Food Eng. Prog.
Vol. 26, No. 4. pp. 240~246 (2022.11)
DOI https://doi.org/10.13050/foodengprog.2022.26.4.240
ISSN 1226-4768 (print), ISSN 2288-1247 (online)

산업식품공학
Food Engineering Progress

단백질-안정화 에멀션의 이화학적 특성 분석 및 지방 대체 소재로서의 활용

김민효 · 양근혁 · 이수용*
세종대학교 식품생명공학과 및 탄수화물소재연구소

Physicochemical Characterization of Protein-Stabilized Emulsions and Their Utilization as a Fat Replacer

Minhyo Kim, Geunhyuk Yang, and Suyong Lee*
Department of Food Science & Biotechnology and Carbohydrate Bioproduct Research Center, Sejong University

Abstract

The physicochemical properties of the emulsions prepared with four different proteins (pea protein isolate, whey protein isolate, soy protein concentrate, and soy protein isolate) were characterized in terms of particle size, rheological property, and freeze-thaw stability, while the feasibility of the protein-stabilized emulsions as a fat replacer was evaluated. Confocal laser scanning microscopic analysis showed that O/W emulsions were successfully prepared with all the proteins; however, the smallest particle size and excellent syneresis were observed in the WPI-stabilized emulsions. The use of WPI-stabilized emulsions as an alternative for shortening up to 50% level did not lead to differences in the muffin batters' specific gravity and viscoelastic properties. After baking, the substitution of shortening with the WPI emulsions at up to 50% by weight did not significantly affect the muffins' specific volume and texture characteristics.

Keywords: solid fat replacement, baking, muffin, rheology

서 론

식품 산업에서 고체 지방은 식품의 부드러운 식감 구현과 저장안정성 증진, 물성 개선 등을 위해 널리 사용되고 있지만, 높은 포화지방 함량으로 인해 과도한 섭취 시 심장질환, 고혈압 등의 만성질환 발병 위험성을 증가시킬 수 있다고 보고되고 있다(Klonoff, 2007). 이에 따라, 세계보건기구는 포화지방의 섭취량을 일일 총 에너지 섭취량의 10% 미만으로 하는 가이드라인을 제시하면서, 버터나 쇼트닝을 불포화지방산이 다량 함유된 액체 식용 유지로 대체하여 섭취하는 것을 권고하고 있다(Nishida et al., 2004). 특히, 고체 지방을 다량으로 사용하고 있는 베이커리 분야에서는 쇼트닝, 버터 등의 고체 지방을 대체하여 제품의 포화지방 함량을 낮추기 위한 다양한 학문적, 산업적 노력이 진행되고 있다. 기존 문헌에 의하면 pectin (Lim et al., 2014), D-sorbitol (Grassi et al., 2011), maltodextrin (Psimouli & Oreopoulou, 2013) 등의 탄수화물 소재를 사용하여 고체 지방을 대체한 연구가 보고되었으며 또한, 올레오젤 등 지방 유래 소재(Bot & Agterof, 2006; Blach et al., 2016)를 활용한 연구도 활발히 이루어지고 있다. 이에 반해, 단백질을 기반으로 한 지방 대체 소재에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 그럼에도 불구하고 단백질을 기반으로 한 지방 대체 소재에 대한 연구는 점차 늘어나고 있는데, 주로 유청 단백질, 젤라틴, 콜라겐 등 동물성 유래 단백질을 이용하여 시도되고 있다(Yashini et al., 2021). 아울러, Danesh et al. (2018), Sun et al. (2018), Danesh et al. (2017) 등의 연구에서는 카제인(whey protein)을 각각 치즈, 마요네즈, 아이스크림 등 다양한 식품의 지방 대체 소재로 사용하였다.

식품에서 고체 지방을 대체 시 열량 뿐만 아니라 포화지방을 저감화함으로써 건강 위험성을 낮추는 것과 더불어, 식품의 품질 저하를 최소화하는 데에 그 목적이 있다. 하지만, 단백질 소재를 사용 시 고체 지방의 일부만 대체할 수 있어 현격한 포화지방 저감화가 어려울 뿐 만 아니라, 대체비율이 높아질수록 공기포집도가 낮아져 제품 부피 감소 및 외관 변형, 조직감 저하 등 품질 저하를 초래하는 문제점이 있다. 이러한 단백질 기반 지방 대체 소재의 문제점을 개선하기 위해 단백질을 에멀션에 적용한 기술이 최근에 새롭게 주목받고 있다. 유지와 물 사이 계면에 위치하여 안정적인 에멀션을 형성하기 위해서는 단백질의 유화력이 중요한데, 높은 양극성 특성을 가지고 있는 단백질

*Corresponding author: Suyong Lee, Department of Food Science & Biotechnology and Carbohydrate Bioproduct Research Center, Sejong University, 209,Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 05006, Korea
Tel: +82-2-3408-3227; Fax: +82-2-3408-4319
E-mail: suyonglee@sejong.ac.k
Received August 16, 2022; revised September 26, 2022; accepted October 17, 2022

로 젤라틴이 널리 사용되고 있다(Ding et al., 2020). 더 나아가, 젤라틴이 단백질 또는 탄수화물과 조합되어 사용되면 좀 더 안정성 있는 에멀션을 형성한다는 연구(Feichtinger & Scholten, 2020)가 보고되면서, 잔탄검과 같은 다당류와 젤라틴를 조합한 에멀션 연구(Abdollahi et al., 2020; Patel et al., 2015)들이 진행되고 있다. 하지만, 아직까지 다른 단백질과의 상호작용에 의한 연구는 매우 제한적이며 특히, 분리대두단백(Aoki et al., 1984) 등 식물성 단백질이 에멀션 제조에 사용되고 있지만 식물성-동물성 단백질의 조합에 따른 에멀션 특성 연구 및 이를 지방 대체 소재로 식품에 적용한 연구는 아직까지 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 다양한 단백질에 따른 에멀션의 유화 특성을 분석하였고, 쇼트닝 대체 소재로 적용하여 물성 및 형태학적 관점에서 베이커리 제품의 품질 특성을 평가하였다.

재료 및 방법

재료

본 연구에서는 4 종류의 단백질 즉, PPI (Pea protein isolate, Emsland Co., Emlichheim, Germany), WPI (Whey protein isolate, Sportsbiotech Co., Chungcheongbuk-do, Korea), SPC (Soy protein concentrate, Gushen Biotechnology Group Co. Ltd., Dezhou City, Shandong Province, China), SPI (Soy protein isolate, Shandong Yuxin Bio-Tech Co. Ltd., Qingdao City, China)를 사용하였다. 아울러, 카놀라유(Canola oil, Sajo Haepyo Co. Ltd., Seoul, Korea)와 젤라틴(250 bloom, ES Food, Gyeonggi-do, Korea)을 구입하여 사용하였다.

에멀션 제조 방법

본 실험에 사용된 에멀션은 Patel et al. (2015)의 방법을 변형하여 카놀라유(180 g), 젤라틴(5.8 g), 단백질(2.2 g), 증류수(112 g)의 조성으로 제조하였다. 먼저, 젤라틴과 4가지 단백질(PPI, WPI, SPC, SPI)을 각각 6%, 9% (w/w) 농도로 혼합한 후 교반기(MSH-20D, Daihan Scientific Co. Ltd., Daejeon, Korea)를 사용하여 700 rpm에서 24시간 동안 완전히 용해될 때까지 교반하였다. 이 후 카놀라유를 6% 젤라틴 용액과 혼합 후 균질기(T-25, IKA-Werke GmbH & Co., Staufen, Germany)를 사용하여 11,000 rpm에서 2분 동안 균질화 한 후, 각 단백질 수용액을 가하며 동일속도(11,000 rpm)에서 2분 동안 균질화를 진행하였다.

에멀션의 입자 형태 분석

Yang et al. (2020)의 측정 방법을 토대로 Confocal laser scanning microscope (CLSM) (Leica TCS SP5, Leica Microsystems Inc., Heidelberg, Germany)을 사용하여 에멀션의 입자형태를 분석하였다. 특히, 형광염료인 Nile red (Sigma Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 isopropyl alcohol에 1 mg/mL의 농도로 희석하여 에멀션의 염색에 사용하였고, 488 nm 및 argon laser 조건에서 시료를 분석하였다.

에멀션의 입자 크기 분석

에멀션의 평균입자크기(number-weighted mean diameter)는 Nano particle analyzer (Beckman Coulter, Brea, CA, USA)를 사용하여 dynamic light scattering의 원리를 기반으로 분석하였다(Lawrie et al., 2009). 시료는 에멀션을 증류수를 이용하여 1% 농도(w/w)로 희석한 후 glass cell에 3 ml를 넣은 후 25°C, 165° 산란각 조건에서 3회 반복 측정하였다.

에멀션의 동적 점탄성 분석

에멀션의 동적 점탄성은 Rheometer (Discovery HR-2 rheometer, TA Instrument, New Castle, DE, USA)를 이용하여 측정하였다(Jung et al., 2020). 40mm 직경의 parallel plate를 이용하여 strain sweep test을 통해 선형 점탄성 구간을 결정하였고 이후 frequency sweep test를 0.1~10 Hz, 0.1% strain, 그리고 25°C 온도 조건 하에 진행하였다.

에멀션의 냉해동 안정성 측정

에멀션의 냉해동 처리에 따라 액상이 분리되어 상분리가 일어나는 시너레시스(syneresis) 현상이 관찰될 수 있다. 따라서, 시너레시스는 에멀션의 냉해동 안정성을 나타내는 지표로 널리 사용되고 있다. 에멀션의 냉해동 안정성은 Cui et al. (2022)의 방법을 토대로 측정하였다. 제조된 에멀션을 –80°C에서 급속동결하고 24시간 동안 냉동 저장한 후 상온에서 24시간동안 해동하였다. 그 후, 에멀션에서 분리된 액체와 냉해동 전 에멀션 시료 무게 비율로부터 시너레시스(%)를 계산하였다.

머핀 제조 방법

지방대체를 위한 베이커리 식품 모델로 머핀(muffin)을 제조하였다(Oh et al., 2017). 배합비는 박력분(CJ Co., Seoul, Korea) 200 g, 쇼트닝(Criso, The J.M. Smucker Co., Orrville, OH, USA) 100 g, 설탕(Samyang Co., Seoul, Korea) 220 g, 난백 18 g , 탈지분유 24 g, 물 250 g, 베이킹 파우더 12 g, 소금 6 g으로 구성되었다. 우선, 반죽기(KitchenAid, St Joseph, MI, USA)를 사용하여 쇼트닝을 설탕과 같이 speed 2에서 2분간 교반한 후, 물 일부(60 g)를 넣어 다시 2분간 교반하였다. 마지막으로, 남은 물(190 g)과, 난백, 탈지분유, 베이킹 파우더, 그리고 소금을 넣어 speed 2에서 2분간 교반하였다. 지방대체 시료의 경우 쇼트닝을 WPI 에멀션으로 50, 75, 100% (w/w)으로 대체하였다. 그 후 완성된 반죽(70 g)을 베이킹 팬(직경 6 cm)에 넣고, 상부 180°C, 하부 150°C로 예열 된 오븐에서 25분 동안 구운

후, 상온에서 1시간 동안 냉각시켰다.

머핀 반죽의 비중 분석

에멀션을 이용한 쇼트닝의 대체 시 머핀 반죽의 비중 변화를 AACC 공인 방법(10-15.01) (AACC, 2000)에 따라 동일한 부피의 물과 머핀 반죽의 중량비를 이용하여 계산하였다.

머핀 반죽의 동적 점탄성 분석

머핀 반죽의 동적 점탄성 분석은 Rheometer (Discovery HR-2 rheometer, TA Instrument)을 이용하여 측정하였다. 40mm 직경의 parallel plate를 이용하여 strain sweep test을 통해 선형 점탄성 구간을 결정하였고 이후 frequency sweep test를 0.1~10 Hz, 0.1% strain, 그리고 25°C 온도 조건에서 진행하였다. 측정 중 수분의 증발을 방지하기 위하여 노출된 표면은 미네랄 오일을 이용하여 코팅하였다.

머핀의 부피 측정

쇼트닝 대체에 따른 머핀 시료의 부피 변화는 레이져 부피 측정기(VSP 600, Stable Micro System Ltd., Surrey, UK)를 사용하여 상온에서 측정하였다.

머핀의 텍스처 측정

에멀션을 이용하여 쇼트닝을 대체한 머핀의 텍스처 특성은 Texture analyzer (TA-XT plus, Stable Micro System Ltd., Surrey, UK)를 사용하여 분석하였다. 시료를 일정한 형태(두께 20 mm, 지름 40 mm)로 자른 후, 원통형 프로브(지름 50 mm)로 60 mm/min, 60% strain 조건에서 2번 압축하였고, 얻어진 힘-시간 그래프로부터 텍스처 변수인 hardness (경도), adhesiveness (부착성), springiness (탄력성), cohesiveness (응집성), chewiness (씹힘성), resilience (순간 복원력)를 계산하였다.

통계

모든 실험은 3회 반복되었으며, 얻어진 결과는 R 프로그램(The R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)의 통계 패키지를 이용하여 분산 분석(ANOVA)을 실시하였고, Duncan's multiple range test를 토대로 $p<0.05$ 수준에서 유의적인 차이를 검정하였다.

결과 및 고찰

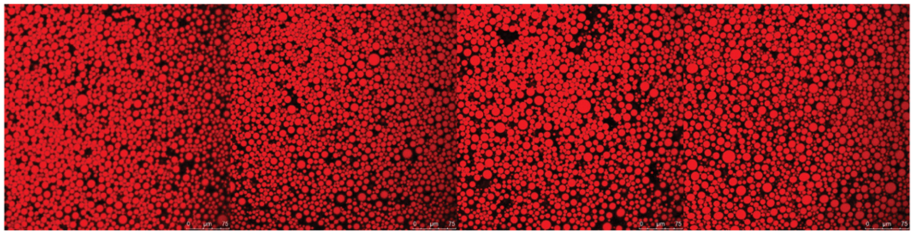
에멀션의 입자 크기

젤라틴과 서로 다른 단백질로 제조된 에멀션의 미세구조를 CLSM를 사용하여 분석하였다. 젤라틴은 에멀션 안정화 소재로 적용되고 있는데 어유(Taherian et al., 2011), 해바라기씨유(Tan et al., 2014) 등 불포화지방을 다량 함유한 유지에 적용 시 O/W 에멀션을 형성하고 그 안정성을 높인다고 보고되고 있다. Table 1에서 보여주는 바와 같이 모든 단백질 시료에 대해 Nile red로 염색된 오일 액적이 확연히 관찰되어 기존 문헌과 같이 O/W 에멀션이 형성된 것을 확인하였다. 더 나아가, 단백질 종류에 따른 에멀션 입자 크기를 Nano particle analyzer를 이용하여 분석한 결과 사용하는 단백질에 따라 에멀션 입자의 크기가 영향을 받았다. Table 1에서 보여주는 바와 같이 SPC를 사용한 에멀션의 경우 11.28 μm로 가장 큰 평균 지름의 입자가 형성되었고, WPI를 사용 시 4.49 μm로 가장 작은 입자 크기를 보여주었다.

에멀션의 동적 점탄성 측정

에멀션의 동적 점탄성을 측정한 결과는 Fig. 1에서 보여주고 있는데, G′은 진동수라는 동적 변형에 의해 복원가능한 에너지(storage modulus)로 탄성을 나타내고, G″은 점성으로 손실되는 에너지(loss modulus)를 의미한다 (Lai & Liao, 2002). 모든 시료들이 두 계수에 대해 진동수에 대한 의존도가 낮아 전형적인 weak-gel 구조의 특징을 확인할 수 있었고, 특이적으로 PPI 시료의 경우 다른 시료들에 비해 낮은 저장 계수(G′)와 손실 계수(G″) 값을 보였다. SPI, SPC, WPI 시료의 경우 그 차이는 크지 않았지만, WPI 가 약간 높은 탄성 및 점성계수를 보여주었는데, 유화된 유지

Table 1. Effect of proteins on the microstructure of emulsions

	PPI	WPI	SPC	SPI
CLSM image				
Mean diameter (μm)	10.40±1.17^{b}	4.49±0.58^{d}	11.28±1.16^{a}	7.17±0.61^{c}

Means with different letters in the same row differ significantly at $p<0.05$.

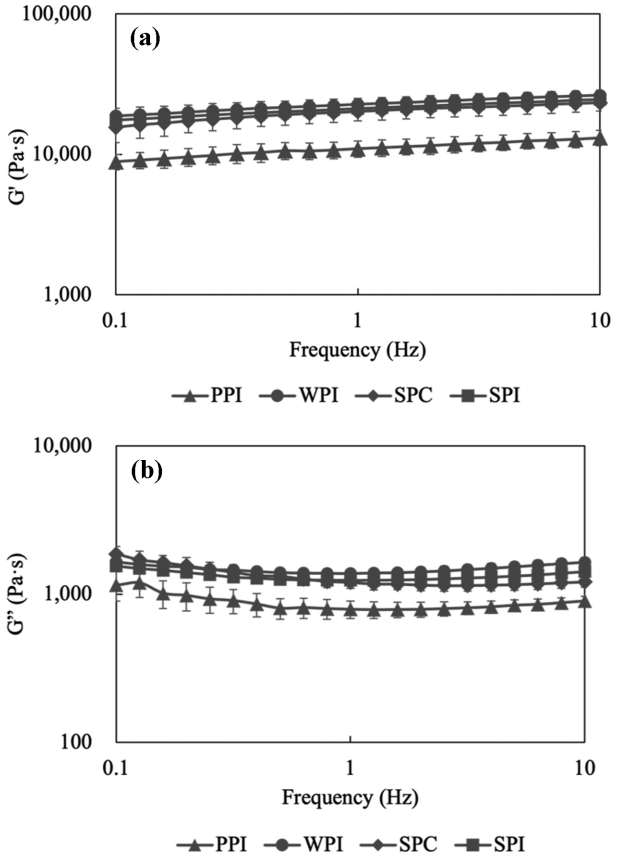


Fig. 1. Effect of proteins on the viscoelastic properties of emulsions (a) G′ and (b) G″.

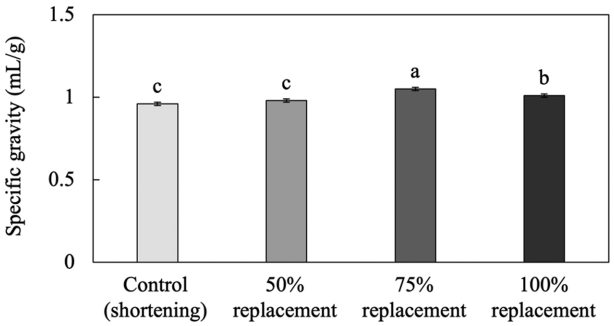


Fig. 2. Effect of shortening replacement with WPI-stabilized emulsions on the specific gravity of muffin batters (Means with different letters on the bar differ significantly at p<0.05).

와 물의 부피분율은 샘플 간에 크게 다르지 않기 때문에 증가된 점탄성 계수는 액적 크기의 감소로 인한 치밀한 내부구조 형성에서 기인했다고 판단된다 (Paximada et al., 2016).

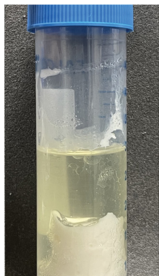
에멀션의 냉해동 안정성

Table 2는 단백질에 따른 에멀션의 냉해동 안정성을 보여주고 있다. 냉해동 처리 후 에멀션의 외관 상태를 살펴보면 WPI 시료를 제외한 모든 시료에서 심각한 상분리 현상이 관찰되었는데 PPI, SPC에서 이수 정도가 크게 나타났다. 시너레시스를 계산한 결과 WPI 시료는 2.01%의 시너레시스를 보여 냉해동 과정에도 시료의 에멀션 구조가 안정적으로 유지된다는 사실을 알 수 있었다. PPI, SPC, SPI는 각각 41.65%, 34.98%, 18.41% 수준의 시너레시스를 보여 냉해동 과정에서 에멀션 구조가 크게 파괴되는 것을 알 수 있었다. 또한, 시너레시스를 통한 에멀션의 냉해동 안정성과 에멀션 입자 크기와의 상관성을 분석한 결과 0.9282의 R^2 값을 보여주었는데, 작은 입자 크기에 기인한 작은 공극 형성으로 치밀하고 안정된 에멀션 구조를 형성한 것으로 판단된다(Liang et al., 2020). 이러한 결과를 토대로 WPI를 통해 안정화된 에멀션을 선정하였고 이를 지방 대체 소재로 머핀에 적용하였다.

머핀 반죽의 비중

Fig. 2는 WPI 에멀션으로 쇼트닝을 대체한 머핀 반죽의 비중 변화를 보여주고 있다. 반죽에서 비중은 혼합과정에서 반죽의 기포 포집 특성을 나타낸다(Lau & Dickinson, 2004). 반죽에 혼입된 기포량은 최종적으로 완성된 베이커리의 부피와 식감에 직접적인 영향을 미치며, 통상적으로

Table 2. Effect of proteins on the freeze-thaw stability of emulsions

	PPI	WPI	SPC	SPI
Visual appearance				
Syneresis (%)	41.65±2.65[a]	2.01±0.55[d]	34.98±1.25[b]	18.41±1.85[c]

Means with different letters in the same row differ significantly at p<0.05.

케이크나 머핀 반죽 같은 경우에는 비중값이 낮을수록 최종 제품의 품질에 좋은 영향을 미치는 지표로서 고려될 수 있다(Ashwini et al., 2009). Fig. 2에서 보여주는 바와 같이 WPI 에멀션으로 쇼트닝 대체 시 50% 수준까지는 비중값에서 통계적인 차이가 없었고, 그 이상 사용 시 머핀 반죽의 비중이 증가하는 경향이 관찰되었다.

머핀 반죽의 동적 점탄성

머핀 반죽의 동적 점탄성을 분석한 결과(Fig. 3), 전체적으로 진동수에 의존적인 특성을 보여주었는데 특히, WPI 에멀션으로 쇼트닝을 대체한 시료의 경우 낮은 진동수에서 더 높은 진동수 의존성을 보여주었다. 점탄성 물질의 경우 점성과 탄성 정도에 따라 진동수에 따른 다른 의존 특성을 보이는데 점성이 높은 시료의 경우 진동수에 따른 높은 의존 특성을 보이는 반면 젤과 같이 고체적인 특성이 높아질수록 진동수에 비의존적 특성을 보인다(Lee & Kim, 2017). WPI 에멀션 함량이 높아질수록 탄성 및 점성계수가 모두 높아지는 경향이 관찰되었는데, 고체적 특성을 가지고 있는 WPI 등의 함량이 증가되면서 점탄성 계수가 높아지는 것으로 판단된다. 50% WPI 시료 경우 넓은 진동수 범위에 대해 쇼트닝 시료와 유사한 점탄성 패턴을 보여주었다.

머핀 비체적

Table 3은 오븐 조리 후 얻어진 머핀의 외관 특성과 비체적 값을 보여주고 있다. WPI 에멀션 시료를 사용하여 쇼트닝을 75%까지 대체 시 머핀 외관 특성에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 머핀 시료의 비체적을 측정한 결과 쇼트닝 대체 함량이 증가할수록 머핀의 비체적이 서서히 감소하는 경향이 관찰되었지만 75% 수준까지는 통계적으로 차이가 관찰되지 않았다. 일반적으로 다양한 소재를 활용하여 베이커리 제품에서 쇼트닝을 대체하는 경우, 대체 비율이 높아질수록 낮은 공기포집도로 인해 최종 제품의 부피가 감소하는 경향을 보여준다(Jung et al., 2020; Min et al., 2010). 본 실험에서 얻어진 바와 같이 단백질로 안정화된 에멀션을 사용하여 고체지방을 대체 시 고체 지방의 핵심적 역할인 공기포집능을 어느 정도 유지시킴으로써 부피 손실 정도를 감소시켜 품질 측면에서 긍정적인 효과를 부여할 수 있다는 사실을 확인하였다.

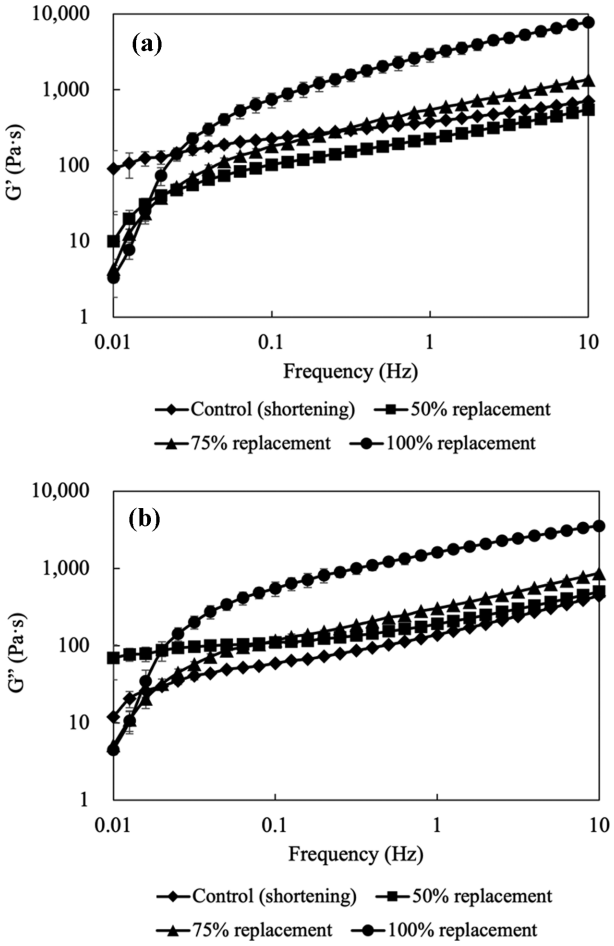


Fig. 3. Effect of shortening replacement with WPI-stabilized emulsions on the viscoelastic properties of muffin batters ((a) G′ and (b) G″).

Table 3. Effect of shortening replacement with WPI-stabilized emulsions on the visual appearance and volume of muffins

	Control (shortening)	50% replacement	75% replacement	100% replacement
Visual appearance				
Specific volume (mL/g)	1.70±0.02[a]	1.69±0.00[a]	1.67±0.01[ab]	1.65±0.02[b]

Means with different letters in the same row differ significantly at $p<0.05$.

Table 4. Effect of shortening replacement with WPI-stabilized emulsions on the textural properties of muffins

	Control (shortening)	50% replacement	75% replacement	100% replacement
Hardness (N)	29.97±1.17^{c}	30.71±1.61^{c}	33.05±0.54^{b}	40.78±0.84^{a}
Adhesiveness (N·mm)	0.41±0.08^{c}	0.72±0.24^{bc}	0.87±0.09^{b}	1.10±0.28^{a}
Springiness	0.90±0.03*	0.88±0.02*	0.88±0.01*	0.89±0.04*
Cohesiveness	0.62±0.01*	0.65±0.00*	0.66±0.00*	0.66±0.01*
Chewiness (N·mm)	16.57±0.80^{c}	17.46±1.31^{bc}	19.10±0.43^{b}	23.97±1.91^{a}
Resilience	0.25±0.00*	0.26±0.01*	0.26±0.00*	0.26±0.01*

Means with different letters in the same row differ significantly at $p<0.05$.

머핀 텍스처

WPI 에멀션으로 고체 지방을 대체하여 얻어진 머핀의 텍스처를 측정하였고 그 결과는 Table 4에서 보여주고 있다. 시료를 압축할 때 필요한 가장 큰 힘을 나타내는 경도(hardness)의 경우 대조구가 29.97 N으로 전체 중에 가장 낮은 값을 보였고 WPI 에멀션으로 쇼트닝 대체 시 그 값이 증가하였다. 고체 지방 대체에 따른 경도의 증가는 Table 3에서 나타난 비체적 결과와 역의 상관관계가 관찰되었는데($R^2 = 0.8943$), 이는 부피 감소로 인해 형성된 치밀한 내부 구조 형성이 경도 증가로 이어진 것으로 판단된다. 시료의 부착성(adhesiveness)과 고체식품을 삼킬 때까지 씹는데 필요한 에너지를 나타내는 씹힘성(chewiness) 역시 경도와 같은 경향성을 보였고, 그 외의 탄력성(springiness), 응집성(cohesiveness), 순간복원력(resilience) 등의 텍스처 특성에서는 시료 간의 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 전체적으로, 머핀 시료의 텍스처에 영향을 주지 않고 WPI 에멀션으로 쇼트닝을 50% 정도까지 대체할 수 있는 것으로 판단된다.

요 약

본 연구에서는 단백질(PPI, WPI, SPC, SPI)의 종류에 따른 에멀션의 특성을 분석하였고, 그 중 냉해동 안정성이 우수한 WPI 에멀션을 고체 지방 대체 소재로 선정하여 베이커리 제품에 적용하였다. WPI를 사용한 에멀션이 가장 작은 입자 크기를 보여주었으며 이에 따라 높은 점탄성 및 냉해동 안정성이 관찰되었다. 고체 지방의 대체소재로서 WPI 에멀션을 머핀에 적용한 결과 50% 수준까지, 반죽의 비중 및 점탄성이 대조구와 유사한 값을 보여주었다. 아울러, 굽기 후에도 50% 대체 수준까지 대조구 머핀과 통계적으로 동일한 수준의 비체적 및 텍스처 특성을 보여주었다. 따라서, WPI 단백질을 이용하여 안정적인 에멀션을 제조할 수 있고 품질 저하없이 고체 지방을 50% 수준까지 대체할 수 있는 것으로 평가되었다. 이러한 본 연구의 결과는 단백질을 이용해 안정화된 에멀션을 제조할 수 있고, 이를 고체 지방 대체 소재로 적용하여 품질 저하를 최소화하면서 포화지방이 저감화된 식품을 제조할 수 있는 기초 연구 자료로 활용 될 수 있을 것이다.

감사의 글

이 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 고부가가치식품기술개발사업의 지원(321032031SB010, 321022041SB010)에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

References

AACC. 2000. Approved Methods of the AACC. 9th ed: American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.

Abdollahi M, Goli S. A. H, Soltanizadeh N. 2020. Physicochemical properties of foam-templated oleogel based on gelatin and xanthan gum. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 122: 1900196.

Aoki H, Shirase Y, Kato J, Watanabe Y. 1984. Emulsion stabilizing properties of soy protein isolates mixed with sodium caseinates. J. Food Sci. 49: 212-216.

Ashwini A, Jyotsna R, Indrani D. 2009. Effect of hydrocolloids and emulsifiers on the rheological, microstructural, and quality characteristics of eggless cake. Food Hydrocoll. 23: 700-707.

Blach C, Gravelle AJ, Peyronel F, Weiss J, Barbut S, Marangoni AG. 2016. Revisiting the crystallization behavior of stearyl alcohol: Stearic acid (SO: SA) mixtures in edible oil. RSC Adv. 6: 81151-81163.

Bot A, Agterof WG. 2006. Structuring of edible oils by mixtures of γ-oryzanol with β-sitosterol or related phytosterols. J. Am. Oil Chem. Soc. 83: 513-521.

Cui B, Mao Y, Liang H, Li Y, Li J, Ye S, Li B. 2022. Properties of soybean protein isolate/curdlan based emulsion gel for fat analogue: Comparison with pork backfat. Int. J. Biol. Macromol. 206: 481-488.

Danesh E, Goudarzi M, Jooyandeh H. 2017. Effect of whey protein addition and transglutaminase treatment on the physical and sensory properties of reduced-fat ice cream. J. Dairy Sci. 100: 5206-5211.

Danesh E, Goudarzi M, Jooyandeh H. 2018. Transglutaminase-mediated incorporation of whey protein as fat replacer into the formulation of reduced-fat Iranian white cheese: Physicochemical, rheological, and microstructural characterization. J. Food Meas. Charact. 12: 2416-2425.

Ding M, Zhang T, Zhang H, Tao N, Wang X, Zhong J. 2020. Gelatin-stabilized traditional emulsions: Emulsion forms, droplets, and storage stability. Food Sci. Hum. Wellness. 9(4): 320-327.

Feichtinger A, Scholten E. 2020. Preparation of protein oleogels: Effect on structure and functionality. Foods 9: 1745.

Grassi S, Carretti E, Dei L, Branham CW, Kahr B, Weiss RG. 2011. D-Sorbitol, a structurally simple, low molecular-mass gelator. New J. Chem. 35: 445-452.

Jung D, Oh I, Lee J, Lee S. 2020. Utilization of butter and oleogel blends in sweet pan bread for saturated fat reduction: Dough rheology and baking performance. LWT 125: 109194.

Klonoff DC. 2007. Replacements for trans fats—will there be an oil shortage?. J. Diabetes Sci. Technol. 1: 415-422.

Lai LS, Liao CL. 2002. Steady and dynamic shear rheological properties of starch and decolorized hsian-tsao leaf gum composite systems. Cereal Chem. 78: 58-63.

Lau K, Dickinson E. 2004. Structural and rheological properties of aerated high sugar systems containing egg albumen. J. Food Sci. 69: E232-E239.

Lawrie AS, Albanyan A, Cardigan RA, Mackie IJ, Harrison P. 2009. Microparticle sizing by dynamic light scattering in fresh-frozen plasma. Vox Sang. 96: 206-212.

Lee S, Kim Y. 2017. Food Rheology: Principles and Applications. Soohaksa, Seoul, Korea.

Liang X, Ma C, Yan X, Zeng H, McClements DJ, Liu X, Liu F. 2020. Structure, rheology and functionality of whey protein emulsion gels: Effects of double cross-linking with transglutaminase and calcium ions. Food Hydrocoll. 102: 105569.

Lim J, Ko S, Lee S. 2014. Use of *Yuja* (*Citrus junos*) pectin as a fat replacer in baked foods. Food Sci. Biotechnol. 23: 1837-1841.

Min B, Lee SM, Yoo SH, Inglett GE, Lee S. 2010. Functional characterization of steam jet-cooked buckwheat flour as a fat replacer in cake-baking. J. Sci. Food Agric. 90: 2208-2213.

Nishida C, Uauy R, Kumanyika S, Shetty P. 2004. The joint WHO/FAO expert consultation on diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: Process, product and policy implications. Public Health Nutr. 7: 245-250.

Oh I, Amoah C, Lim J, Jeong S, Lee S. 2017. Assessing the effectiveness of wax-based sunflower oil oleogels in cakes as a shortening replacer. LWT. 86: 430-437.

Patel AR, Rajarethinem PS, Cludts N, Lewille B, De Vos WH, Lesaffer A, Dewettinck K. 2015. Biopolymer-based structuring of liquid oil into soft solids and oleogels using water-continuous emulsions as templates. Langmuir 31: 2065-2073.

Paximada P, Tsouko E, Kopsahelis N, Koutinas AA, Mandala I. 2016. Bacterial cellulose as a stabilizer of o/w emulsions. Food Hydrocoll. 53: 225-232.

Psimouli V, Oreopoulou V. 2013. The effect of fat replacers on batter and cake properties. J. Food Sci. 78: C1495-C1502.

Sun C, Liu R, Liang B, Wu T, Sui W, Zhang M. 2018. Microparticulated whey protein-pectin complex: A texture-controllable gel for low-fat mayonnaise. Food Res. Int. 108: 151-160.

Taherian AR, Britten M, Sabik H, Fustier P. 2011. Ability of whey protein isolate and/or fish gelatin to inhibit physical separation and lipid oxidation in fish oil-in-water beverage emulsion. Food Hydrocoll. 25: 868-878.

Tan H, Sun G, Lin W, Mu C, Ngai T. 2014. Gelatin particle-stabilized high internal phase emulsions as nutraceutical containers. ACS Appl. Mater. Interfaces 6: 13977-13984.

Yang H, Su Z, Meng X, Zhang X, Kennedy JF, Liu B. 2020. Fabrication and characterization of pickering emulsion stabilized by soy protein isolate-chitosan nanoparticles. Carbohydr. Polym. 247: 116712.

Yashini M, Sunil CK, Sahana S, Hemanth SD, Chidanand DV, Ashish Rawson. 2021. Protein-based fat replacers–a review of recent advances. Food Rev. Int. 37: 197-223.

Author information

김민효: 세종대학교 식품생명공학과 및 탄수화물소재연구소
양근혁: 세종대학교 식품생명공학과 및 탄수화물소재연구소
이수용: 세종대학교 식품생명공학과 및 탄수화물소재연구소