang IW, Kim CS, Chung SK. 2011. The physicochemical qualities and antioxidant activities of apple juices marketed in Korea. *Korean J Food Preserv* 18: 700-705.
- Khanzadeh S, Tsao R, Rekika D, Yang R, Charles MT, Rupasinghe HPV. 2008. Polyphenol composition and total antioxidant capacity of selected apple genotypes for processing. *J Food Compos Anal* 21: 396-401.
- Setyono A. 1994. Effects of phytic acid on the texture of tofu and the precipitation reaction in tofu making. *Indonesian Food and Nutr Progress* 1: 28-33.
- Kim TY, Kim JM, Cho NJ. 1994. Effect of coagulants on the quality of soybean curd added with cow's milk. *Agric*

- Chem Biotechnol* 37: 370-378.
26. Rekha CR, Vijayalakshmi G. 2010. Influence of natural coagulants on isoflavones and antioxidant activity of tofu. *J Food Sci Technol* 47: 387-393.
27. Kim JS, Kim JY, Chang YE. 2012. Physicochemical activities of saccharified cherry tomato gruel containing different levels of cherry tomato puree. *Korean J Food Cook Sci* 28: 773-779.