



Research Article

The quality characteristics of plant-based garlic mayonnaise using chickpea aquafaba with different ultrasonic treatment time

초음파 처리 시간을 달리한 병아리콩 아쿠아파바를 사용하여 제조한 식물성 마늘 마요네즈의 품질 특성

Jungsoo Kim¹, Jiyeon Kim¹, Saeul Jeong¹, Minhyun Kim¹, Sanghyeok Park¹, Insun Kim¹, Inju Nam¹, Junyeong Park¹, Kwang-Deog Moon^{1,2*}

김정수¹ · 김지윤¹ · 정새울¹ · 김민현¹ · 박상혁¹ · 김인선¹ · 남인주¹ · 박준영¹ · 문광덕^{1,2*}

¹School of Food Science and Technology, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

²Food and Bio-Industry Research Institute, Kyungpook National University, Daegu 41566, Korea

¹경북대학교 식품공학부, ²경북대학교 식품생물산업연구소

Abstract Recently, there has been a growing trend to replace animal ingredients used in food with plant-based alternatives for health, environment, and animal welfare. In this study, chickpea aquafaba was used as emulsifier for mayonnaise, and the effect of ultrasound on aquafaba and plant-based mayonnaise was investigated. Aquafaba with chickpea [1:2 (w/w)] was treated by ultrasound in 40 kHz and 200 W for 0, 30, 60, and 90 min. The emulsion property and quality of aquafaba with ultrasonic treatment time (UTT) and plant-based mayonnaise (UTT0, UTT30, UTT60, and UTT90) were analyzed, and compared with mayonnaise using egg yolk (CONT). As the UTT of aquafaba, the protein solubility increased, but emulsion activity index was highest in sample treated for 30 min ($p < 0.05$). These results affected plant-based mayonnaise. The microstructure was confirmed that oil droplet of plant-based mayonnaises were larger than CONT, and size of oil droplet decreased by UTT. The emulsion stability of plant-based mayonnaises were about 7-11% lower than CONT, and among plant-based mayonnaises, UTT30 was the highest at 81.30%, and UTT60 and UTT90 were the lowest. Plant-based mayonnaise had higher viscosity and overall acceptability than CONT, and viscosity decreased by UTT. Optimal UTT had a beneficial effect on the emulsion property of aquafaba and mayonnaise, and a positive role can be expected as plant-based alternative emulsifier.

Keywords aquafaba, ultrasonic treatment time, plant-based mayonnaise, emulsion property, quality characteristics



Citation: Kim JS, Kim JY, Jeong SU, Kim MH, Park SH, Kim IS, Nam IJ, Park JY, Moon KD. The quality characteristics of plant-based garlic mayonnaise using chickpea aquafaba with different ultrasonic treatment time. Korean J Food Preserv, 29(3), 381-394 (2022)

Received: January 14, 2022

Revised: March 24, 2022

Accepted: April 15, 2022

***Corresponding author**

Kwang-Deog Moon
 Tel: +82-53-950-5773
 E-mail: kdmoon@knu.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

마요네즈는 세계적으로 가장 오래되고, 널리 사용되는 소스 중 하나이며(Depree와 Savage, 2001), 다른 식품의 질감과 풍미를 향상시키는 반고체 형태의 소스이다(He 등, 2021). 전통적

인 마요네즈는 식물성 기름, 달걀, 식초 및 겨자와 마늘 등과 같은 향신료의 혼합물이며, 일반적으로 지방이 70-80% 함유되어 있다(Yildirim 등, 2016). 높은 기름 함량에도 불구하고, 마요네즈는 세 가지 주요 구성요소인 식물성 기름(분산상), 식초와 물(연속상), 달걀 난황(유화제)으로 구성된 낮은 pH의 수중유(O/W) 유화물이다(Li 등, 2014; Mirzanajafi-Zanjani 등, 2019). 달걀 난황의 레시틴은 유화 안정성, 산화 안정성 및 표면 장력 감소 등과 같은 기능적 특성을 가지는 인지질 계열 및 지방 조성을 포함하기 때문에 일반적으로 식품의 유화제로 사용된다(Palacios와 Wang, 2005). 달걀 난황은 마요네즈의 유화 안정성에 가장 중요하며(Nikzade 등, 2012), 난황의 높은 유화 특성은 low-density lipoprotein(LDL), high-density lipoprotein(HDL), 인지질 및 phosvitin과 livetin 같은 비결합 단백질과 관련이 있다(Moros 등, 2002). 달걀은 뛰어난 유화 특성을 가지고 있지만, 달걀 알레르기 증세의 소비자들과 관련된 측면과 난황의 높은 콜레스테롤 함량 등의 제약이 있다(Meurer 등, 2020; Smittle, 2000). 따라서, 달걀 대체품에 대한 수요가 증가함으로 중요한 연구 주제로 대두되고 있으며, 마요네즈의 달걀 난황을 대체하기 위하여 다양한 식물성 원료를 사용하는 연구(Armaforte 등, 2021; Kown과 Lee, 2021)가 수행되고 있다. 최근 전 세계적으로 채식 및 비건 인구가 급증하고 있으며(Meurer 등, 2020), 채식 인구가 증가하는 이유에는 건강, 환경보호, 동물윤리 등이 있다(Lee 등, 2021). 채식주의자는 일반적으로 달걀, 육류, 생선 등과 같은 동물성 원료를 섭취하지 않거나 섭취하기도 하며, 비건은 동물성 원료가 함유된 모든 식품을 배제한다(Rosenfeld와 Burrow, 2017; Ruby, 2012). 또한, 국내 식품 소비 트렌드 변화를 살펴보면, 건강 트렌드가 가장 높은 비중을 차지하였다(Clark와 Lee, 2016). 이러한 요구들은 마요네즈의 유화제로 주로 사용되는 달걀 난황을 대체할 식물성 기반의 유화제의 필요성을 증대시킨다.

병아리콩(*Cicer arietinum*)은 콩과의 일년생 초본 식물이고, 단백질, 탄수화물(전분, 섬유질) 및 지방의 중요한 공급원이며, 전 세계적으로 두 번째로 많이 소비되는 콩이다(Grasso 등, 2021; He 등, 2021). 병아리콩 통조림 및 조리된 병아리콩의 부산물인 아쿠아파바(aquafaba)는 점성이 있는 액체로 유화(오일/물 거동), 발포(공기/물 거동), 겔

및 증점과 같은 특성을 나타낸다. 이러한 아쿠아파바의 기능적 특성은 주로 단백질, 수용성/불용성 탄수화물, 다당류-단백질 복합체 등의 함량에 영향을 받는다. 아쿠아파바의 단백질은 친수성 및 소수성 그룹을 포함하는 양친매성 분자이며, 이러한 분자는 기름-물 계면에서 응집되어 용액의 계면 장력을 낮춘다. 낮아진 계면 장력은 오일 방울의 캡슐화 및 단백질 분자의 결합을 일으켜 유화물을 안정화시킨다(He 등, 2021). 콩과 식물의 조리 시 발생하는 조리수의 폐기량에 대한 데이터는 없으나, 생산 공장에서 발생하는 폐수가 상당하다는 것을 유추할 수 있으며, 이를 적절하게 처리하지 않으면 많은 처리 비용이 발생하고, 환경오염에 영향을 줄 수 있다(Song, 2013). 식품에 아쿠아파바를 활용함으로 일부 콩 원재료를 사용하는 공정에서 발생하는 폐수를 줄일 수 있을 것이며, 식물성 식품 시장이 더욱 확대될 수 있을 것이다(He 등, 2021). 이러한 아쿠아파바는 식품의 유화제, 발포제, 겔화제, 증점제로 달걀 및 유제품을 대체할 친환경 식물성 첨가제로 활용되고 있으며(He 등, 2021), 최근 식물성 기반의 머랭(Starmer 등, 2018), 스펀지케이크(Mustafa 등, 2018), 마요네즈(Raikos 등, 2020)에 사용되고 있다.

고품질 식품에 대한 소비자의 요구가 증가함에 따라, 식품의 더 나은 품질을 달성하고, 기능적 특성을 향상시키기 위한 안전하고 효과적인 새로운 방법이 개발되고 있다(Ahmed 등, 2009; Arzeni 등, 2012). 초음파는 일반적으로 안전하고 무독성이며 친환경적으로 간주되어 다른 기술보다 큰 이점으로 작용한다(Kentish와 Ashokkumar, 2011). 고강도 초음파는 20-100 kHz의 주파수와 10-1,000 W/cm² 강도의 범위이며, 다양한 응용 분야에 잠재력을 가지고 있다(O'donnell 등, 2010). 초음파는 식품의 물리적, 화학적 변형을 유도하여 특성을 변형시킬 수 있으며, 이러한 초음파의 효과는 공동 현상(cavitation)으로 발생하는 전단 응력 및 난류와 관련이 있다(Awad 등, 2012; Knorr 등, 2004). 초음파 처리는 단백질의 소수성 및 용해도에 부분적인 변성 및 변화를 일으킴으로 유화 능력, 거품 안정성 및 거품 팽창에 영향을 준다(Arzeni 등, 2012; Feng 등, 2011).

우수한 유화 안정성으로 달걀 난황은 마요네즈의 유화제로 주로 사용되지만, 최근 건강, 환경 문제, 동물복지 등의

이유로 난황을 식물성 유화제로 대체하려는 추세가 증가하고 있다. 또한, 식물성 유화제의 기능적 특성을 향상시키기 위한 기술의 적용이 필요하다. 아쿠아파바를 사용하여 제조한 마요네즈 및 초음파를 처리한 아쿠아파바의 특성 (Meurer 등, 2020)에 대한 연구가 수행되었지만, 아쿠아파바에 초음파를 처리하고, 이를 활용한 마요네즈의 품질 특성을 분석하는 연구는 전무한 실정이다. 본 연구에서는 마요네즈 제조에 있어 일반적으로 사용되는 달걀 난황을 병아리콩 아쿠아파바로 대체하여 식물성 마요네즈를 제조하였다. 고강도의 초음파 처리 시간을 달리한 아쿠아파바 및 이를 사용하여 제조한 식물성 마요네즈의 유화 특성 및 품질 특성을 분석하였고, 난황을 사용한 마요네즈와 비교하였다. 이를 통하여 초음파 처리에 따른 아쿠아파바와 식물성 마요네즈의 품질 향상 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

본 연구에서 사용한 병아리콩 통조림(Fratelli Longobardi S.R.L, SA, Italy)은 이탈리아에서 멸균 가공되었고, 원재료가 병아리콩 60%, 정제수, 정제소금 및 비타민 C로 구성되어 있으며, 시중에서 구매하여 고형분인 병아리콩을 채로 분리한 후 획득한 아쿠아파바를 사용하였다. 식물성 마요네

즈 제조에 사용한 카놀라유(Ottogi Co., Ltd., Seoul, Korea), 머스타드(Heinz Co., Ltd., Pittsburgh, PA, USA), 마늘분말(Malgeundeul Co., Ltd., Hongcheon, Korea), 레몬즙(Polenghi Las Co., Ltd., LO, Italy), 소금(Chungjungone Co., Ltd., Seoul, Korea), 스테비아(Viomix Co., Ltd., Seoul, Korea)는 대구시 소재의 대형 마트에서 구입하였다. 대조구 마요네즈 제조에 사용한 달걀은 신선한 것을 구입하여 분리한 난황을 사용하였다.

2.2. 아쿠아파바 전처리 및 마요네즈 제조

아쿠아파바 전처리 및 마요네즈 재료의 배합비는 Table 1에 나타내었다. 초음파 처리 시간(ultrasonic treatment time, UTT)을 달리한 아쿠아파바는 분리한 병아리콩과 아쿠아파바를 2:1(w/w) 비율로 계량한 후, 초음파 기기(DH, WUC, D22H, Daihan Scientific Co., Ltd., Wonju, Korea)를 사용하여 주파수 40 kHz에서 최대 초음파 출력의 50%인 200 W로 0분, 30분, 60분, 90분 동안 초음파 처리를 진행하였으며, 온도는 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 로 유지하였다.

마요네즈의 제조는 Armaforte 등(2021)의 방법을 참고하였으며, 예비 실험을 통하여 재료의 배합 양과 제조 방법을 설정하였다. 초음파 처리 시간을 달리하여 제조한 아쿠아파바를 사용하여 UTT0, UTT30, UTT60, UTT90의 총

Table 1. Ingredients of plant-based mayonnaise with different ultrasonic treatment time (UTT)

Ingredients (g)	Samples				
	CONT ¹⁾	UTT0 ²⁾	UTT30	UTT60	UTT90
Canola oil	120	120	120	120	120
Aquafaba	0	45	45	45	45
Egg yolk	20	0	0	0	0
Water	30	0	0	0	0
Mustard sauce	5	5	5	5	5
Garlic powder	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Lemon juice	10	10	10	10	10
Salt	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Stevia	1	1	1	1	1
Ultrasonic treatment time (min)	0	0	30	60	90

¹⁾CONT stands for mayonnaise using egg yolk.

²⁾UTT0, UTT30, UTT60, and UTT90 stand for plant-based mayonnaise using aquafaba with 0 min, 30 min, 60 min, and 90 min of different ultrasonic treatment time.

4가지 식물성 마요네즈를 제조하였으며, 대조구는 난황을 사용한 마요네즈로 품질 특성을 비교하였다. 또한, 배합비에 첨가한 가수의 양은 아쿠아파바의 수분함량(Table 2)과 사용한 난황의 수분함량(47.41±0.44%)을 고려하여 추가하였다. 카놀라유를 제외한 모든 재료를 직경 78 mm인 계량컵에 담은 후 핸드믹서(HR2535/00, Philips Co., Ltd., Amsterdam, Netherlands)를 사용하여 14,900 rpm으로 10초간 혼합하고 카놀라유를 조금씩 첨가하면서 총 5분간 믹싱하여 마요네즈를 제조하였다. 제조한 마요네즈는 4℃에서 24시간 후 시료로 사용하였다.

2.3. 아쿠아파바의 품질 특성 측정

아쿠아파바의 수분함량은 식품공전 일반시험법의 건조감량법을 사용하였다. 각 아쿠아파바를 5 g(w₁)씩 취하여 105℃에서 5시간 동안 건조한 후, 시료의 중량(w₂)을 측정하여 다음과 같은 식(1)으로 계산하였다. 측정값은 3회 반복 측정하였다.

$$\text{Water content (\%)} = (w_1 - w_2) / w_1 \times 100 \quad (1)$$

단백질 용해도 함량은 분광광도법으로 측정하여 분석하였다. 동결건조기(PVTFD20R, Ilshinbio, Dongducheon, Korea)를 이용하여 얻은 각 아쿠아파바 분말에 증류수를 가하여 일정한 농도로 맞춘 용액을 사용하였다. 희석된 각 아쿠아파바 용액 125 μL에 BCA 시약(Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) 1 mL를 혼합하여 37℃

의 water bath(JSIB-22T, JS Research Inc., Gongju, Korea)에서 30분간 반응시킨 후 spectrometer (Evolution 201 UV-Visible Spectrophotometer, Thermo Fisher Scientific, Brooklyn, NY, USA)를 이용하여 562 nm에서 흡광도를 측정하였다. 소 혈청 알부민(Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)을 이용한 표준 곡선을 기준으로 계산하였으며, 단백질 용해도 함량은 mg/mL로 표시하였다. 측정값은 3회 반복 측정하였다.

아쿠아파바의 유화 특성인 유화 활성 지수와 열 안정성 지수는 Lafarga 등(2019)의 방법을 변형하여 측정하였다. 유화 활성 지수는 각 아쿠아파바와 카놀라유를 2:3(w/w) 비율로 계량한 후, 핸드믹서를 사용하여 14,900 rpm으로 아쿠아파바에 카놀라유를 첨가하면서 2분간 믹싱하여 유화물을 제조하였다. 제조한 각 유화물 10 g(w₀)을 15 mL conical tube에 취하고 원심분리기(1580MGR, Gyrozen, Deajeon, Korea)를 사용하여 4℃에서 17,000 ×g으로 5분간 원심분리하였다. 분리된 수상(water phase)은 피펫으로 제거한 후 남은 유화물(w₁)을 측정하였다. 피펫에 묻은 유화물은 *n*-Haptane(Duksan Chemical Co., Ansan, Korea)으로 씻어 모아 회전 감압 농축기(RV 10D, IKA, Staufen, Germany)로 농축하여 유화물(w₂)을 측정한 후 다음과 같은 식(2)으로 계산하였다. 측정값은 3회 반복 측정하였다.

$$\text{Emulsion property (\%)} = (w_1 + w_2) / w_0 \times 100 \quad (2)$$

열 안정성 지수는 유화 활성 지수와 동일하게 제조한 각

Table 2. Physicochemical properties of aquafaba with different ultrasonic treatment time (UTT)

Ultrasonic treatment time (min)	Moisture contents (%)	Protein solubility (mg/mL)	Emulsion activity index (%)	Heat stability index (%)	Viscosity (cP)	pH	Color value		
							L*	a*	b*
0 ¹⁾	94.07±0.01 ²⁾⁽³⁾	1,706.97±30.26 ^a	74.80±0.71 ^{ab}	74.07±1.28	16.70±0.17 ^d	6.28±0.00 ^a	36.86±0.06 ^b	0.49±0.04 ^c	9.14±0.17 ^c
30	93.92±0.02 ^b	1,809.79±47.02 ^b	75.40±0.35 ^b	75.34±0.68	14.70±0.00 ^c	6.33±0.01 ^b	36.41±0.10 ^a	0.26±0.05 ^a	7.98±0.06 ^a
60	93.86±0.01 ^a	1,972.31±18.84 ^c	74.31±0.41 ^a	74.02±1.13	13.80±0.30 ^b	6.35±0.01 ^c	36.37±0.06 ^a	0.22±0.07 ^a	8.03±0.14 ^a
90	94.04±0.02 ^c	2,035.32±14.93 ^d	73.78±0.23 ^a	73.80±1.15	12.10±0.35 ^a	6.36±0.01 ^d	36.77±0.10 ^b	0.36±0.05 ^b	8.72±0.40 ^b
F-value	173.733 ^{****}	72.899 ^{****}	4.248 [*]	2.514 ^{NS}	183.458 ^{****}	88.533 ^{****}	44.077 ^{****}	24.479 ^{****}	29.709 ^{****}

¹⁾0, 30, 60, and 90 stand for aquafaba with 0 min, 30 min, 60 min, and 90 min of different ultrasonic treatment time.

²⁾Color values are mean±SD (n=5); The others are mean±SD (n=3).

³⁾Different superscript letters indicate significant difference (p<0.05) between values in the same column.

^{*}significant at p<0.05, ^{****}significant at p<0.0001, ^{NS}not significant.

유화물 10 g을 15 mL conical tube에 취하고, water bath를 이용하여 85℃에서 10분간 가열한 후 실온에서 5분간 냉각시켰다. 원심분리기를 사용하여 4℃에서 10,000 rpm으로 2분간 원심분리한 후, 유화 활성 지수와 동일하게 남은 유화물을 측정하여 식(2)와 같이 계산하였다. 측정값은 3회 반복 측정하였다.

점도는 점도계(DVIM, Brookfield Engineering, MA, USA)를 이용하여 측정하였으며, 25℃의 각 아쿠아파바를 회전속도 5 rpm에서 spindle No. 62를 사용하여 1분간 작동시킨 후의 값을 3회 반복 측정하였다. pH는 각 아쿠아파바 원액을 pH meter(Orion 3 Star, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)로 3회 반복 측정하였으며, 색도는 표준 백색판($L^*=97.79$, $a^*=-0.38$, $b^*=2.05$)으로 보정된 colorimeter(CR-400, Konica Minolta, Tokyo, Japan)를 사용하였다. 색도는 5회 반복 측정하여 L^* (lightness), a^* (redness), b^* (yellowness) 값을 나타내었다.

2.4. 마요네즈의 공초점 레이저 주사 현미경 및 외관 촬영

마요네즈의 미세구조를 측정하기 위하여 공초점 레이저 주사 현미경(LSM800, Carl Zeiss, Jena, Germany)을 사용하였다. 561 nm 파장의 레이저 및 40× water immersion 대물렌즈를 사용하여 미세구조 이미지는 800배 배율로 촬영하였다. 촬영한 DIC(differential interference contrast) 이미지는 ZEN 2.1 software(Carl Zeiss, Jena, Germany)로 분석하였다.

2.5. 마요네즈의 유화 안정성 및 열 안정성 측정

마요네즈의 유화 안정성 및 열 안정성은 He 등(2021)의 방법을 변형하여 측정하였다. 유화 안정성은 각 마요네즈 10 g(w_0)을 15 mL conical tube에 취하고, 원심분리기를 사용하여 4℃에서 17,000 ×g으로 30분간 원심분리하였다. 피펫으로 분리된 수상을 제거한 후 남은 유화물(w_1)을 측정하였으며, *n*-Haptane으로 피펫에 묻은 유화물을 씻어 모아 감압 농축하여 나머지 유화물(w_2)을 측정하였다. 다음과 같은 식(3)으로 유화 안정성을 계산하였으며, 측정값은 3회 반복 측정하였다.

$$\text{Emulsion stability (\%)} = (w_1 + w_2) / w_0 \times 100 \quad (3)$$

열 안정성은 각 마요네즈 10 g(w_0)을 15 mL conical tube에 취한 뒤 80℃의 water bath에서 30분간 가열한 후 실온에서 5분간 냉각시켰다. 원심분리기를 사용하여 4℃에서 17,000 ×g으로 30분간 원심분리한 후, 유화 안정성과 동일한 방법으로 conical tube에 남은 유화물(w_1)과 피펫에 묻은 유화물(w_2)을 측정하였고, 다음과 같은 식(4)으로 계산하였다. 측정값은 3회 반복 측정하였다.

$$\text{Heat stability (\%)} = (w_1 + w_2) / w_0 \times 100 \quad (4)$$

2.6. 마요네즈의 조직감 측정

마요네즈의 조직감 측정은 각 마요네즈를 100 mL 비커에 담아 직경이 20 mm인 cylinder probe를 장착한 rheometer(Compac-II, Sunscientific Co., Tokyo, Japan)를 사용하였으며, 2회 반복 압착실험(two-bite compression test)으로 측정하였다. 측정 조건은 pre-test speed: 2 mm/sec, test speed 및 post-test speed: 1 mm/sec, load cell: 2 Kgf, distance: 10 mm, clearance: 15 mm로 측정하였다. 측정 후 얻어진 force-distance curve로 응집성(cohesiveness), 점착성(gumminess) 값을 RDS40 software(Sunscientific Co., Tokyo, Japan)로 분석하였다. 측정값은 3회 반복 측정하였다.

2.7. 마요네즈의 점도, pH 및 색도 측정

마요네즈의 점도는 점도계를 이용하여 측정하였으며, spindle No. 64를 사용하여 회전속도 20 rpm으로 10초간 작동시킨 후의 값을 3회 반복 측정하였다. 각 마요네즈의 pH는 pH meter를 사용하여 3회 반복 측정하였으며, 색도는 표준 백색판($L^*=97.79$, $a^*=-0.38$, $b^*=2.05$)으로 보정된 colorimeter를 사용하여 L^* , a^* , b^* 값을 나타내었다. 색도 측정값은 5회 반복 측정하였다.

2.8. 마요네즈의 관능평가

관능평가는 훈련된 경북대학교 대학생 및 대학원생 15명(남: 7명, 여: 8명)을 대상으로 실시하였으며, 각 마요네즈와 동반 시료로 무미의 크래커(IVY, Haitai Co., Ltd., Seoul, Korea)를 함께 제시하였다. 평가항목은 외관

(appearance), 향(smell), 맛(taste), 조직감(texture), 전반적인 기호도(overall acceptability)로 나누어 7점 척도법을 기준으로 절대평가 하도록 하였다. 본 관능평가는 경북대학교 생명윤리심의위원회에서 면제 승인(approval number: KNU-2021-0193)을 받고 안전하게 진행하였다.

2.9. 통계처리

모든 실험은 3회 이상 반복 측정하여 결과는 평균값±표준편차로 나타내었다. SPSS software package(version 26, IBM Corp., Armonkm, NY, USA) 프로그램을 이용하여 분산분석(ANOVA)과 Duncan의 다중범위검정(Duncan's multiple range test)을 실시하였다($p < 0.05$).

3. 결과 및 고찰

3.1. 아쿠아파바의 품질 특성

초음파 처리 시간을 달리한 아쿠아파바의 품질 특성 결과는 Table 2와 같다. 수분함량은 초음파를 처리하지 않은 아쿠아파바가 94.07%로 가장 높았고, 초음파 처리 시간을 달리한 아쿠아파바의 수분함량은 93.86-94.04%로 초음파를 처리하지 않은 시료보다 낮았다. 이는 초음파 처리를 통한 아쿠아파바의 단백질 용해도가 증가함으로 수분함량이 감소하는 경향을 나타낸 것으로 사료된다. Shim 등(2018)의 연구에서 10가지 종류 병아리콩 통조림의 아쿠아파바를 분석한 결과, 아쿠아파바의 수분함량은 93.60%에서 95.10% 범위로 보고하였다.

단백질 용해도는 단백질의 응집에 가장 중요한 요소 중 하나로, 유화와 같은 단백질 기능적 특성의 지표이다(Dong 등, 2019). 단백질 용해도는 초음파 처리를 하지 않은 시료가 1,706.97 mg/mL로 가장 낮았고, 초음파 처리 시간이 증가함에 따라 단백질 용해도 값이 유의적으로 증가하였다. Meurer 등(2020)의 연구 결과에서는 초음파 처리 시간 및 세기는 아쿠아파바의 단백질 용해도에 유의적인 영향을 주지 못하였다. 하지만 본 연구에서는 아쿠아파바와 병아리콩을 함께 초음파 처리를 하였기 때문에, 병아리콩의 단백질이 더욱 용출되어 초음파 처리 시간에 따라 아쿠아파바의 단백질 용해도가 증가한 것으로 사료된다.

단백질은 기름-물 계면의 장력을 낮추고 흡착 층을 형성

하여 기름방울의 응집을 제어할 수 있으며, 이러한 능력은 유화 특성을 부여한다(Hou 등, 2017). 유화 활성 지수는 초음파를 처리하지 않은 시료가 74.80%이었고, 30분 처리한 시료가 75.40%로 가장 높았으며, 처리 시간이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다($p < 0.05$). 초음파를 60분, 90분 처리한 시료의 유화 활성 지수 값은 처리하지 않은 시료보다 값이 낮았다. 초음파 처리 시간이 증가함에 따라 아쿠아파바의 단백질 용해도는 증가하였지만, 초음파를 60분 이상 처리한 시료의 유화 활성에는 영향을 주지 않았다. 본 연구와 유사한 결과로 Huang 등(2020)의 연구에서 초음파 처리 시간이 증가함에 따라 분리대두단백질의 단백질 용해도를 향상시킬 수 있었지만, 유화 활성에는 큰 영향을 주지 못하였다($p > 0.05$). 초음파 전처리된 단백질은 새로운 구조 형성으로 단백질과 지질 사이의 상호작용을 향상시킬 수 있으나(Bandyopadhyay 등, 2008), 과도한 초음파 처리 시간을 통하여 유도된 아쿠아파바의 가용성 단백질 응집체는 지질과 단백질 사이의 약한 상호작용으로 유화 활성의 향상에 기여하지 못한 것으로 판단된다. 열 안정성 지수 또한 초음파를 30분 처리한 시료가 75.34%로 높은 편이었지만, 다른 시료들과 유의적인 차이는 나타나지 않았으며, 초음파를 처리하지 않은 시료보다 처리 시간이 60분 이상인 시료들의 값이 낮아지는 경향을 나타내었다.

아쿠아파바의 점도는 초음파 처리 시간이 증가함에 따라 유의적으로 값이 감소하는 경향을 나타내었다. 초음파를 처리하지 않은 시료의 점도 값이 16.70 cP이었고, 초음파를 90분 처리한 시료의 점도는 처리하지 않은 시료의 값보다 약 27.50% 감소하였다. 이러한 결과는 초음파 처리를 달리한 두유의 점도가 감소한 연구 결과(Branch, 2011)와 일치하였다. 초음파 처리와 같은 음향 공동 현상(acoustic cavitation) 동안에는 액체 매질이 전단과 난류를 포함하는 힘을 받게 되며, 이는 브라운 운동(Brownian motion)에 의한 파괴와 단백질 또는 단백질과 지질 사이의 약한 결합을 초래한다(Shao 등, 2011). 음향 공동 현상 동안에 생성된 물리적 힘에 의하여 점도가 감소하며(Ashokkumar 등, 2009), 따라서 초음파 처리 시간이 증가함에 따라 아쿠아파바의 점도가 감소한 것으로 판단된다.

pH는 초음파 처리 시간에 따라 유의적인 차이를 나타내었다. 초음파를 처리하지 않은 시료는 6.28로 가장 낮았으

며, 초음파 처리 시간이 증가할수록 높은 값의 pH를 보였다. 이러한 결과는 초음파 처리 시간에 따른 아쿠아파바의 단백질 용해도가 증가함에 따라 pH가 증가하는 것으로 판단된다. 수용성 단백질을 첨가한 아로니아 착즙액(Park 등, 2020)의 연구에서, 단백질 첨가량이 증가함에 따라 아로니아 착즙액의 pH가 증가한 연구 결과는 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다.

색도에서 명도를 나타내는 L^* 값은 초음파 처리를 함으로 값이 낮아지는 경향을 나타내었으며, 이는 초음파 처리를 통하여 아쿠아파바의 밝기가 낮아지는 것을 의미한다. 또한, 초음파 처리 시간이 증가함에 따라 L^* 값이 감소하다가 ($p < 0.05$), 초음파를 90분 처리 시 값이 증가하여 초음파를 처리하지 않은 시료의 값과 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 적색도를 나타내는 a^* 값은 초음파를 처리함으로써 유의적으로 값이 감소하였다. L^* 값과 유사한 결과로 초음파 처리 시간에 따라 a^* 값이 감소하다가 처리 시간 90분에서 값이 증가하였다. 황색도를 나타내는 b^* 값은 초음파를 처리하지 않은 시료가 가장 높았고, 초음파를 처리한 시료의 값이 유의적으로 감소하였다. 초음파를 30분 처리한 시료의 b^* 값이 7.98로 가장 낮았고, 초음파 시간이 증가함에 따라 값이 증가하는 경향을 나타내었다. 초음파 처리 시간은 아쿠아파바의 색도 변화에 영향을 주었다.

3.2. 마요네즈의 미세구조 및 외관 관찰

달걀의 난황을 사용한 대조구 마요네즈와 초음파 처리 시간에 따른 아쿠아파바를 사용한 식물성 마요네즈의 미세구조 결과와 외관 촬영 사진은 Fig. 1과 같다. 마요네즈의 미세구조는 유화물을 형성하는 데 사용되는 유화제의 유형 및 농도, 제조 방법 등 다양한 요인에 의하여 결정된다 (Mun 등, 2009). 마요네즈의 미세구조 분석을 통하여 대조구 마요네즈 및 식물성 마요네즈 모두 수상 매질에 미세하게 분산된 구형 오일 방울로 구성되어 있음을 확인할 수 있었다. 대조구 마요네즈는 상당히 작은 오일 방울로 구성되어 미세하게 분산되고, 고르게 분포된 미세구조를 나타내었다. 아쿠아파바를 사용한 식물성 마요네즈는 대조구 마요네즈보다 비교적 큰 오일 방울을 나타내었으며, 오일 방울의 균질성이 더 낮은 것으로 관찰되었다. 이러한 결과는 동결 건조 및 분무 건조한 아쿠아파바 분말을 사용하여 제조한 마요네즈와 달걀 난황으로 제조한 마요네즈의 미세구조를 비교한 He 등(2021)의 연구와 유사한 결과를 보였다. 아쿠아파바의 초음파 처리 시간이 증가함에 따라 식물성 마요네즈의 오일 방울의 직경이 감소하였고 비교적 균일해지는 경향을 확인할 수 있었다. Xiong 등(2018)의 연구 결과에서 초음파 처리 후 분리완두단백질의 거품 입자 크기를 감소시켰고 더욱 균일한 구조를 나타내었으며, Martínez-Velasco

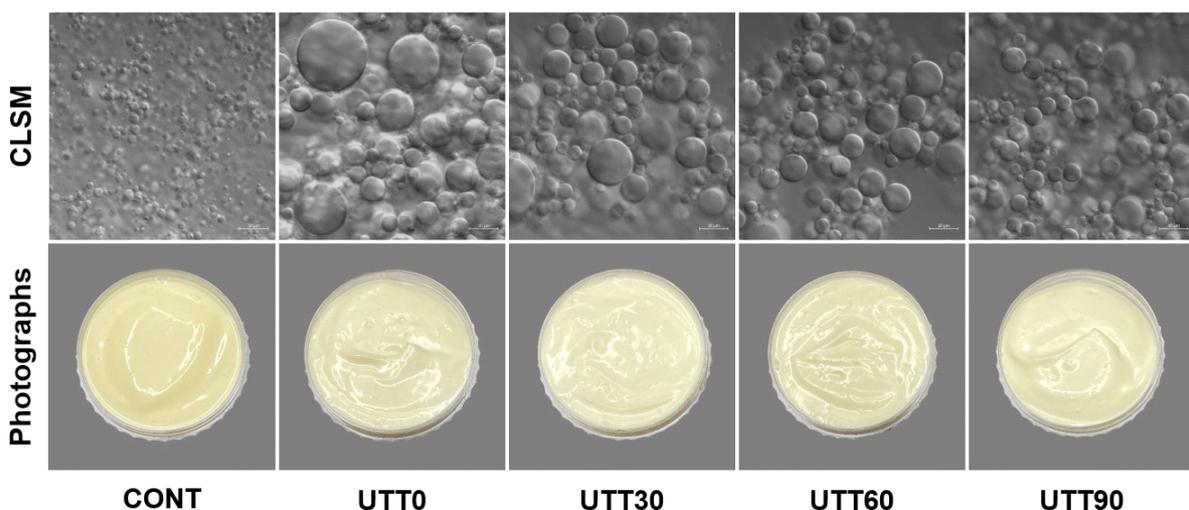


Fig. 1. Confocal laser scanning micrographs (CLSM, magnification $\times 800$) and photographs of mayonnaise and plant-based mayonnaise using aquafaba with different ultrasonic treatment time (UTT). In the codes listed for formula; CONT stands for mayonnaise using egg yolk; UTT0, UTT30, UTT60, and UTT90 stand for plant-based mayonnaise using aquafaba with 0 min, 30 min, 60 min, and 90 min of different ultrasonic treatment time.

등(2018)의 연구 결과에서도 고강도의 초음파 처리를 통하여 잠두(faba bean) 단백질 거품의 평균 직경이 364 μm 에서 190 μm 로 감소하여 본 연구와 유사한 경향을 나타내었다. 초음파 처리에 따른 아쿠아파바의 구조 변형으로 단백질과 지질 사이의 결합에 영향을 주었고, 이는 식물성 마요네즈의 유화 및 품질 특성에 영향을 준 것으로 판단된다.

마요네즈의 외관은 대조구 마요네즈가 식물성 마요네즈보다 진한 노란색을 띠는 것을 확인할 수 있었다. 아쿠아파바의 초음파 처리 시간에 따른 식물성 마요네즈들의 색상은 뚜렷한 차이를 나타내지 않으며, 물리적 특성에서는 점도를 제외한 응집력과 점착성은 유의적인 차이가 없었다(Table 3).

3.3. 마요네즈의 유화 안정성 및 열 안정성

달걀의 난황을 사용한 대조구 마요네즈와 초음파 처리 시간에 따른 아쿠아파바를 사용한 식물성 마요네즈의 유화 안정성의 결과는 Fig. 2(A)와 같다. 마요네즈와 같은 유화 식품의 품질을 유지하기 위해서는 유화 안정성이 중요하며, 유화 안정성은 유화물에 가해지는 압력, 진동, 온도 변화 및 유화제의 농도와 종류 등에 영향을 받는다(Park과 Kim, 2011; Yang과 Han, 2002). 대조구 마요네즈의 유화 안정성은 87.57%이었고, 식물성 마요네즈의 유화 안정성은 77.88-81.30% 범위이었으며, 대조구 마요네즈보다 식물성 마요네즈가 약 7-11% 더 낮은 유화 안정성을 보였다.

식물성 마요네즈 중 초음파 처리를 하지 않은 UTT0의 유화 안정성은 79.80%이었고, UTT30의 유화 안정성은 81.30%로 유의적으로 증가하였다. 초음파 처리가 60분 이상의 아쿠아파바를 사용한 UTT60과 UTT90의 유화 안정성은 초음파 처리를 하지 않은 UTT0의 값보다 감소하는 경향을 나타내었다($p < 0.05$). 초음파 처리에 따른 아쿠아파바(Meurer 등, 2020)의 연구에서 10분에서 30분까지 초음파 처리 시간이 증가함에 따라 아쿠아파바 유화물의 유화 안정성이 증가하였으며, 이는 초음파 처리의 영향으로 아쿠아파바의 부분 변성 및 무질서한 구조가 기름-물 계면에서 더 나은 흡착을 제공하여 유화 안정성을 증가시킬 수 있었다고 보고하였다. 초음파 처리된 단백질은 일반적으로 높은 소수성을 나타내어 액적 계면에서 흡착 능력을 향상시켜 유화 능력을 증가시키지만(YanJun 등, 2014), 과도한 초음파 처리에 따른 아쿠아파바를 사용하여 제조한 식물성 마요네즈는 단백질과 지질 사이의 약한 상호작용으로 유화 안정성이 감소한 것으로 판단된다.

대조구 마요네즈와 초음파 처리 시간에 따른 아쿠아파바를 사용한 식물성 마요네즈의 열 안정성의 결과는 Fig. 2(B)와 같다. 마요네즈와 같은 수중유(O/W) 유화 시스템은 온도의 상승으로 파괴되어 기름의 삼출이 발생되며, 따라서 마요네즈의 유화 안정성은 고온에 의하여 저하된다(Huang 등, 2016). 모든 마요네즈의 열 안정성은 유화 안정성보다

Table 3. Texture profile analysis, viscosity, pH, and Hunter's color value of mayonnaise, and plant-based mayonnaise using aquafaba with different ultrasonic treatment time (UTT)

Samples	Cohesiveness (%)	Gumminess (gf)	Viscosity (cP)	pH	Color value		
					L*	a*	b*
CONT ¹⁾	90.53±8.80 ³⁾	8.35±1.36 ³⁴⁾	9,260.00±17.32 ^a	3.53±0.02 ^b	85.83±0.22 ^c	-4.40±0.05 ^c	21.89±0.13 ^c
UTT0 ²⁾	98.37±4.52	16.35±0.79 ^b	26,340.00±182.48 ^c	3.44±0.01 ^a	85.23±0.17 ^b	-4.61±0.04 ^a	17.23±0.17 ^b
UTT30	96.03±3.78	16.26±2.02 ^b	24,450.00±2,363.73 ^c	3.46±0.02 ^a	84.67±0.42 ^a	-4.49±0.04 ^b	17.32±0.10 ^b
UTT60	91.07±1.72	13.67±1.10 ^b	21,640.00±1,271.85 ^b	3.46±0.02 ^a	84.44±0.23 ^a	-4.44±0.01 ^{bc}	16.79±0.09 ^a
UTT90	86.57±1.17	15.17±1.76 ^b	20,010.00±1,841.77 ^b	3.45±0.01 ^a	84.71±0.13 ^a	-4.42±0.01 ^c	16.93±0.21 ^a
F-value	2.837 ^{NS}	15.246 ^{****}	62.600 ^{****}	14.225 ^{****}	14.258 ^{****}	17.534 ^{****}	648.292 ^{****}

¹⁾CONT stands for mayonnaise using egg yolk.

²⁾UTT0, UTT30, UTT60, and UTT90 stand for plant-based mayonnaise using aquafaba with 0 min, 30 min, 60 min, and 90 min of different ultrasonic treatment time.

³⁾Color values are mean±SD (n=5); The others are mean±SD (n=3).

⁴⁾Different superscript letters indicate significant difference ($p < 0.05$) between values in the same column.

**** significant at $p < 0.0001$, ^{NS}not significant.

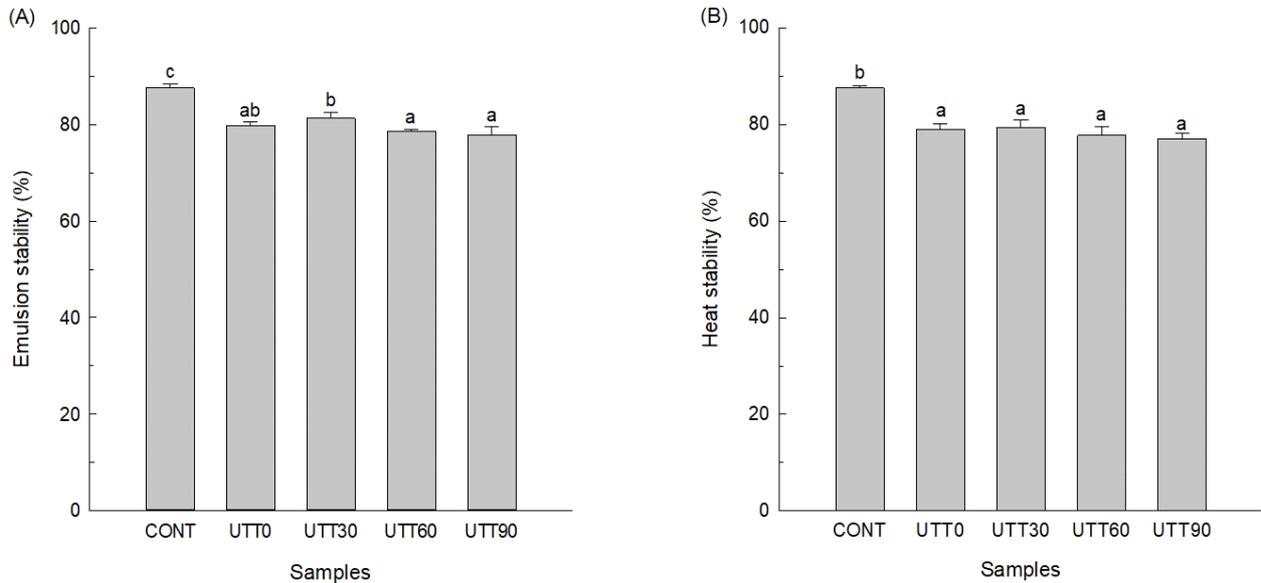


Fig. 2. Emulsion stability (A) and heat stability (B) of mayonnaise, and plant-based mayonnaise using aquafaba with different ultrasonic treatment time (UTT). In the codes listed for formula; CONT stands for mayonnaise using egg yolk; UTT0, UTT30, UTT60, and UTT90 stand for plant-based mayonnaise using aquafaba with 0 min, 30 min, 60 min, and 90 min of different ultrasonic treatment time. Values are mean \pm SD (n=3). Different superscript letters indicate significant difference ($p < 0.05$) between samples.

낮은 것을 확인할 수 있었으며, 대조구 마요네즈의 열 안정성은 87.53%로 가장 높았고, 식물성 마요네즈들과 유의적인 차이를 나타내었다($p < 0.05$). 식물성 마요네즈의 열 안정성은 77.10~79.31% 범위이었으며, 식물성 마요네즈 중 UTT30의 값이 높은 편이었지만 초음파 처리 시간에 따른 유의적인 차이는 나타나지 않았다.

3.4. 마요네즈의 조직감

달걀의 난황을 사용한 대조구 마요네즈와 초음파 처리 시간에 따른 아쿠아파바를 사용한 식물성 마요네즈의 조직감 결과는 Table 3에 나타내었다. 응집력은 내부 구조를 붕괴하는 데 있어 어려움의 정도를 측정하는 것이며(Wolf 등, 1989), 마요네즈의 내부 결합의 강도와 파괴되기 전에 변형될 수 있는 정도를 나타낸다(Raikos 등, 2020). 응집력 값은 대조구 마요네즈가 90.53%이었고 식물성 마요네즈들은 86.57~98.37%로 사용한 아쿠아파바의 초음파 처리 시간이 증가할수록 값이 감소하였다. 모든 마요네즈 시료 간에 유의적인 차이가 없었지만, 초음파를 90분 처리한 UTT90의 응집력값은 대조구 마요네즈보다 낮아졌다. 점착성은 반고체 식품을 삼키기 위한 상태가 될 때까지 분해하

는데 필요한 힘이며(Chen과 Opara, 2013), 대조구 마요네즈와 비교하여 식물성 마요네즈들의 점착성은 1.6배 이상 값이 높았다($p < 0.05$). 초음파 처리 시간이 증가함에 따른 식물성 마요네즈의 점착성 값은 감소하는 경향을 나타내었지만 유의적인 차이는 없었다.

3.5. 마요네즈의 점도, pH 및 색도

달걀의 난황을 사용한 대조구 마요네즈와 초음파 처리 시간에 따른 아쿠아파바를 사용한 식물성 마요네즈의 점도, pH, 색도를 측정하는 값은 Table 3에 나타내었다. 점도는 대조구 마요네즈가 9,260.00 cP로 가장 낮았고, 식물성 마요네즈의 점도가 대조구 마요네즈보다 값이 2배 이상 높았다. 식물성 마요네즈 중 초음파를 처리하지 않은 UTT0의 점도가 26,340.00 cP로 가장 높았으며, 초음파 처리 시간이 증가함에 따라 식물성 마요네즈의 점도가 감소하는 경향을 나타내었다. 초음파 처리 시간에 따른 아쿠아파바의 점도가 유의적으로 감소하였고, 이러한 결과는 식물성 마요네즈의 점도에 영향을 준 것으로 판단된다. 이는 분자 내 유동성이 감소하여 분산된 오일 입자가 이동하려는 경향이 증가함으로써 점도가 낮아졌다고 사료된다. 마요네즈의 점도는 유화

및 물리적 품질 특성을 결정하는 주요 요인 중 하나이며, 점도가 증가함에 따라 마요네즈의 유화 안정성이 증가하는 것으로 알려져 있다(Lee, 1986; Park과 Lee, 2009). 이러한 연구 결과는 본 연구의 초음파 처리에 따른 아쿠아파바를 사용한 식물성 마요네즈의 점도와 유화 안정성 사이에는 유사한 경향을 나타내었지만, 대조구 마요네즈의 점도와 유화 안정성과는 상반된 결과를 나타내었다.

pH는 대조구 마요네즈가 3.53으로 가장 높았고, 식물성 마요네즈 시료들과 비교하여 유의적으로 pH가 높았다. 아쿠아파바의 초음파 처리 시간이 증가함에 따른 식물성 마요네즈의 pH는 3.44-3.46 범위였으며, 시료군 간 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 초음파 처리 시간에 따른 아쿠아파바의 pH가 유의적으로 증가하였지만, 식물성 마요네즈의 pH에는 영향을 주지 못하였다. 시중에 유통되는 마요네즈의 pH는 4.5 정도로 보고되어 있으며(Song 등, 2013), 본 연구에서 제조된 식물성 마요네즈는 시중에 유통 중인 마요네즈보다 낮은 pH를 나타내었다.

색도에서 L^* 값은 대조구 마요네즈가 85.83으로 가장 높았고 식물성 마요네즈들의 L^* 값은 대조구 마요네즈보다 유의적으로 낮음으로 관능적으로 다소 어두운 느낌을 줄 수 있다고 판단된다. 식물성 마요네즈 중 초음파를 처리하지 않은 UTT0의 L^* 값이 85.23으로 유의적으로 높았고, 아쿠아파바에 초음파를 처리함으로 마요네즈의 L^* 값이 감소하였지만, 초음파를 처리한 마요네즈 시료 간에 유의적인 차이는 없었다. a^* 값은 모든 마요네즈 시료구에서 음의 값을

나타내었으며, 대조구 마요네즈의 값은 -4.40으로 나타났다. 아쿠아파바의 초음파 처리 시간이 증가함에 따라 식물성 마요네즈의 a^* 값이 증가하는 경향을 확인할 수 있었으며, UTT90의 값이 -4.42로 대조구 마요네즈의 값과 유사하였다. b^* 값은 대조구 마요네즈가 21.89로 가장 높았고, 식물성 마요네즈들의 값은 16.79-17.32 범위로 유의적으로 낮게 나타났으며, 이는 대조구 마요네즈가 비교적 진한 황색인 것을 의미하고, 마요네즈의 외관 촬영 사진(Fig. 1)에서도 확인할 수 있었다. 식물성 마요네즈 중 초음파 처리 시간이 60분 이상의 아쿠아파바를 사용한 식물성 마요네즈들의 b^* 값이 감소하는 경향을 나타내었다. 난황을 사용한 대조구 마요네즈와 아쿠아파바를 사용한 마요네즈를 비교하여 모든 색도 값에서 유의적인 차이가 있었으며, 이와 같은 결과는 관능적인 품질에도 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

3.6. 마요네즈의 관능평가

달걀의 난황을 사용한 대조구 마요네즈와 초음파 처리 시간에 따른 아쿠아파바를 사용한 식물성 마요네즈의 관능평가 결과는 Table 4와 같다. 외관 기호도는 마요네즈 시료군 간 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 식물성 마요네즈와 비교하여 대조구 마요네즈의 색도가 밝고 진한 황색을 나타내었고, 아쿠아파바의 초음파 처리 시간이 증가함에 따른 식물성 마요네즈의 L^* , b^* 값이 감소하였고, a^* 값이 증가하는 경향을 나타내었지만, 외관 기호도에 큰 영향을 주지

Table 4. Sensory scores of mayonnaise, and plant-based mayonnaise using aquafaba with different ultrasonic treatment time (UTT)

Samples	Appearance	Smell	Taste	Texture	Overall acceptability
CONT ¹⁾	4.73±1.71 ³⁾	4.60±1.18	4.67±1.05	4.67±1.45	4.27±1.10 ^{a4)}
UTT0 ²⁾	5.67±1.18	5.40±1.24	5.67±1.40	5.73±0.96	6.27±0.70 ^c
UTT30	5.53±1.30	5.00±1.07	5.00±1.31	5.20±0.86	5.40±0.83 ^b
UTT60	5.87±0.99	4.93±1.22	5.07±1.53	5.40±1.06	5.40±0.91 ^b
UTT90	5.67±1.11	4.87±1.13	5.00±1.20	5.40±1.12	5.40±0.91 ^b
F-value	1.776 ^{NS}	0.915 ^{NS}	1.159 ^{NS}	1.886 ^{NS}	9.364 ^{****}

¹⁾CONT stands for mayonnaise using egg yolk.

²⁾UTT0, UTT30, UTT60, and UTT90 stand for plant-based mayonnaise using aquafaba with 0 min, 30 min, 60 min, and 90 min of different ultrasonic treatment time.

³⁾Values are mean±SD (n=15).

^{4)a-c}Values with different superscript letters in the same column indicate significant difference at p<0.05.

**** significant at p<0.0001, ^{NS}not significant.

Rating scale: 1 (bad) ↔ 7 (good).

못하였다고 판단된다. 향 기호도에서는 대조구 마요네즈가 4.60으로 점수가 가장 낮았고, 아쿠아파바의 초음파 처리 시간이 증가함에 따라 식물성 마요네즈의 기호도가 감소하는 경향을 나타내었지만 모든 시료구 간 유의적인 차이는 없었다. 맛 기호도 또한 유의적 차이가 없었지만, 대조구 마요네즈가 4.67로 가장 낮았고, 식물성 마요네즈들의 점수가 대조구 마요네즈보다 높은 편으로 나타났다. 질감 기호도에서는 점착성과 점도가 유의적으로 가장 낮은 대조구 마요네즈의 점수가 4.67로 가장 낮은 편이었고, 응집력, 점착성 및 점도가 가장 높은 UTT0의 질감 기호도가 5.73으로 높은 편이었다. 하지만, 마요네즈 시료구 간에 유의적 차이가 없으므로 관능평가에서 패널들이 질감의 차이를 인식하지 못하였고, 응집력, 점착성 및 점도 값이 질감 기호도에 영향을 주지 못하였다. 전체적인 기호도는 초음파를 처리하지 않은 UTT0이 6.27로 가장 높았고, 대조구 마요네즈의 점수가 4.27로 가장 낮았으며, 식물성 마요네즈의 점수는 5.40-6.27 범위로 대조구 마요네즈보다 유의적으로 점수가 높았다. 아쿠아파바의 초음파를 처리한 식물성 마요네즈 시료구 간에는 유의적 차이가 없었다. 전반적으로 대조구 마요네즈와 비교하여 식물성 마요네즈의 관능평가 점수가 높은 편으로 나타났으며, 전체적인 기호도는 식물성 마요네즈 시료구들의 점수가 높게 평가되었다.

4. 요약

본 연구에서는 고강도의 초음파 처리 시간에 따른 아쿠아파바 및 이를 유화제로 사용한 식물성 마요네즈의 유화 특성 및 품질 특성을 분석하였고 난황을 사용한 대조구 마요네즈와 비교하였다. 이를 통하여 아쿠아파바와 식물성 마요네즈의 유화 안전성 및 품질에 초음파 처리가 미치는 영향을 확인하고자 하였다. 주파수 40 kHz 및 200 W 출력의 초음파를 30분 처리하였을 때, 아쿠아파바와 식물성 마요네즈(UTT30)의 유화 안정성에 긍정적인 영향을 주었다. 초음파 처리 시간이 증가함에 따라 아쿠아파바의 단백질 용해도가 유의적으로 증가하였지만, 식품 유화제로서 중요한 유화 특성에는 영향을 주지 못하였다. 유화 특성에 중요한 요소인 단백질 용해도가 증가함에도 불구하고, 과도한 초음파 처리로 인하여 아쿠아파바의 단백질 응집체가 지질과 단백

질 사이의 약한 상호작용으로 유화 활성 지수가 감소한 것으로 판단하였다. 또한, 초음파 처리는 공동 현상으로 전단과 난류를 발생하여 아쿠아파바의 단백질과 지질 사이의 약한 결합을 초래하여 초음파 처리 시간에 따라 점도가 감소하였으며, 이러한 결과들은 식물성 마요네즈에 직접적인 영향을 주었다. 마요네즈의 미세구조는 수상 매질에 분산된 구형 오일 방울로 구성되어 있었고, 식물성 마요네즈는 대조구보다 오일 방울이 크고 균질성이 낮았으며, 초음파 처리 시간에 따른 식물성 마요네즈의 오일 방울 직경은 감소하고 균일해지는 경향을 공초점 레이저 주사 현미경을 통하여 확인하였다. 초음파 처리 시간이 증가함에 따라 식물성 마요네즈의 점도 값이 감소하였으며, 점도가 감소함에 따라 낮은 유화 안정성 경향을 보였다. 마요네즈의 유화 안정성은 대조구보다 식물성 마요네즈의 값이 7-11% 낮았고, 식물성 마요네즈 중에서 UTT30의 유화 안정성이 유의적으로 가장 높았으며, UTT60과 UTT90의 값이 가장 낮았다. 식물성 마요네즈의 응집력, 점착성 및 점도는 대조구보다 높은 경향을 나타내었지만, 마요네즈의 물리적 특성은 관능평가의 질감 기호도에 영향을 주지 못하였다. 전체적 기호도에서는 대조구 마요네즈와 비교하여 식물성 마요네즈의 값이 유의적으로 높았다. 따라서, 마요네즈의 난황 대체 유화제로 초음파를 30분 처리한 아쿠아파바의 이용 가능성을 기대할 수 있을 것으로 사료된다. 반면에, 본 연구에서는 아쿠아파바와 달걀 난황의 수분함량은 고려하였으나, 고형분 함량이 고려되지 않아 UTT30의 유화 안정성이 대조구 마요네즈보다 낮게 나타났다고 판단된다. 추가적인 연구에서는 동일한 고형분 함량의 아쿠아파바와 난황으로 마요네즈의 유화 안정성 및 저장성에 대한 연구를 수행하고자 한다. 이러한 연구를 통하여 건강, 환경 문제, 동물윤리에 대한 소비자의 요구를 충족시킬 수 있으며, 기존의 동물성 유화제를 대체함으로 식물성 가공식품에 대한 기초 연구 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 농식품수출비즈니스전략모델 구축사업의 의성마늘을 이용한 중국 수출용 고부가가치 소스 개발 과제(과제번호: 319087-3)에 의해 이루어진 것이

며, 그 지원에 감사드립니다.

Conflict of interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

Author contributions

Conceptualization: Kim JS, Moon KD. Formal analysis: Kim JS, Kim JY. Methodology: Jeong SU, Kim MH, Park SH, Kim IS, Nam IJ, Park JY. Validation: Kim JS, Kim JY. Writing - original draft: Kim JS. Writing - review & editing: Kim JY, Moon KD.

Ethics approval

The sensory evaluation of this research was safely carried out with the approval of exemption (No. KNU-2021-0193) from the IRB of Kyungpook National University.

ORCID

Jungsoo Kim (First author)

<https://orcid.org/0000-0002-2952-1067>

Jiyeon Kim

<https://orcid.org/0000-0002-7995-360X>

Saeul Jeong

<https://orcid.org/0000-0002-2972-0461>

Minhyun Kim

<https://orcid.org/0000-0002-3754-2503>

Sanghyeok Park

<https://orcid.org/0000-0002-3362-5272>

Insun Kim

<https://orcid.org/0000-0002-7028-4833>

Inju Nam

<https://orcid.org/0000-0001-6300-9107>

Junyeong Park

<https://orcid.org/0000-0001-5325-7588>

Kwang-Deog Moon (Corresponding author)

<https://orcid.org/0000-0001-5277-3345>

References

- Ahmed J, Ramaswamy HS, Kasapis S, Boye JI. Novel Food Processing: Effects on Rheological and Functional Properties. Taylor & Francis Group, FL, USA, p 65-82 (2009)
- Armaforte E, Hopper L, Stevenson G. Preliminary investigation on the effect of proteins of different leguminous species (*Cicer arietinum*, *Vicia faba* and *Lens culinaris*) on the texture and sensory properties of egg-free mayonnaise. LWT-Food Sci Technol, 136, 110341 (2021)
- Arzeni C, Martinez K, Zema P, Arias A, Perez OE, Pilosof AMR. Comparative study of high intensity ultrasound effects on food proteins functionality. J Food Eng, 108, 463-472 (2012)
- Ashokkumar M, Lee J, Zisu B, Bhaskarcharya R, Palmer M, Kentish S. Hot topic: Sonication increases the heat stability of whey proteins. J Dairy Res, 92, 5353-5356 (2009)
- Awad TS, Moharram HA, Shaltout OE, Asker DYMM, Youssef MM. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. Food Res Int, 48, 410-427 (2012)
- Bandyopadhyay L, Misra G, Ghosh S. Preparation and characterisation of protein hydrolysates from Indian defatted rice bran meal. J Oleo Sci, 57, 47-52 (2008)
- Chen L, Opara UL. Approaches to analysis and modeling texture in fresh and processed foods: A review. J Food Eng, 119, 497-507 (2013)
- Clack R, Lee SH. Anticancer properties of capsaicin against human cancer. Anticancer Res, 36, 837-844 (2016)
- Depree JA, Savage GP. Physical and flavour stability of mayonnaise. Trends Food Sci Tech, 12, 157-163 (2001)
- Dong ZY, Li MY, Tian G, Zhang TH, Ren H, Quek SY. Effects of ultrasonic pretreatment on the structure and functionality of chicken bone protein prepared by enzymatic method. Food

- Chem, 299, 125103 (2019)
- Fahmi R, Khodaiyan F, Pourahmad R, Emam-Djomeh Z. Effect of ultrasound assisted extraction upon the protein content and rheological properties of the resultant soymilk. *Adv J Food Sci Technol*, 3, 245-249 (2011)
- Feng H, Barbosa-Canovas GV, Wiess J. *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*. Springer, NY, USA, p 65-80 (2011)
- Grasso N, Lynch NL, Arendt EK, OMahony JA. Chickpea protein ingredients: A review of composition, functionality, and applications. *Compr Rev Food Sci F*, 21, 435-452 (2021)
- He Y, Meda V, Reaney MJ, Mustafa R. Aquafaba, a new plant-based rheological additive for food applications. *Trends Food Sci Tech*, 111, 27-42 (2021)
- He Y, Purdy SK, Tse TJ, Taran B, Meda V, Reaney MJT, Mustafa R. Standardization of aquafaba production and application in vegan mayonnaise analogs. *Foods*, 10, 1978 (2021)
- Hou F, Ding W, Qu W, Oladejo AO, Xiong F, Zhang W, He R, Ma H. Alkali solution extraction of rice residue protein isolates: Influence of alkali concentration on protein functional, structural properties and lysinoalanine formation. *Food Chem*, 218, 207-215 (2017)
- Huang L, Wang T, Han Z, Meng Y, Lu X. Effect of egg yolk freezing on properties of mayonnaise. *Food Hydrocolloids*, 56, 311-317 (2016)
- Huang L, Zhang W, Ding X, Wu Z, Li Y. Effects of dual-frequency ultrasound with different energy irradiation modes on the structural and emulsifying properties of soy protein isolate. *Food Bioprod Process*, 123, 419-426 (2020)
- Kentish S, Ashokkumar M. The physical and chemical effects of ultrasound. In: *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*. Springer, NY, USA p 1-12 (2011)
- Knorr D, Zenker M, Heinz V, Lee DU. Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends Food Sci Tech*, 15, 261-266 (2004)
- Kwon TE, Lee JP. Quality characteristics of vegan mayonnaise using sunflower lecithin. *Culi Sci & Hos Res*, 27, 95-104 (2021)
- Lafarga T, Villaro S, Bobo G, Aguilo-Aguayo I. Optimisation of the pH and boiling conditions needed to obtain improved foaming and emulsifying properties of chickpea aquafaba using a response surface methodology. *Int J Gastro Food Sci*, 18, 100177 (2019)
- Lee YN, Jang HJ, Choi YW, Choi YS, Oh JE. A study on the consumer perception and importance-performance analysis of the vegetarian meal-kit development. *The Korea Contents Society*, 21, 324-355 (2021)
- Lee YY. Studies on the viscometric behavior of mayonnaise. *J Korean Food Sci Nutr*, 15, 119-127 (1986)
- Li CY, Kim HW, Li H, Lee DC, Rhee HI. Antioxidative effect of purple corn extracts during storage of mayonnaise. *Food Chem*, 152, 592-596 (2014)
- Martinez-Velasco A, Lobato-Calleros C, Hernandez-Rodriguez BE, Roman-Guerrero A, Alvarez-Ramirez J, Vernon-Carter EJ. High intensity ultrasound treatment of faba bean (*Vicia faba* L.) protein: Effect on surface properties, foaming ability and structural changes. *Ultrason Sonochem*, 44, 97-105 (2018)
- Meurer MC, de Souza D, Marczak LDF. Effects of ultrasound on technological properties of chickpea cooking water (aquafaba). *J Food Eng*, 265, 109688 (2020)
- Mirzanajafi-Zanjani M, Yousefi M, Ehsani A. Challenges and approaches for production of a healthy and functional mayonnaise sauce. *Food Sci Nutr*, 7, 2471-2484 (2019)
- Moros JE, Franco JM, Gallegos C. Rheological properties of cholesterol-reduced, yolk-stabilized mayonnaise. *J AM Oil Chem Soc*, 79, 837-843 (2002)
- Mun S, Kim YL, Kang CG, Park KH, Shim JY, Kim YR. Development of reduced-fat mayonnaise using 4α GTase-modified rice starch and xanthan gum. *Int J Biol Macromol*, 44, 400-407 (2009)

- Mustafa R, He Y, Shim YY, Reaney MJ. Aquafaba, wastewater from chickpea canning, functions as an egg replacer in sponge cake. *Int J Food Sci Technol*, 53, 2247-2255 (2018)
- Nikzade V, Tehrani MM, Saadatmand-Tarzjan M. Optimization of low-cholesterol-low-fat mayonnaise formulation: Effect of using soy milk and some stabilizer by a mixture design approach. *Food Hydrocolloids*, 280, 344-352 (2012)
- Odonnell CP, Tiwari BK, Bourke P, Cullen PJ. Effect of ultrasonic processing on food enzymes of industrial importance. *Trends Food Sci Technol*, 21, 358-367 (2010)
- Palacios Le, Wang T. Egg-yolk lipid fractionation and lecithin characterization. *J AM Oil Chem Soc*, 82, 571-578 (2005)
- Park GS, Kim JY. Quality characteristics of mayonnaise dressing added with chitooligosaccharide. *J Chitin Chitosan*, 16, 183-190 (2011)
- Park HD, Lee SS. Comparison of storage stability between soy milk mayonnaise and mayonnaise contained soybean paste powder. *J Fd Hyg Safety*, 24, 247-255 (2009)
- Park JH, Cho YS, Hwang Y, Kim KM, Jang HW, Kim H. Quality characteristics of aronia juice by adding water-soluble protein. *Culi Sci & Hos Res*, 12, 187-196 (2020)
- Raikos V, Hayes H, Ni H. Aquafaba from commercially canned chickpeas as potential egg replacer for the development of vegan mayonnaise: Recipe optimisation and storage stability. *Int J Food Sci Tech*, 55, 1935-1942 (2020)
- Rosenfeld DL, Burrow AL. The unified model of vegetarian identity: A conceptual framework for understanding plant-based food choices. *Appetite*, 112, 78-95 (2017)
- Ruby MB. Vegetarianism. A blossoming field of study. *Appetite*, 58, 141-150 (2012)
- Shao JH, Zou YF, Xu XL, Wu JQ, Zhou GH. Evaluation of structural changes in raw and heated meat batters prepared with different lipids using Raman spectroscopy. *Food Res Int*, 44, 2955-2961 (2011)
- Shim YY, Mustafa R, Shen J, Ratanapariyanuch K, Reaney MJ. Composition and properties of aquafaba: Water recovered from commercially canned chickpeas. *J Vis Exp*, 132, e56305 (2018)
- Smittle RB. Microbiological safety of mayonnaise, salad dressings, and sauces produced in the United States: A review. *J Food Protect*, 63, 1144-1153 (2000)
- Song HN. Quality analysis for recycle of the drained soybean boiling water discarded in the mass production of fermented soy foods. *Korean J Food Cookery Sci*, 29, 525-531 (2013)
- Song KJ, Jung BO, Chung SJ. Preparation and quality characteristics of soymilk mayonnaise with chitooligosaccharide. *J Chitin Chitosan*, 18, 32-36 (2013)
- Starmer D, Coate K, Terry P. The effects of creating a vegan alternative to hard meringues by substituting aquafaba for egg whites. *J Acad Nutr Diet*, 118, A51 (2018)
- Wolf CL, Beach S, La Velle WM, Clark RC. Gellan gum/gelatin blends. USA Patent No. 4876105 (1989)
- Xiong T, Xiong W, Ge M, Xia J, Li B, Chen Y. Effect of high intensity ultrasound on structure and foaming properties of pea protein isolate. *Food Res Int*, 109, 260-267 (2018)
- Yang SC, Han JY. The effect of vinegar concentration the emulsion stability of mayonnaise dressing. *Culi Sci & Hos Res*, 8, 295-308 (2002)
- YanJun S, Jianhang C, Shuwen Z, Hongjuan L, Jing L, Lu L, Uluko H, Yanling S, Wenming C, Wupeng G, Jinaping L. Effect of power ultrasound pre-treatment on the physical and functional properties of reconstituted milk protein concentrate. *J Food Eng*, 124, 11-18 (2014)
- Yildirim M, Sumnu G, Sahin S. Rheology, particle-size distribution, and stability of low-fat mayonnaise produced via double emulsions. *Food Sci Biotechnol*, 25, 1613-1618 (2016)