



Research Article

Effects of apple polyphenols on color, hardness, digestibility, and syneresis of corn starch gels

사과 폴리페놀 첨가가 옥수수 전분 겔의 색도, 경도, 소화능 및 이수율에 미치는 영향

Han-Sol Park, Hun-Sik Chung*

박한솔 · 정헌식*

Department of Food Science and Technology, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

부산대학교 식품공학과

Abstract The present study investigated the effect of addition of apple polyphenols on the color values, pH, hardness, *in vitro* digestibility, and syneresis of corn starch gels. Corn starch gels supplemented with various amounts of polyphenols (0%, 0.03%, 0.06%, 0.13%, 0.27%, 0.53%, and 1.06%) isolated from young *fuji* apple fruits were prepared, and their quality properties were determined. The L^* and h° values of corn starch gels decreased but the a^* and b^* values increased with the increasing amount of apple polyphenols. Further, the pH of corn starch gels decreased with the increasing amount of apple polyphenols. The amount of apple polyphenols added did not affect the initial hardness of corn starch gels; however, concentrations of apple polyphenols exceeding 0.27% delayed the hardening of stored starch gels. Finally, the addition of apple polyphenols up to 0.27% decreased *in vitro* α -amylase digestibility but increased the syneresis of corn starch gels during the freeze-thaw process. Overall, the addition of apple polyphenols affected the quality parameters of corn starch gels. These findings can serve as a reference for apple polyphenol application and starch processing.

Keywords apple polyphenol, corn starch, gel, color, hardness



OPEN ACCESS

Citation: Park HS, Chung HS. Effects of apple polyphenols on color, hardness, digestibility, and syneresis of corn starch gels. Korean J Food Preserv, 29(2), 233-240 (2022)

Received: December 13, 2021

Revised: January 09, 2022

Accepted: January 24, 2022

***Corresponding author**

Hun-Sik Chung
 Tel: +82-55-350-5352
 E-mail: hschung@pusan.ac.kr

Copyright © 2022 The Korean Society of Food Preservation. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

사과는 예전부터 건강식품으로 인식되고 있는 과실이며, 저이용 미성숙과의 경우 폴리페놀의 함량이 높아 기능성 소재로서 주목을 받고 있다(Zheng 등, 2012). 사과 폴리페놀은 항산화, 항암, 항바이러스, 항고혈압, 항알레르기 및 항충치 등의 효능을 가져 건강 기능성 식품이나 화장품 산업에서 사용이 확대되고 있다(Hyson, 2011; Shoji, 2006). 더불어 사과 폴리페놀의 추출에 관한 연구(Daniella 등, 2012; Judith 등, 2011; Zheng 등, 2010)도 다수 수행되어 효율성 제고 공정이 제시되고 있다. 그러나 사과 폴리페놀의 첨가에 따른 전분질 식품의 가공 및 저장 특성과 관련된 이화학적 성질 변화에 대한 정보는 아직 제한적이어서 이에 관한 연구가 요구된다. 이를 통해 저이용 자원인 미성숙 사과의 활용도 증대는 물론 전분 가공품의 고부가가치화도 기대된다.

전분은 포도당으로 이루어진 거대 분자로서 식물에서 가장 풍부한 저장 다당류이며, α -1,4 glycoside 결합으로 이루어진 아밀로스와 직쇄상의 α -1,4 glycoside 사슬에 α -1,6 glycoside 분지상 결합으로 이루어진 아밀로펙틴으로 구성된다. 전분은 출처에 따라 이화학적, 리올로지, 호화 및 노화 특성 등이 다르며, 이에 의존적으로 증점제, 안정제, 겔화제, 접착제 등의 용도로 사용된다(Singh 등, 2003). 또한, 국내에서는 전분 겔의 일종인 묵이라는 전통식품으로도 제조된다(Kweon 등, 1992). 이렇게 전분이 다방면에서 사용되는 주요 이유는 분자사슬이 망상구조를 만들어 겔을 형성하는 성질을 가졌기 때문이다. 그러나 native 전분이 가지는 겔 형성능에는 한계가 있어 물리나 화학적 변성 처리를 하거나(Hedayati와 Niakousari, 2018; Wang 등, 2013), 첨가물질과의 복합체를 형성하게 하는 경우도 있다(Chi 등, 2019; Deng 등, 2021; Krystyjan 등, 2015; Ma 등, 2019; Majzoubi 등, 2016; Martinez 등, 2015). 이러한 전분과 복합체를 형성하는 첨가물로서 사과 유래 페놀성 물질도 유용할 것으로 예상되지만, 이와 관련된 연구로는 사과 폴리페놀을 첨가한 전분 페이스트의 리올로지 특성을 조사한 보고(Chou 등, 2019) 정도에 불과하고, 사과 폴리페놀-전분 복합 겔의 다양한 이화학적 품질 특성에 관한 정보는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 사과 폴리페놀의 첨가량이 옥수수 전분 겔의 색도, pH, 경도, 소화능 및 이수율 등의 품질 특성에 미치는 영향을 파악하여, 전분의 겔화 관련 가공품에서 사과 폴리페놀의 역할규명과 활용도 증대에 필요한 기초 자료를 얻고자 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료

실험용 사과 폴리페놀은 경상남도 밀양시 소재 과수원에

서 만개 후 60일에 적과한 '후지' 품종의 애사과(25 ± 8 g/개)를 수세, 파쇄, 착즙, 원심분리 공정을 거쳐 얻은 상등액을 수지(HP-20)에 흡착시킨 후 에탄올을 사용하여 용출액을 얻고(Choi와 Chung, 2019), 이를 진공 농축시키고, 동결건조기(FD SFDSM12, Samwon, Seoul, Korea)로 -45°C 에서 건조시킨 후 분말형태로 제조하였다. 이 분말의 총페놀 함량은 85%를 나타내었다. 옥수수 전분은 Samchun Pure Chemical Co.(Pyeongtaek, Korea)에서, Folin-Ciocalteu reagent는 Junsei Chemical Co.(Tokyo, Japan)에서, chlorogenic acid와 α -amylase는 Sigma-Aldrich Chemical Co.(St. Louis, MO, USA)에서 각각 구입하여 사용하였다.

2.2. 사과 폴리페놀-전분 복합 겔 제조

사과 폴리페놀을 복합 겔에 0%, 0.03%, 0.06%, 0.13%, 0.27%, 0.53%, 1.06%씩 함유되도록 증류수에 각각 녹이고, 여기에 옥수수 전분을 10% 분산시킨 후 진탕항온수조(95°C , 130 rpm)에서 30분간 가열하고, 4°C 에서 1시간 냉각시켜 겔을 제조하였다. 이렇게 사과 폴리페놀의 첨가량을 달리하여 제조한 사과 폴리페놀-옥수수 전분 복합 겔의 사진은 Fig. 1에 나타내었다.

2.3. 총페놀 함량 측정

사과 폴리페놀 분말과 사과 폴리페놀-전분 복합 겔의 총페놀 함량은 Folin-Ciocalteu법(Singleton과 Rossi, 1965)으로 측정하였다. 즉, 시료액 2 mL에 Folin-Ciocalteu reagent 2 mL를 가하고 3분간 정치한 다음 10% Na_2CO_3 용액 2 mL를 가하였다. 이를 1시간 정치시킨 후 spectrophotometer(UV1800, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 760 nm에서 흡광도를 측정하고, chlorogenic acid 표준품(Whang 등, 2001)으로 검량선을 작성하여 정량하였다.

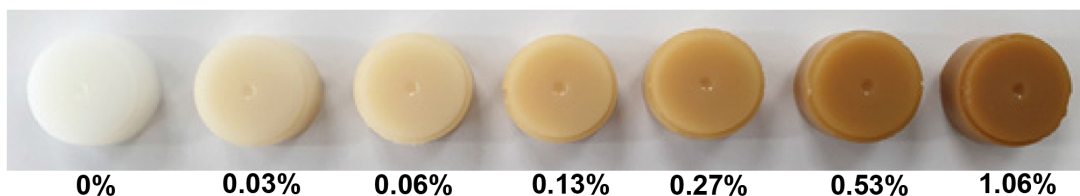


Fig. 1. Photographs of corn starch gels added with different concentrations of apple polyphenols.

2.4. pH 측정

사과 폴리페놀-전분 복합 겔의 pH는 시료 일정량에 증류수를 가하고, 마쇄, 추출, 여과한 다음 pH meter (Delta320, Mettler-Toledo International Inc., Shanghai, China)를 이용하여 측정하였다.

2.5. 색도 측정

색도는 색차계(CR-400, Konika Minolta Inc., Tokyo, Japan)를 사용하여 CIE L^* , a^* , b^* , h° , C^* 값을 각각 측정하였다. L^* 값은 lightness를, $+a^*$ 와 $-a^*$ 값은 redness와 greenness를, $+b^*$ 와 $-b^*$ 값은 yellowness와 blueness를 각각 나타낸다. h° 값은 색상(red-purple: 0° , yellow: 90° , bluish-green: 180° , blue: 270°)을 나타내고, $a > 0$, $b > 0$ 이면 $h^\circ = \tan^{-1}(b/a)$ 로, $a < 0$, $b > 0$ 이면 $h^\circ = 180^\circ + \tan^{-1}(b/a)$ 으로 각각 계산된다. C^* 값은 채도를 나타내고, $C = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ 으로 계산된다.

2.6. 경도 측정

경도는 겔 제조 직후와 4°C 저장 3일 후에 rheometer (Compac-100II, Sun Scientific Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 각각 측정하였다. Prove(직경 50 mm)로 원통형 샘플(직경 27 mm, 높이 15 mm)을 압축 시 최대 피크 힘을 경도로 간주하였으며 N 단위로 나타내었다. 이때 측정 조건으로 압축 깊이는 8 mm, table speed는 120.0 mm/min으로 각각 설정하였다.

2.7. In vitro 소화능 측정

사과 폴리페놀 첨가량을 달리한 전분 겔 100 mg에 100 mM sodium phosphate buffer(pH 7.0) 4 mL를 넣고 30분간 분산시킨 다음, 여기에 효소액(α -amylase 210 U/mL) 1 mL를 첨가하고, 진탕항온수조(37°C , 170 rpm)에서 일정 시간(30 min, 60 min) 반응시켰다. 각 반응 시간이 끝난 전분 소화액을 0.5 mL씩 취하여 100 mM NaOH 0.5 mL와 혼합하여 반응을 정지시키고, 원심분리(4°C , 10,000 rpm, 3 min)한 후 상등액을 얻었다. 이 상등액의 환원당 함량은 Nelson-Somogy법(Somogyi, 1952)을 사용하여 정량(표준물질 maltose)하였다.

2.8. 이수율 측정

이수율(syneresis)은 겔의 냉동과 해동을 반복하면서 측정하였다. 즉, 겔의 무게를 먼저 측정하고, -20°C 에서 20시간 동안 냉동 처리한 뒤 30°C 의 항온수조에서 3시간 해동하였다. 이러한 냉동과 해동 과정을 1사이클로 하여 1사이클이 끝난 후 원심분리(4°C , $1,107 \times g$, 30 min)하고, 겔에서 분리된 수분을 제거하고 겔의 무게를 측정하여 아래 식으로 이수율을 계산하였고, 동일한 시료를 총 5사이클까지 반복하여 누적된 이수율을 나타내었다.

$$\text{Syneresis (\%)} = \frac{\text{Weight of separated water}}{\text{Weight of gel}} \times 100$$

2.9. 통계처리

모든 실험결과는 3회 반복실험의 평균 \pm 표준편차로 나타내었고, IBM SPSS statistics(25, IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하여 분산분석과 Duncan's multiple range test($p < 0.05$)를 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 색도에 미치는 영향

사과 폴리페놀의 첨가량을 달리하여 제조한 옥수수 전분 겔의 시각적 색은 Fig. 1과 같이 폴리페놀의 첨가량이 증가할수록 보다 진한 황갈색을 띄는 것으로 관찰되었다. 이러한 사과 폴리페놀-옥수수 전분 복합 겔의 기계적 색도를 측정한 결과는 Table 1에 나타내었다.

명도를 의미하는 L^* 값은 사과 폴리페놀의 첨가량이 증가함에 따라 거의 선형적으로 비례하여 낮아짐을 보였다. 이는 탄닌 함량이 높은 도토리묵의 색상이 보다 갈색이었다는 보고(Na 등, 2002)에서와 같이, 옥수수 전분 겔 형성에 첨가된 사과 폴리페놀에 의한 갈변에 기인된 결과로 생각된다. a^* 값에 대한 사과 폴리페놀 첨가량의 영향은 0.06% 첨가구까지는 a^* 값이 감소하였으나, 이후부터는 첨가량에 선형적으로 비례하여 증가함을 보였다. 사과 폴리페놀의 첨가량이 0.27%까지는 녹색도를 나타내는 $-a^*$ 값을, 0.53%부터는 적색도를 나타내는 $+a^*$ 값을 보였다. 이는 앞서 언급한 L^* 값과 같이 a^* 값도 옥수수 전분 겔의 갈변과 연관성이 높

Table 1. Color of corn starch gels added with different concentrations of apple polyphenols

Apple polyphenols (%)	Color parameter				
	L*	a*	b*	C*	h°
0	50.05±0.71 ^a	-1.38±0.08 ^d	-9.38±0.04 ^g	9.48±0.05 ^d	261.64±0.42 ^a
0.03	48.95±0.25 ^a	-2.20±0.15 ^{ef}	-0.68±0.66 ^f	2.37±0.19 ^e	196.35±16.31 ^b
0.06	48.75±0.08 ^a	-2.54±0.02 ^f	3.34±0.17 ^e	4.19±0.15 ^e	127.29±1.24 ^c
0.13	46.02±0.40 ^b	-1.98±0.12 ^e	8.20±0.51 ^d	8.44±0.48 ^d	103.60±1.45 ^d
0.27	43.95±1.03 ^c	-0.85±0.11 ^c	12.25±0.64 ^c	12.28±0.63 ^c	94.00±0.69 ^{de}
0.53	42.36±1.21 ^d	2.02±0.26 ^b	16.66±1.15 ^b	16.78±1.17 ^b	83.10±0.55 ^e
1.06	40.39±1.42 ^e	6.62±0.55 ^a	18.88±2.87 ^a	20.01±2.88 ^a	70.55±1.39 ^f

Values represent the mean±standard deviation (SD) (n=3). The means within each column by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test (p<0.05).

음을 의미한다. 사과 폴리페놀의 첨가에 따른 옥수수 전분 겔의 b*값의 전반적인 변화 경향은, 사과 폴리페놀의 첨가량이 증가함에 따라 b*값이 유의적으로 높아짐을 보였으나, 그 폭은 높은 첨가량에서보다 낮은 첨가량 영역에서 급격하였다. 사과 폴리페놀 0.03% 첨가구까지는 청색도를 나타내는 -b*값을 보였으나, 0.06% 첨가구부터는 황색도를 나타내는 +b*값을 보였다. 채도를 나타내는 C*값은 사과 폴리페놀 0.03% 첨가구에서 대조구보다 낮은 최저값을 보였고, 그 이상의 첨가량부터는 첨가량이 증가함에 따라 비선형적으로 C*값이 높아짐을 보였다. 그리고 색상을 나타내는 h°값은 전반적으로 사과 폴리페놀의 첨가량에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 0.13% 첨가구까지는 비교적 큰 폭으로 감소하였으나 이후부터는 보다 완만하였다.

이상의 사과 폴리페놀의 첨가량에 의존적인 옥수수 전분 겔의 색도 결과를 볼 때, 사과 폴리페놀의 첨가는 옥수수 전분 겔의 갈변 원인으로 판단되었고, 또한 그 겔의 색도 중 L*값은 갈변도와 선형관계를 가져 붉은 옥수수 분말 (Chung 등, 2014)의 경우에서와 같이 갈변도 평가 척도로 유용할 것으로 여겨진다.

3.2. pH에 미치는 영향

사과 폴리페놀의 첨가량을 달리하여 제조한 옥수수 전분 겔의 pH를 측정된 결과는 Fig. 2와 같다. 옥수수 전분 겔의 pH는 무첨가구에서 6.55였으나 사과 폴리페놀 첨가구에서는 그 양의 증가에 비례하여 낮아짐을 보여, 실험 적용 최고

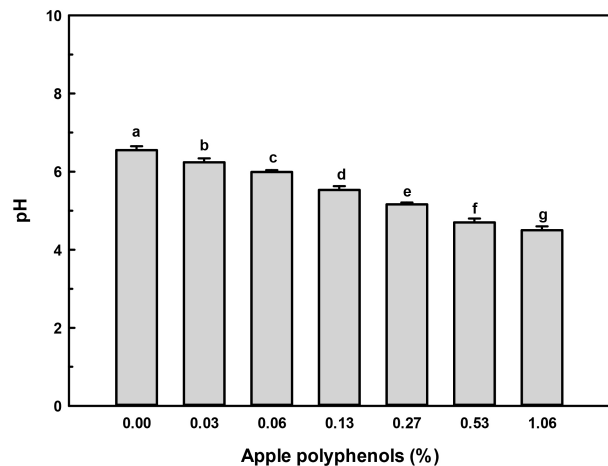


Fig. 2. pH of corn starch gels added with different concentrations of apple polyphenols. Values represent the mean±standard deviation (SD) (n=3). The means with a different letter are significantly different by Duncan's multiple range test (p<0.05).

농도인 1.06% 첨가구에서 4.50을 나타내었다. 사과 폴리페놀의 첨가에 의해 전분 겔의 pH가 낮아진 것은 chlorogenic acid, caffeic acid, p-coumaric acid, ferulic acid 등과 같은 phenolic acids에 기인된 것으로 여겨진다 (Zheng 등, 2010). 호화 밀과 옥수수 전분 겔의 경우에는 acetic acid 첨가에 따라 pH가 낮아져, 전분 분자의 가수분해를 촉진시켜 냉수 용해도와 점도 저하 등의 물리적 성질 변화를 유도하는 것으로 보고된 바 있다(Majzoobi 등, 2016). 이로써 옥수수 전분 겔의 pH가 사과 폴리페놀 첨가에 의해 낮아지는 것이 확인되었으며, 이러한 효과가 사과 폴리페놀-

옥수수 전분 복합 겔의 제조 및 저장 특성에도 영향을 미칠 것으로 생각되며, 차후 이에 관한 연구가 필요해 보인다.

3.3. 경도에 미치는 영향

사과 폴리페놀의 첨가량을 달리하여 제조한 옥수수 전분 겔의 경도를 제조 직후와 저장 3일 후에 측정된 결과는 Fig. 3과 같다. 사과 폴리페놀-전분 복합 겔의 제조 직후의 경도를 비교해 보면 첨가량에 따른 유의적인 차이가 없이 2.10 ± 0.09 N 정도를 나타내었다. 이러한 결과는 옥수수 전분 겔의 경도에 sucrose나 xylitol의 첨가가 영향을 미치지 않았다는 보고(Martinez 등, 2015)와 유사하였다. 반면에, 도토리묵의 경우에 탄닌 함량 증가는 묵의 경도를 저하시키는 효과가 있다는 보고도 있어(Na 등, 2002), 전분 겔 경도에 대한 첨가물의 효과는 첨가물질은 물론 전분의 종류에 의존적인 것으로 생각된다. 한편, 저장 중 겔 경도의 증가는 전분의 노화와 관계가 있는 것으로 알려져 있는데(Katekhong과 Charoenrein, 2012), 저장 3일 후 경도는 제조 직후보다 전반적으로 증가하였으나, 사과 폴리페놀 0.13% 첨가구까지는 무첨가구와 유의적인 차이를 보이지 않았고, 0.27% 이상 첨가구는 저농도 첨가구보다 유의적으로 낮은 경도를 보였다. 이로써 옥수수 전분 겔의 제조 시 사과 폴리페놀의 첨가는 제조 직후 겔의 경도에는 영향을 미치지 않지만, 저장 후 겔의 경도에는

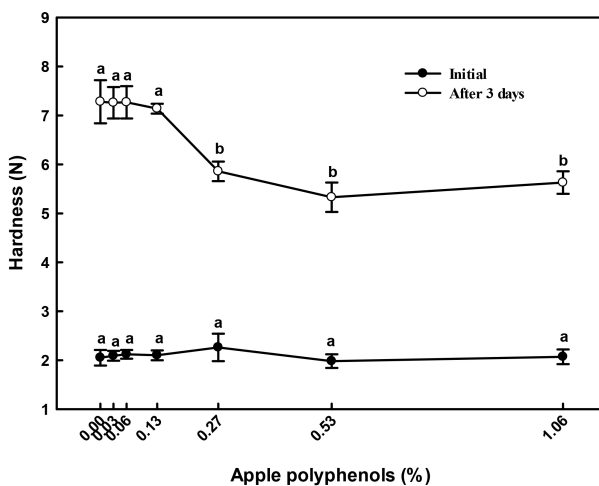


Fig. 3. Hardness of corn starch gels added with different concentrations of apple polyphenols. Values represent the mean±standard deviation (SD) (n=3). The means with a different letter are significantly different by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

영향을 미치는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 사과 폴리페놀 물질이 임계량 이상에서는 옥수수 전분의 노화억제 효과를 가지기 때문인 것으로 생각된다.

3.4. In vitro 소화능에 미치는 영향

사과 폴리페놀의 첨가량을 달리하여 제조한 옥수수 전분 겔의 *in vitro* 소화능의 척도로 α -amylase 분해능을 반응 30분과 60분 후 환원당 함량으로 각각 측정된 결과는 Fig. 4와 같다. 환원당 함량은 반응 시간이 길어짐에 따라 증가하였으며, 사과 폴리페놀 첨가구는 무첨가구에 비해 낮은 환원당 함량을 보였다. 첨가량에 따라서는 0.27% 첨가구까지는 급격한 감소를 보인 반면에, 그 이상의 첨가구는 아주 완만한 감소 경향을 보였다. 한편, 쌀 전분과 gallic acid의 복합 겔은 저항성 전분형성 증대와 소화효소 활성 저해에 의해 전분의 소화능이 제어되며(Chi 등, 2019), 옥수수 전분에 펙틴의 첨가도 농도 의존적으로 소화능이 억제되는 것으로 보고된 바 있다(Ma 등, 2019). 따라서 옥수수 전분 겔의 α -amylase 소화능은 사과 폴리페놀에 의해 억제되는 것으로 확인되었다.

3.5. 이수에 미치는 영향

사과 폴리페놀의 첨가량 및 옥수수 전분 겔의 동결-해동

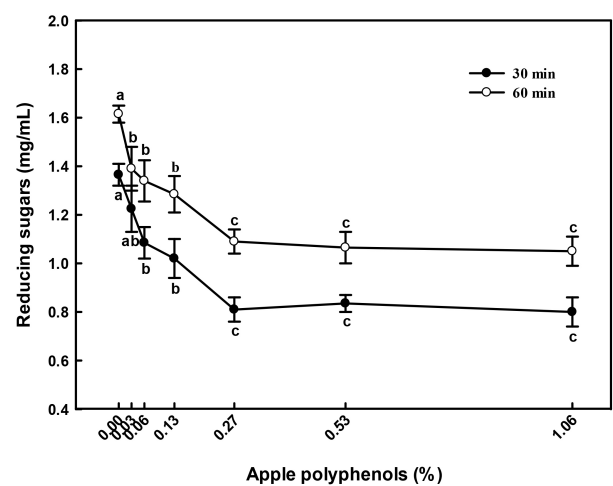


Fig. 4. *In vitro* digestibility of corn starch gels added with different concentrations of apple polyphenols. Values represent the mean±standard deviation (SD) (n=3). The means with a different letter are significantly different by Duncan's multiple range test ($p < 0.05$).

반복횟수에 따른 이수율을 측정된 결과는 Fig. 5와 같다. 이수율은 동결-해동 반복 횟수가 많아질수록 증가하는 경향이었으나, 그 증가폭은 횟수가 많아짐에 따라 감소하는 경향을 보였다. 모든 사과 폴리페놀 첨가구가 무첨가구보다 높은 이수율을 보였고, 첨가량이 0.27%까지는 첨가량에 비례하여 이수율이 높아지는 경향이었으나, 그 이상의 첨가량에서는 경미한 차이를 보였다. 전분 겔의 이수율의 증가는 동결-해동에 따른 망상구조 약화에 기인된 결과로 알려져 있으며(Wang 등, 2013), 호화 옥수수 전분 겔의 경우에 acetic acid의 첨가에 의해 구조변경이 유도되어 이수율이 증가하는 것으로 보고된 바 있다(Majzobi 등, 2016). 이로써 옥수수 전분 겔의 이수율 증대 현상은 사과 폴리페놀과 전분의 보다 강한 밀접구조 형성 때문인 것으로 생각된다(Chou 등, 2019).

이상의 모든 결과를 통하여, 사과 유래 폴리페놀의 첨가가 농도 의존적으로 옥수수 전분 겔의 색도, pH, 경도, 소화능, 이수율 등에 미치는 영향이 확인되었다. 사과 폴리페놀의 첨가는 옥수수 전분 겔의 색을 갈변시키는 효과와, pH 및 소화능은 낮추고 이수율은 높이는 효과를 보였고, 또한 저장 중 경도증가 억제 효과도 가지는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 사과 폴리페놀과 전분 활용 관련 분야에서 유용한 기초자료로 여겨지고, 추가로 사과 폴리페놀-전

분 복합 겔의 건강 기능성과 관능적 특성에 관한 연구가 요망된다.

4. 요약

사과 폴리페놀의 첨가가 옥수수 전분 겔의 품질 특성에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 미성숙 '후지' 사과 유래 폴리페놀을 각기 다른 함량(0%, 0.03%, 0.06%, 0.13%, 0.27%, 0.53%, 1.06%)이 되도록 옥수수 전분 겔에 첨가한 후 겔의 색도, pH, 경도, 소화능 및 이수율을 분석 비교하였다. 사과 폴리페놀의 첨가량이 증가함에 따라 옥수수 전분 겔의 색도 중 L*값과 h°값은 감소되었으나, a*값과 b*값은 증가되는 경향을 보였다. 옥수수 전분 겔의 pH는 사과 폴리페놀의 첨가량이 증가할수록 낮아짐을 보였다. 옥수수 전분 겔의 경도에 사과 폴리페놀 첨가량의 영향은 겔 제조 직후에는 보이지 않았으나, 저장 후에는 0.27% 이상 첨가구에서 경도 증가가 억제됨을 보였다. 사과 폴리페놀 0.27% 첨가까지는 옥수수 전분 겔의 α-amylase에 의한 소화능은 억제시키고, 겔의 동결과 해동에 따른 이수율은 증대시키는 효과를 보였으나, 그 이상의 농도에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 이로써, 사과 폴리페놀이 옥수수 전분과의 복합 겔의 품질 특성에 미치는 영향이 규명되었고, 이는 사과 폴리페놀과 전분가공 분야에서 기초 정보로 활용될 것으로 기대된다.

감사의 글

이 과제는 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Conceptualization: Chung HS. Data curation: Park HS, Chung HS. Formal analysis: Park HS, Chung HS. Methodology: Park HS, Chung HS. Validation: Park HS, Chung HS. Writing - original draft: Chung HS. Writing - review & editing: Park HS, Chung HS.

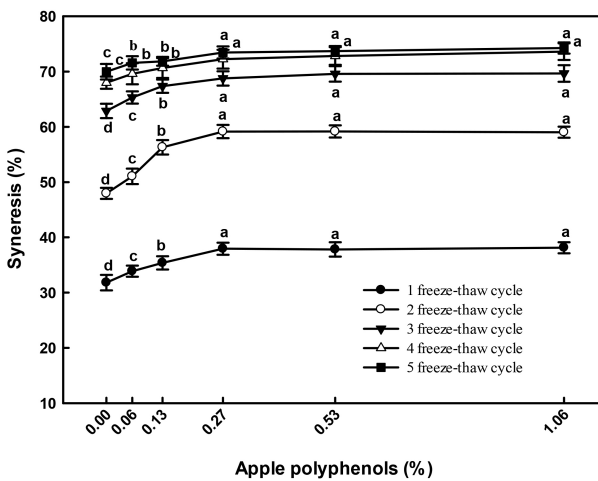


Fig. 5. Syneresis of corn starch gels added with different concentrations of apple polyphenols. Values represent the mean±standard deviation (SD) (n=3). The means with a different letter are significantly different by Duncan's multiple range test (p<0.05).

Ethics approval

This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

ORCID

Han-Sol Park (First author)

<https://orcid.org/0000-0003-1288-4600>

Hun-Sik Chung (Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0003-1990-9575>

References

- Chi C, Li X, Zhang Y, Chen L, Xie F, Li L, Bai G. Modulating the *in vitro* digestibility and predicted glycemic index of rice starch gels by complexation with gallic acid. *Food Hydrocoll*, 89, 821–828 (2019)
- Choi JH, Chung SK. Antioxidant and antimicrobial activities of polyphenols isolated from unripe apples (*Malus pumila* cv. Hongro). *Korean J Food Preserv*, 26, 690–696 (2019)
- Chou S, Meng X, Cui H, Zhang S, Wang H, Li B. Rheological and pasting properties of maize, wheat and rice starch as affected by apple polyphenols. *Int J Food Prop*, 22, 1786–1798 (2019)
- Chung HS, Kim JK, Moon KD, Youn KS. Changes in color parameters of corn kernels during roasting. *Food Sci Biotechnol*, 23, 1829–1835 (2014)
- Deng N, Deng Z, Tang C, Liu C, Luo S, Chen T, Hu X. Formation, structure and properties of the starch-polyphenol inclusion complex: A review. *Trends Food Sci Technol*, 112, 667–675 (2021)
- Hedayati S, Niakousari M. Microstructure, pasting and textural properties of wheat starch-corn starch citrate composites. *Food Hydrocoll*, 81, 1–5 (2018)
- Hyson DA. A comprehensive review of apples and apple components and their relationship to human health. *Adv Nutr*, 2, 408–420 (2011)
- Kammerer J, Schweizer C, Carle R, Kammerer DR. Recovery and fractionation of major apple and grape polyphenols from model solutions and crude plant extracts using ion exchange and adsorbent resins. *Int J Food Sci Technol*, 46, 1755–1767 (2011)
- Katekhong W, Charoenrein S. The effect of rice aging on the freeze-thaw stability of rice flour gels. *Carbohydr Polym*, 89, 777–782 (2012)
- Krystyjan M, Ciesielski W, Khachatryan G, Sikora M, Tomasik P. Structure, rheological, textural and thermal properties of potato starch-inulin gels. *LWT-Food Sci Technol*, 60, 131–136 (2015)
- Kweon MR, Kim SR, Lim KS, Ahn SY. Characterization of mook (starch-gel food) forming starches. *J Korean Agric Chem Soc*, 35, 92–98 (1992)
- Ma YS, Pan Y, Xie QT, Li XM, Zhang B, Chen HQ. Evaluation studies on effects of pectin with different concentrations on the pasting, rheological and digestibility properties of corn starch. *Food Chem*, 274, 319–323 (2019)
- Majzoobi M, Kaveh Z, Farahnaky A. Effect of acetic acid on physical properties of pregelatinized wheat and corn starch gels. *Food Chem*, 196, 720–725 (2016)
- Martinez MM, Pico J, Gomez M. Effect of different polyols on wheat and maize starches paste and gel properties. *Food Hydrocoll*, 44, 81–85 (2015)
- Na HS, Kim K, Oh GS, Kim SK. Properties of acorn *Mook* with various soaking conditions. *Korean J Food Sci Technol*, 34, 207–212 (2002)
- Pingret D, Fabiano-Tixier AS, Bourvellec CL, Renard CMGC, Chemat F. Lab and pilot-scale ultrasound-assisted water extraction of polyphenols from apple pomace. *J Food Eng*, 111, 73–81 (2012)
- Shoji T. Application of apple polyphenols for ingredient. *J Japanese Soc Food Sci Technol*, 53, 159–164 (2006)
- Singh N, Singh J, Kaur L, Sodhi NS, Gill BS. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chem*, 81, 219–231 (2003)
- Singleton VL, Rossi JA. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents.

- Am J Enol Vitic, 16, 144-158 (1965)
- Somogyi M. Notes on sugar determination. J Biol Chem, 195, 19-23 (1952)
- Vrhovsek U, Rigo A, Tonon D, Mattivi F. Quantitation of polyphenols in different apple varieties. J Agric Food Chem, 52, 6532-6538 (2004)
- Wang L, Xie B, Xiong G, Wu W, Wang J, Qiao Y, Liao L. The effect of freeze-thaw cycles on microstructure and physicochemical properties of four starch gels. Food Hydrocoll, 31, 61-67 (2013)
- Whang HJ, Han WS, Yoon KR. Quantitative analysis of total phenolic content in apple. Anal Sci Technol, 14, 377-383 (2001)
- Zheng HZ, Hwang IW, Kim SK, Lee SH, Chung SK. Optimization of carbohydrate-hydrolyzing enzyme aided polyphenol extraction from unripe apples. J Appl Biol Chem, 53, 342-350 (2010)
- Zheng HZ, Kim YI, Chung SK. A profile of physicochemical and antioxidant changes during fruit growth for the utilisation of unripe apples. Food Chem, 131, 106-110 (2012)