

견과류 버터 대체가 파운드케이크의 품질 특성에 미치는 영향

신 희 용¹ · 윤 혜 현^{2*}

¹경희대학교 대학원 조리외식경영학과 박사 수료, ²경희대학교 조리 & 푸드디자인학과 교수

Effects of Nut Butter Substitution on the Quality Characteristics of Pound Cakes

Hee Yong Shin¹ and Hye Hyun Yoon²

¹Ph. D. Candidate, Dept. of Culinary Science & Food Service Management, Graduate School, Kyung Hee University, Seoul 02447, Republic of Korea

²Professor, Dept. of Culinary Arts & Food Design Management, Kyung Hee University, Seoul 02447, Republic of Korea

ABSTRACT

This study investigated the feasibility of replacing dairy butter completely with nut butters in pound cakes and compared the resultant physicochemical, textural, and sensory properties. Cakes were prepared with pecan (PC), pine nut (PN), walnut (WN), macadamia (MC), and hazelnut (HZ) butters. The control (CON) used milk butter. Batter specific gravity differed among the butters used, with the CON cake having lowest and WN highest specific gravity ($p < 0.001$). Cake volume and specific volume were greatest in the MC and lowest in the CON cake ($p < 0.001$), and baking loss was highest in the CON cake and lowest in the HZ ($p < 0.001$). Color also differed ($p < 0.001$). Crust L^* was highest in the HZ cake and lowest in the CON, crumb L^* was highest in the MC cake and lowest in the WN and PC cakes, crumb a^* was positive in the WN and PC cakes but negative in the CON and MC cakes, and crumb b^* was highest in the CON and lowest in the PC cake. Texture profile analysis showed the highest hardness, gumminess, and chewiness in the HZ cake and the lowest in the MC. Adhesiveness was greatest in the PN cake and lowest in the PC cake. Springiness was higher in the PN, HZ, and WN cakes, and cohesiveness was highest in the CON cake ($p < 0.001$). Sensory differences were significant ($p < 0.001$, brittleness $p < 0.01$). The perceived volume was higher in the MC, HZ, PN, and PC cakes. The crust and crumb darkness were more in the PC and WN cakes. Butter odor, butter flavor, and sweetness were strongest in the CON cake. A nutty flavor was detected in all the nut butter cakes, with PN having a lower nutty flavor than the others ($p < 0.001$). Stickiness was notable in the HZ and PN cakes. Brittleness was significant ($p < 0.01$), and roughness, tub-tub and rancid odor were more frequent in the PC and WN cakes ($p < 0.001$). Overall, the MC cake had the largest volume and softest texture; the HZ and WN cakes were the firmest; the PN cake was high in adhesiveness and springiness; and the MC and PN cakes most closely resembled the CON cake across several attributes. Overall, these findings support the feasibility of macadamia and pine nut butters as 100% butter replacers for pound cakes and provide baseline data for future product development.

Key words: butter substitute, nut butter, nut, pound cake, quality characteristics

서 론

버터는 제과 분야에서 제품의 식감, 구조 풍미를 결정하는 핵심 재료이지만(Jin JA & Yoon HH 2020), 세계보건기구[World Health Organization(WHO) 2023]가 포화지방산 섭취를 총에너지 섭취량의 10% 이하로 제한할 것을 권고함에 따라 건강 지향적 소비 트렌드에 부합하는 대체재 개발이 요구되고 있다. 국제식품규격(Codex 2022)에 따르면 버터는 유지방 80%, 수분 16%, 무지방고형분(milk solids-not-fat) 2%로 구성된 유중수적형(water-in-oil) 유화제품이며, 지방은 포화지

방산[saturated fatty acids(SFA)] 약 69%, 단일불포화지방산[monounsaturated fatty acids(MUFA)] 25%, 다중불포화지방산[polyunsaturated fatty acids(PUFA)] 5%로 구성되어 있다. 그러나 버터의 지방 함량과 지방산 구성은 버터의 특성에 영향을 미치며, 특히 고체지방결정(β' crystals)은 크림화(creaming) 공정에서 공기를 포집하여 부피감과 부드러운 조직감을 형성하는데 중요한 물리적 역할을 한다(Brooker BE 1993; Wilderjans E 등 2013).

최근 전 세계적으로 환경 및 건강에 대한 소비자 인식이 높아지면서 지속가능성과 식물 기반 식단을 중심으로 식품 소비가 변화하고 있다[WHO 2019; International Food Information Council(IFIC) 2024]. 이러한 흐름에 맞춰 EAT-Lancet 위원회는 동물성 식품과 설탕 소비는 50% 이상 줄이고 과일, 채소,

* Corresponding author : Hye Hyun Yoon, Tel: +82-2-961-9403, Fax: +82-2-961-9557, E-mail: hhyun@khu.ac.kr

견과류, 콩류의 섭취를 늘리는 건강하고 지속가능한 지구 건강 식단(planetary health diet)을 제시하였다(Willett W 등 2019). 이 식단에서 견과류는 동물성 식품을 대체할 핵심 식품이자 지속가능한 식품 소비의 중요한 부분으로 강조되고 있다. 견과류 버터 시장은 2023년 35.5억 달러에서 2024년 37.0억 달러로 성장했으며, 2032년까지 연평균 4.5% 성장하여 50.4억 달러에 이를 것으로 전망된다[Market Research Future(MRFR) 2023; MRFR 2024]. USDA(2023)와 International Nut and Dried Fruit Council (INC)(2024)의 보고서에 따르면 전 세계 견과류 생산 및 소비는 최근 10년간 꾸준한 증가 추세이며, 미국과 유럽을 중심으로 식물성 대체유지 시장이 확대되며 관련 제품 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

견과류는 영양학적 우수성과 기능적 다양성으로 버터의 이상적인 대체재로 주목받고 있다. 견과류는 단백질, 식이섬유, 비타민, 미네랄, 폴리페놀 등이 풍부한 고영양 식품이며, 특히 지방 함량이 높다(USDA 2023). 견과류 지방의 75% 이상은 심혈관 건강에 유익한 MUFA와 PUFA로 구성되어 있다(Venkatachalam M & Sathe SK 2006). 본 연구에서 사용된 마카다미아, 헤이즐넛, 피칸, 잣, 호두는 독특한 지방산 조성으로 인해 버터 대체재로서 높은 잠재력을 지닌다(Maguire LS 등 2004). 마카다미아와 헤이즐넛은 MUFA를 다량 함유하여 버터와 유사한 부드러운 질감과 풍미를 제공하며, 피칸은 올레산(oleic acid) 중심의 MUFA 함량이 높고, 잣은 피놀렌산을 포함한 PUFA가 풍부하다. 마지막으로 호두는 α -리놀렌산을 포함한 PUFA 함량이 매우 높고 포화지방산(SFA)의 함량은 낮다(Maguire LS 등 2004; Kwak JS 등 2014; Choi UK 2020). 구체적으로 마카다미아는 지방 함량이 75% 이상으로 견과류 중 가장 높으며, 총 지방의 80% 이상이 MUFA로 구성되어 있으며(Kornsteiner Krenn M 등 2013; Tu XH 등 2021). 이러한 특성은 낮은 점도와 부드러운 질감을 형성하고 버터와 유사한 풍미(buttery flavor)를 부여하며, SFA의 함량이 낮아 건강에 이로운 지방산 조성을 갖는다(Shuai X 등 2023; Ohlsson TA 등 2025). 헤이즐넛은 지방산의 대부분이 MUFA이며, 특히 항산화 물질인 α -토코페롤 함량이 매우 높다(Müller AK 등 2020; USDA 2023). 올레산(oleic acid)과 α -토코페롤의 시너지 효과는 지방 산화를 억제하여 저장 안정성을 높이고 제품의 품질과 풍미를 유지하는데 기여한다(Alasalvar C 등 2003). 피칸은 MUFA 약 65%, PUFA 약 32%를 함유하며(Ferrari V 등 2022), 플라보노이드, 프로안토시아닌, γ -토코페롤과 같은 항산화 성분이 풍부하여 산패를 억제한다(Rosa LA 등 2011; Alvarez-Parrilla E 등 2018). 또한 피칸의 특유의 단맛과 버터처럼 부드러운 풍미는 지방산 조성 및 항산화 성분의 복합적인 작용에 기인한다(Davila

M 등 2022). 잣은 PUFA의 비율이 약 34%이며, 고유 지방산인 피놀렌산(pinolenic acid; C18:3)을 약 11% 함유하고 있다(Bolling BW 등 2011; USDA 2023). 하지만 높은 PUFA 함량으로 인해 지방 산화에 민감하여 저장 및 가공 중 산패에 취약하다(Wojdylo A 등 2022). 호두는 PUFA 함량이 58%로 매우 높으며, 특히 식물성 오메가-3 지방산인 α -리놀렌산이 약 14% 함유되어 있다(Banel DK & Hu FB 2009; USDA 2023). 호두 속껍질의 풍부한 폴리페놀 화합물은 PUFA의 산화를 억제하여 안정성을 높이는데 기여한다(Zheng Y 등 2020).

이처럼 견과류는 다양한 건강상의 이점과 지속 가능한 식단의 대안으로 주목받고 있으며, 호두 첨가 양조간장(Choi CS 등 2017), 피스타치오 분말을 첨가한 도넛(Lee J & Surh J 2021), 땅콩 새싹 분말을 첨가한 마들렌(Lee YJ 등 2024), 피칸 분말을 첨가한 가나슈 초콜릿(Lee JE 2024) 등 관련 연구가 진행되고 있다. 그러나 대부분의 연구가 견과류를 단순히 첨가하는 것에 그치고 있으며, 버터 사용량이 많은 제과 분야에서 견과류 버터를 대체재로 활용한 연구는 아직 미미한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 5종의 견과류 버터를 사용하여 파운드 케이크를 제조하고, 기계적 측정 및 특성 차이 검사를 통해 버터를 대체한 파운드케이크의 품질 특성 차이를 분석하고자 하였다. 또한 견과류 버터의 지방산 조성이 파운드 케이크의 품질 특성에 미치는 영향을 파악하고, 향후 견과류 버터 제품 개발 및 제과, 제빵에서의 활용 가능한 기초 자료를 제공하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

본 연구에서 사용된 재료는 액상계란(O'Lab, Gyeongsangnam-do, Korea), 박력 밀가루(CJ Cheiljedang, Seoul, Korea), 버터(Anchor, Fonterra Limited, New Zealand), 설탕(CJ Cheiljedang, Incheon, Korea), 소금(Les Salines de Guérande, Guérande, France), 베이킹파우더(Bread Garden, Seongnam, Korea), 귀리 음료(isola BIO, Badia Polesine, Italy)는 국내에서 인터넷을 통해 일괄 구매하였다. 견과류 버터 제조에 사용한 호주산 마카다미아(Woogo Rabbit, Paju, Korea), 터키산 헤이즐넛(Nutspia, Gwangju, Korea), 미국산 피칸(Woogo Rabbit, Paju, Korea), 잣(Nature collect, Gapyeong, Korea), 미국산 호두(Woogo Rabbit, Paju, Korea)는 2024년산을 2025년 7월에 온라인 쇼핑몰에서 구입하였으며, Lee SW & Rhee C(2000)의 연구를 참고하여 -20°C 에서 냉동 보관하면서 사용하였다.

2. 시료 제조

1) 견과류 버터의 제조

파운드 케이크의 제조에 사용된 마카다미아, 헤이즐넛, 피칸, 잣, 호두는 각 500 g을 오븐팬에 펼쳐 컨벡션 오븐(SMEG S.p.A., SMEG, Guastalla, Italy) 150℃에서 5 min 간격으로 견과류를 섞어주며 총 15 min 동안 로스팅하였다(Bai SH 등 2017). 실온에서 오븐팬 그대로 1 hr 냉각 후, 푸드 프로세서(Robot-Coupe R3D1500, Robot-Coupe S.N.C., Vincennes, France)로 10 min 동안 갈아서 paste 상태로 만들어 사용하였다.

2) 파운드케이크의 제조

견과류 버터로 제조한 파운드케이크의 배합 비율은 Table 1과 같다. 견과류 버터로 제조한 파운드케이크는 MeGee H(2004), Ficoni PI(2011)을 참고하여 예비 실험을 통해 안정적인 유희화가 가능한 블렌딩법(blending method)으로 결정하였다. 실험에 사용한 견과류 버터는 제조 당일 paste 상태로 만들어 사용하였으며, 견과류 버터는 100%로 대체하여 실험에 사용하였다. 계란, 오트 밀크, 설탕, 소금은 같은 볼에 넣어 휘퍼로 섞어준 뒤 증탕으로 설탕을 녹여주고 실온에서 23℃로 냉각 후 사용하였으며, 실험에 사용한 모든 재료의 온도는 23℃에 맞춰 사용하였다. 반죽기(Kenwood, KMX750, Havant, UK)에 버터와 체 친 박력분, 베이킹파우더를 넣고 버터로 mini 모드로 1 min 믹싱 후 고무 주걱으로 벽면과 바닥을 긁고 mini 모드로 1 min 동안 믹싱하였다. 그 후 전란액

을 2/3 넣고 5단으로 2 min 동안 믹싱 후, 나머지 전란액을 넣고 다시 5단에서 2 min 믹싱하였다. 믹싱이 끝난 후 고무 주걱으로 잘 섞어 주고 반죽은 파운드 팬(21 × 8 × 6 cm)에 500 g을 계량하고, 윗면을 편평하게 정리하여 170℃로 예열된 컨벡션 오븐(SMEG S.p.A., SMEG, Guastalla, Italy)에서 10 min 굽고, 반죽의 중앙에 칼집을 넣어 30 min 동안 추가로 소성하였다. 구워진 파운드케이크는 틀에서 꺼내 냉각팬에 놓고, 실온에서 90 min 동안 냉각시킨 후 밀봉하여 실험에 사용하였다.

3. 반죽의 비중

반죽의 비중(specific gravity)은 AACC(2000) Method 10-15에 따라 측정하였다. 반죽 제조가 완료된 직후 전자 저울(WK-4CII, CAS, Yangju, Korea)을 이용하여 100 mL 비중컵에 물과 반죽의 각 중량을 측정 후, 물에 대한 반죽의 무게의 비를 계산하여 비중을 구하였으며, 각 시료는 3회 반복 측정하여 평균값을 구하였다.

$$\text{반죽 비중(g/mL)} = \frac{\text{반죽의 무게(g)}}{\text{물의 무게(mL)}}$$

4. 파운드케이크의 굽기 손실률, 부피 및 비용적

파운드케이크의 굽기 손실률(baking loss rate)은 굽기 전 케이크 반죽의 중량과 구운 후 상온에서 1 hr 이상 냉각을 완료한 케이크의 중량을 전자저울(WK-4CII, CAS, Yangju, Korea)로 측정하였다. 굽기 손실률은 다음의 계산식을 사용

Table 1. Formulas for nuts butter poundcake

Ingredient (g)	CON ¹⁾	PC	PN	WN	MC	HZ
Butter	150	0	0	0	0	0
Nut butter	0	150	150	150	150	150
Sugar	150	150	150	150	150	150
Salt	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Egg	150	150	150	150	150	150
Oatmeal milk	20	20	20	20	20	20
Cake flour	150	150	150	150	150	150
Baking powder	2	2	2	2	2	2

¹⁾ CON: poundcake with milk butter.

PC: poundcake with pecan butter.

PN: poundcake with pine nut butter.

WN: poundcake with walnut butter.

MC: poundcake with macadamia butter.

HZ: poundcake with hazelnut butter.

하여 산출하였으며, 각 시료는 3회 반복 측정하여 평균값을 구하였다.

$$\text{굽기 손실률(\%)} = \frac{\text{굽기 전 케이크 반죽(g)} - \text{구운 후 케이크(g)}}{\text{굽기 전 케이크 반죽(g)}} \times 100$$

케이크의 부피(volume)는 AACC(1995) method 72-10의 방법에 따라 좁쌀을 사용한 종자 치환법으로 측정하였으며, 측정된 부피 값과 무게의 값을 토대로 비용적(specific volume)을 구하였다. 아래와 같은 식을 이용하여 비용적을 구하였으며, 케이크의 부피와 무게(mL/g)를 토대로 구하였다.

$$\text{비용적(mL/g)} = \frac{\text{파운드 케이크의 부피(mL)}}{\text{파운드 케이크의 무게(g)}}$$

5. 파운드케이크의 수분함량, pH, °Brix

수분함량은 파운드케이크의 속질을 블렌더(HC-BL5100BK, Happycall Ltd., Gimhae, Korea)에 30초간 곱게 분쇄한 뒤, 칭량 접시에 1 g을 계량하여 할로젠 수분 측정기(MB-95, OHAUS, Parsippany, USA)를 사용하여 105°C에서 A60모드를 사용하여 3회 반복 측정하여 평균값을 구하였다. pH와 당도 측정을 위해 분쇄된 시료 10 g을 100 mL 증류수가 담긴 비커에 넣어 교반기(Stirrer, SP131320-33, Cimarec, New Hampshire, USA)로 speed 5에서 5 min 동안 균질화 한 후, 커피 필터로 용액만 분리하였다. 그 용액을 pH 미터(ST3100, Ohaus Corp., Parsippany, NJ, USA)로 3회 반복 측정하여 평균값을 구하였다. 당도는 0~53°Brix 범위에서 측정 가능한 디지털 당도계(Atago digital refractometer PAL-1, Japan)를 사용하여 3회 반복 측정하여 평균값을 구하였다.

6. 파운드케이크의 색도

파운드케이크의 겉질(crust)과 속질(crumb)을 각각 블렌더(HC-BL5100BK, Happycall Ltd., Gimhae, Korea)로 갈아 35 × 10 mm 크기의 petri dish에 빈틈없이 담아 색차계(JC-801, Color Techno System Co., Ltd, Kyoto, Japan)를 사용하여 L(lightness), a(redness), b(yellowness)값을 구하였다. 사용된 표준 백색판(calibration plate)의 값은 L값은 93.95, a값은 -1.65, b값은 1.88이었으며, 시료는 3회 반복 측정하여 평균값을 구하였다.

7. 파운드케이크의 조직감

파운드케이크의 조직감은 물성 측정기(TA-XT Express, Stable Micro Systems, Godalming, U.K.)를 사용하여 측정하

였다. 실험의 조건은 선행연구를 참고하여 시료는 2.0 × 2.0 × 2.0 cm로 재단하여 사용하였으며, 36 mm의 probe를 사용하여 pre-test speed는 3.0 mm/s, test speed는 1.0 mm/s, post-test speed는 1.0 mm/s, test distance는 5.0 mm/s, return speed는 5.0 mm/s, trigger type은 auto, trigger force는 5.0 g으로 측정하였다. 시료는 경도(hardness), 부착성(adhesiveness), 탄력성(springiness), 응집성(cohesiveness), 검성(gumminess), 씹힘성(chewiness)을 3회 반복 측정하여 평균값 및 표준편차를 구하였다.

8. 특성 차이 검사

특성 차이 검사 패널은 관능검사 경험이 있는 조리외식경 영전공 대학원생 10명을 대상으로 2회 실시하였다. 외관 평가를 위해 파운드 케이크의 중앙을 잘라 단면을 함께 제공하였으며, 케이크의 속질만을 1.5 × 1.5 × 1.5 cm 크기로 재단하여 준비하였다. 뚜껑이 있는 투명 용기에 3조각씩 담아 3자리 난수표를 부착하고, 평가 중 시료의 잔여감을 없애기 위해 입을 헹굴 수 있는 물과 함께 제공하였다. 평가 항목은 외관(appearance)의 부피(volume), 껌질의 어두운 정도(crust darkness), 속질의 갈색 정도(crumb brownness), 기공의 균일성(cell uniformity)의 4가지 항목을 측정하였다. 냄새(odor)의 항목은 계란 냄새(egg odor), 고소한 냄새(savory odor), 버터 냄새(butter odor)의 3가지 항목을 측정하였으며, 향미(flavor)는 단맛(sweet taste), 버터맛(buttery), 견과류 향미(nutty flavor), 떫은맛(acerbity)의 4가지 항목을 측정하였다. 질감(texture)은 단단함(hardness), 입자성(roughness), 촉촉함(moistness), 끈적임(stickiness), 부서짐성(brittleness)의 5가지, 후미는 입안의 텁텁함(tub-tub), 산패취(rancid odor)의 2가지 항목으로 총 18가지 항목으로 평가하였다. 평가는 9점 척도(1점=매우 약하다, 5점=보통, 9점=매우 강하다)로 진행하였다.

9. 통계분석

본 연구의 모든 분석 결과는 SPSS Statistics 28.0(IBM, Chicago, IL, USA) 프로그램을 사용하여 실시하였고, 각 시료에 대한 Mean±S.D.로 나타내었다. 시료 간 차이는 일원분산 분석(one-way ANOVA)으로 검정하고, 유의한 경우 Duncan의 다중범위검정(Duncan's multiple range test)으로 사후분석을 실시하였다. 유의수준은 $p < 0.05$ 로 설정하였으며, 유의확률은 $p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$ 로 표기하였다.

결과 및 고찰

1. 반죽의 비중

견과류 버터로 제조한 파운드케이크 반죽의 비중은 Table 2

Table 2. Specific gravity of nuts butter pound cake

	CON ¹⁾	PC	PN	WN	MC	HZ	F-value
Specific gravity (g/mL)	0.89±0.00 ^{2)c3)}	0.97±0.00 ^c	0.99±0.00 ^b	1.00±0.00 ^a	0.97±0.00 ^c	0.96±0.00 ^d	182.20 ^{***}

¹⁾ Refer to the legends in Table 1.

²⁾ Mean±S.D. *** $p < 0.001$.

³⁾ a-c Means in a row by different superscripts are significantly different at the $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

와 같다. 반죽의 비중은 0.89~1.0로 나타났으며, 버터로 제조한 대조군(CON)이 0.89로 가장 낮은 반죽 비중을 보였으며, 호두(WN)가 1.00으로 가장 높아 시료 간 유의적인 차이가 있었다($p < 0.001$). 반죽의 비중은 사용되는 지방의 종류와 특성, 제조 공정에 의해 복합적으로 결정되며, 지방의 가소성, 결정형태는 반죽의 기포 안정화에 핵심이며, 이는 최종 제품의 부피 및 식감에 직접적인 영향을 미치는 요인이다 (Brooker BE 1993; Wilderjans E 등 2013). 고체 상태의 버터는 안정적인 지방 결정 구조를 형성해 공기를 효과적으로 포집하고 안정화시키며, 대조군(CON)은 블렌딩법으로 제조된 파운드 케이크의 비중 0.90±0.05 범위로 측정되었다(Figoni PI 2011). 견과류 버터를 사용한 모든 반죽의 비중은 적정 비중 범위를 초과하였는데, 이는 견과류 버터의 높은 불포화지방산 함량으로 인해 상온에서 유동적인 paste 상태를 유지하기 때문이다(Wood FW 등 1975). 이러한 물리적 특성은 기포를 안정적으로 포집할 수 있는 견고한 지방 결정 구조 형성을 어렵게 만들고(Devi A & Khatkar BS 2016), 이로 인해 기포의 안정성이 낮아져 반죽 내 공기 함량이 작아지고 견과류 버터의 케이크 반죽 비중이 높아지는 결과를 나타낸 것으로 사료된다. 특히 호두의 비중이 가장 높게 나타났는데, 이는 호두의 PUFA 함량이 높아 지방의 유동성이 크기 때문에 안정적인 지방 결정 구조 형성을 더욱 어렵게 만들어 공기포집을 하지 못한 결과로 판단된다.

2. 파운드케이크의 굽기 손실률, 부피 및 비용적

굽기 손실률, 부피 및 비용적의 측정 결과는 Table 3과 같다. 굽기 손실률은 대조군(CON)이 9.26±0.30%로 가장 높은 손실

률을 나타냈으며, 헤이즐넛(HZ)이 8.06±0.30%로 가장 낮은 손실률을 나타내 시료간 유의적인 차이가 있었다($p < 0.001$). 이러한 결과는 견과류에 함유된 수용성 식이섬유와 친수성 아미노산의 수분 결합 능력(water holding capacity)에 의한 것이라는 선행 연구 결과와 일치한다(Leal JA 등 2010; Voiniciuc C 등 2019). 특히 수용성 식이섬유인 헤테로만난(heteromannans), 펙틴 다당류(pectic polysaccharides) 등 견과류의 수용성 식이섬유는 물 분자와 수소가 결합하여 수분을 흡수하고 겔(gel) 구조를 형성하여 반죽 내 수분 이동과 증발을 제한한다(Tosh SM & Yada S 2010; Grossi Bovi Karatay G 등 2022). 또한 견과류 단백질에 글루탐산(glutamic acid), 아스파르트산(aspartic acid), 아르기닌(arginine)과 같은 친수성 아미노산이 물 분자와 수소 결합을 형성하여 수분 보유력을 향상시켜 낮은 굽기 손실률에 기여한다(Gbadamosi SO 등 2012; Park GS & An SH 2012). 이러한 특성들이 반죽 내에서 수분 결합을 높여 굽는 과정 중 수분이 증발하는 것을 억제하기 때문에(Park GS & An SH 2012; Grossi Bovi Karatay G 등 2022) 낮은 굽기 손실률을 나타낸 것으로 판단된다.

부피와 비용적 측정 결과, 마카다미아(MC)의 부피(39.54±2.03 mL)와 비용적(1.16±0.06 mL/g)이 가장 높게 나타났으며, 대조군(CON)이 가장 낮은 부피(22.66±1.33 mL)와 비용적(0.66±0.03 mL/g)을 가진 것으로 측정되었다($p < 0.001$). 이는 반죽 비중이 낮을수록 케이크의 최종 부피가 커진다는 일반적인 경향과 상반되는 결과이다(Wilderjans E 등 2013). 이러한 결과는 반죽 과정에서 공기포집 능력보다 굽는 과정에서 가스 보유력(gas retention capacity)이 제품의 최종 부피에 더 큰 영향을 미친 것으로 사료된다. 견과류 버터에 함

Table 3. Baking loss, volume and specific volume of nuts butter pound cake

	CON ¹⁾	PC	PN	WN	MC	HZ	F-value
Baking loss (%)	9.26±0.30 ^{2)a3)}	8.26±0.23 ^{bc}	8.66±0.23 ^b	8.46±0.23 ^{bc}	8.33±0.30 ^{bc}	8.06±0.30 ^c	7.24 ^{***}
Volume (mL)	22.66±1.33 ^d	27.10±0.76 ^c	24.88±1.53 ^{cd}	30.21±1.53 ^b	39.54±2.03 ^a	31.54±2.03 ^b	41.90 ^{***}
Specific volume (mL/g)	0.66±0.03 ^d	0.79±0.02 ^c	0.73±0.04 ^{cd}	0.88±0.04 ^b	1.16±0.06 ^a	0.92±0.06 ^b	40.00 ^{***}

¹⁾ Refer to the legends in Table 1.

²⁾ Mean±S.D. *** $p < 0.001$.

³⁾ a-d Means in a row by different superscripts are significantly different at the $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

유된 단백질과 고형분이 안정적인 유화 상태를 형성하여, 굽는 과정에서 발생하는 수증기와 이산화탄소를 효과적으로 포집함으로써 부피에 기여한 것으로 판단된다(Leahu A 등 2022; Gul O 등 2023). 특히 마카다미아의 부피와 비용적이 가장 높게 나타난 것은 마카다미아에 다량 함유된 MUFA가 지방과 수분의 유화를 촉진시켜 안정적인 반죽 구조를 만들고(Shahidi-Noghabi M 등 2019), 굽는 과정에서 단백질과 고형분이 열에 의해 변성되면서 견고한 구조를 형성하여(Shuai X 등 2023) 생성되는 가스를 효과적으로 포집하고 유지하여 가장 큰 부피를 나타낸 것으로 사료된다. 실제로 Miller AE 등(2013), Shahidi-Noghabi M 등(2019)의 연구에서도 반죽의 공기 포집량보다 굽는 과정에서의 유화 안정성 및 구조적 견고함이 최종 제품의 부피를 결정하는 더 중요한 요인이라고 보고하였으며, 이는 본 연구의 결과와도 일치한다.

3. 수분함량, pH, °Brix

견과류 버터로 제조한 파운드케이크의 수분함량, pH, °Brix 측정 결과는 Table 4와 같다. 수분함량은 대조군(CON)이 24.14±0.05%로 가장 높았으며, 견과류 종류에 따라 유의적인 차이가 있었다($p<0.001$). 대조군(CON)은 가장 높은 굽기 손실률을 나타냈으나, 최종 제품의 수분함량은 가장 높게 나타났다. 일반적으로 버터의 수분함량은 16~18%(Codex 2022), 견과류의 3~8%보다(USDA 2023) 많은 수분을 함유하고 있기 때문에 더 높은 수분함량을 나타낸 것으로 사료된다. 또한 버터의 높은 지방 함량이 굽는 과정에서 반죽 내부와 표면에 수분 장벽 역할을 하여 열에 의해 수분 손실을 물리적으로 지연시켰기 때문으로 판단된다. 한편, 견과류 버터 중에서 헤이즐넛(HZ)의 수분함량이 다른 견과류보다 유의적으로 높게 나타났는데, 이는 견과류의 단백질과 식이섬유가 반죽 내에서 수분을 물리적으로 보유하는 3차원 그물 구조(three-dimensional network)를 형성하기 때문이라는 선행 연구 결과와 일치한다(Cikrikci S 등 2017; Zhang H 등 2022). 특히 헤이즐넛은 이러한 그물 구조 형성 능력이 우수하여 굽는 과정에서 열에 의한 수분 손실을 최소화한 것으로 사료된다.

다. pH 측정 결과, 대조군(CON)이 7.22±0.02로 가장 높았고, 견과류 버터로 만든 파운드케이크는 pH 6.65~6.83으로 유의하게 낮은 값을 나타내었다($p<0.001$). 이러한 pH 감소는 견과류에 함유된 유기산, 폴리페놀 화합물 등의 성분 때문에 보고되었다(Stevens-Barrón JC 등 2019; Wang R 등 2022). °Brix는 대조군(CON)이 2.70±0.00으로 가장 낮았으며, 잣(PN)이 3.70±0.10, 헤이즐넛(HZ) 3.33±0.05로 높게 나타났다($p<0.001$). 견과류의 당 함량은 100 g 당 2.6~4.6 g으로 견과류의 종류에 따라 큰 차이가 없다(USDA 2023). 보통 °Brix는 자당 수용액의 굴절률을 기준으로 하지만, 식품에서는 당 이외의 유기산, 펙틴, 무기질 등의 수용성 고형분의 영향을 받기 때문에, 이러한 성분들의 함량 및 조성 차이가 시료간 차이를 나타낸 것으로 판단된다(Jaywant SA 등 2022; USDA 2023). 이는 견과류에 함유된 다양한 수용성 고형분들이 제품의 향미에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다.

4. 색도

견과류 버터로 제조한 파운드 케이크의 껍질(crust)과 속질(crumb)의 색도 측정 결과는 Table 5와 같이 측정되었다. 껍질의 명도 L값은 대조군(CON)이 47.45±0.00으로 가장 낮았으며, 헤이즐넛(HZ)이 52.59±0.01로 가장 높게 나타났다($p<0.001$). 적색도를 나타내는 a값은 모두 양(+)의 값을 보였으며, 헤이즐넛(HZ)이 7.39±0.05로 가장 높았다($p<0.001$). 황색도인 b값은 대조군(CON)이 24.45±0.10으로 가장 낮았으며, 헤이즐넛(HZ)이 32.19±0.02로 가장 강한 황색을 나타냈다($p<0.001$). 속질의 명도, 적색도, 황색도는 견과류 버터에 따라 유의미한 차이를 보였다($p<0.001$). 이러한 차이는 견과류 버터의 고유 색소, 지방산 구성, 단백질, 당 함량 및 폴리페놀과 굽는 중 마이야르 반응 및 카라멜화의 복합적인 영향으로 판단된다(Shakerardekani A 등 2013; Toyosaki T 2018). 식품의 조리 과정에서 발생하는 색 변화는 단순한 원재료의 색 차이를 넘어, 마이야르 반응과 카라멜화 반응에 의해 복합적으로 나타나며, 같은 반응은 제품의 맛, 향, 그리고 색 변화에 영향을 미쳐 최종 식품의 특성을 결정짓는 핵심적인

Table 4. Moisture content, pH and °Brix of nuts butter pound cake

	CON ¹⁾	PC	PN	WN	MC	HZ	F-value
Moisture contents (%)	24.14±0.05 ^{2)a3)}	22.07±0.27 ^d	22.69±0.16 ^c	22.71±0.04 ^c	22.51±0.13 ^c	23.17±0.25 ^b	48.92 ^{***}
pH	7.22±0.02 ^a	6.75±0.01 ^d	6.78±0.00 ^c	6.70±0.00 ^c	6.83±0.01 ^b	6.65±0.01 ^f	702.75 ^{***}
°Brix	2.70±0.00 ^d	2.86±0.05 ^c	3.70±0.10 ^a	2.96±0.05 ^c	2.86±0.05 ^c	3.33±0.05 ^b	107.45 ^{***}

¹⁾ Refer to the legends in Table 1.

²⁾ Mean±S.D. *** $p<0.001$.

³⁾ a-f Means in a row by different superscripts are significantly different at the $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

Table 5. Color values of nuts butter pound cake

	CON ¹⁾	PC	PN	WN	MC	HZ	F-value	
Crust	L	47.45±0.00 ^{2)B)}	48.16±0.05 ^c	48.64±0.03 ^c	49.79±0.03 ^b	48.49±0.04 ^d	52.59±0.01 ^a	7,870.17 ^{***}
	a	5.95±0.00 ^c	4.60±0.06 ^c	6.35±0.11 ^b	4.93±0.11 ^d	6.26±0.11 ^b	7.39±0.05 ^a	416.47 ^{***}
	b	24.45±0.10 ^c	26.72±0.09 ^d	29.38±0.05 ^b	28.69±0.06 ^c	28.65±0.07 ^c	32.19±0.02 ^a	3,751.83 ^{***}
Crumb	L	82.51±0.07 ^b	58.98±0.02 ^c	68.48±0.19 ^d	58.33±0.11 ^f	83.41±0.05 ^a	80.44±0.00 ^c	40,518.62 ^{***}
	a	-4.39±0.01 ^f	1.02±0.08 ^b	0.52±0.04 ^c	1.34±0.00 ^a	-2.98±0.31 ^e	-1.29±0.02 ^d	8,485.27 ^{***}
	b	45.63±0.14 ^a	21.67±0.08 ^f	36.48±0.14 ^b	25.49±0.06 ^e	33.03±0.04 ^d	33.55±0.08 ^c	20,289.99 ^{***}

¹⁾ Refer to the legends in Table 1.

²⁾ Mean±S.D. *** $p < 0.001$.

³⁾ a-f Means in a row by different superscripts are significantly different at the $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

요인이다(Martins SIFS 등 2001; Nursten HE 2005). 본 연구에서도 헤이즐넛 버터 케이크 껍질의 명도, 적색도, 황색도가 가장 높게 나타났는데 이는 헤이즐넛의 리신(lysine)과 같은 유리 아미노산과 환원당이 마이야르 반응과 카라멜화를 촉진시키기 때문이라는 선행 연구 결과와 일치한다(Cerbulis J 1955; Taş NG & Gökmen V 2017).

견과류의 지방산은 산화에 의해 휘발성 풍미 화합물을 생성하고 마이야르 반응을 촉진하며, 단백질과 아미노산은 마이야르 반응을 촉진시켜 색소 및 풍미 화합물 생성에 기여한다(Han Z 등 2024; Shahidi F & Hossain A 2022). 또한 폴리페놀과 항산화 성분은 갈변 반응을 조절하고 억제하여 제품의 명도를 밝게 유지하는데 영향을 미친다(Han Z 등 2024). 하지만 일반적으로 불포화지방산은 열산화 과정에서 생성된 2차 생성물에 의해 마이야르 반응이 촉진되는 것으로 알려져 있지만(Whitfield FB 1992; Zamora R & Hidalgo FJ 2005), 호두(WN)는 엘라지타닌(ellagitannins)과 같은 항산화 성분이 불포화지방산의 산화를 억제하고 마이야르 반응 촉진 효과를

상쇄시켜(Stevens-Barrón JC 등 2019) 명도가 높게 나타난 것으로 판단된다. 또한 견과류 버터 케이크 껍질의 명도가 대조군보다 모두 높은 것으로 나타났는데, 이는 견과류에 함유된 지방의 특성과 토코페롤 및 폴리페놀과 같은 항산화 성분이 복합적으로 갈변 반응을 억제하였기 때문인 것으로 보고되었다(Alasalvar C & Bolling BW 2015; Shakerardekani A 2015).

5. 조직감

견과류 버터로 제조한 파운드케이크의 조직감 측정 결과는 Table 6과 같다. 마카다미아(MC)의 경도(hardness)는 357.59±7.15 g으로 가장 낮았으며, 경도에 영향을 받는 검성(gumminess)과 씹힘성(chewiness)도 259.34±8.17, 249.64±10.08로 가장 낮게 나타났다($p < 0.001$). 일반적으로 케이크의 경도는 기공구조의 형성 및 유지에 따른 부피와 밀접한 관련이 있으며, 부피가 클수록 경도가 낮아지는 음(-)의 상관관계를 나타낸다(Gujral HS 등 2003; Agrahar-Murugkar D 등 2016). 이는 본 연구의 부피 결과와 일치하며 부피가 가장 큰 MC의 경도가

Table 6. Texture characteristics of nuts butter pound cake

	CON ¹⁾	PC	PN	WN	MC	HZ	F-value
Hardness (g)	372.21±15.78 ^{2)de3)}	406.62±35.66 ^{cd}	448.48±25.72 ^{bc}	482.27±36.83 ^b	357.59±7.15 ^c	542.85±10.72 ^a	24.08 ^{***}
Adhesiveness (g.s)	-1.33±0.05 ^c	-0.21±0.04 ^a	-4.21±0.40 ^c	-0.69±0.09 ^b	-0.76±0.05 ^b	-1.76±0.16 ^d	175.81 ^{***}
Springiness	0.98±0.03 ^b	0.93±0.05 ^b	2.27±0.06 ^a	2.20±0.00 ^a	0.96±0.02 ^b	2.22±0.03 ^a	801.31 ^{***}
Cohesiveness	0.75±0.05 ^a	0.73±0.01 ^{ab}	0.64±0.01 ^c	0.69±0.00 ^{bc}	0.72±0.01 ^{ab}	0.67±0.02 ^c	6.96 ^{***}
Gumminess	281.02±26.65 ^b	297.41±30.25 ^b	290.58±9.63 ^b	336.04±25.53 ^a	259.34±8.17 ^b	364.48±6.25 ^a	10.79 ^{***}
Chewiness	261.38±43.05 ^d	276.38±27.94 ^d	661.09±41.09 ^c	741.83±58.21 ^b	249.64±10.08 ^d	810.22±4.95 ^a	160.89 ^{***}

¹⁾ Refer to the legends in Table 1.

²⁾ Mean±S.D. *** $p < 0.001$.

³⁾ a-c Means in a row by different superscripts are significantly different at the $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

가장 낮게 나타났다. 이러한 경향은 마카다미아의 높은 지방 함량과 지방산 조성에 의한 것으로 판단된다. 높은 지질 함량은 쇼트닝(shortening) 효과로 글루텐의 결합을 억제하여 속질을 연화(tenderizing)시키며(Niihara R 1994; Cauvain SP & Young LS 2009; Manley D 2011), 마카다미아는 MUFA의 비율이 높아 굽는 과정에서 지방상(oil phase)의 유동성이 증가하여 기공의 성장 및 유지를 돕고, 결과적으로 부피 증가와 경도를 감소시킨 것으로 판단된다(Cauvain SP & Young LS 2009; Manley D 2011). 또한 Niihara R(1994)에 따르면 이러한 지질의 상호작용은 수분 보유력 증가와 전분의 노화에도 관여하여 부드러운 조직감을 형성한다고 하였다. 따라서 본 연구에서도 마카다미아의 경도, 검성, 씹힘성이 가장 낮게 나타난 것으로 판단된다. 헤이즐넛(HZ)은 경도 542.85 ± 10.72 g으로 가장 높았으며, 검성 364.48 ± 6.25 , 씹힘성 810.22 ± 4.95 로 가장 높게 나타났다. 헤이즐넛은 높은 지방 함량과 함께 다량의 단백질을 함유하여 단백질이 반죽 내에서 단백질-지방 및 단백질-전분 상호작용을 통해 보다 견고한 구조를 형성하여 케이크의 구조를 더 단단하게 만든다(Linlaud N 등 2011; Bulgaru V 등 2025). 이러한 헤이즐넛의 지방과 단백질의 상호작용은 반죽 내 기포를 안정화하는 동시에 반죽의 밀도를 증가시켜 케이크의 구조를 더욱 견고하게 만든다(Brooker BE 1993). 이러한 특성은 케이크의 경도, 검성, 씹힘성 증가에 직접적인 영향을 미치며(Sahi SS & Alava JM 2003; Psimouli V & Oreopoulou V 2012), 이는 본 연구에서 헤이즐넛의 경도, 검성, 씹힘성이 가장 높게 나타난 결과와도 일치한다.

부착성(adhesiveness)은 잣(PN)이 -4.21 ± 0.40 g.s로 가장 큰 부착성을 보였고, 피칸(PC)이 -0.21 ± 0.04 g.s로 가장 낮은 부착성을 나타냈다($p < 0.001$). 높은 부착성은 견과류 버터의 지방과 단백질 함량, 지방산 조성, 입자 크기 등의 특성이 반죽 및 케이크의 구조에 영향을 미치기 때문이다(Muego KF 등 1990; Shakerardekani A 2015; De Jonge N 등 2023). 잣의 높은 단백질 함량과 미세한 입자는 표면적을 증가시켜 지방-단백질 및 지방-전분의 상호작용을 높이고, 이는 부착성을 높이는 주요 원인이다(Muego KF 등 1990). 반면 피칸은 높은 지방 함량과 올레산(oleic acid)의 비율이 높아 지방의 윤택성과 분산성이 크다. 이러한 지방산은 반죽에 균일하게 퍼져 글루텐 결합을 약화시키고, 부착성을 줄이는 데 기여한다(Wagener EA & Kerr WL 2018). 이러한 지방산의 특성과 고형분의 차이로 인해 잣과 피칸의 부착성에 차이가 있는 것으로 사료된다.

탄력성(springiness)은 잣(PN), 헤이즐넛(HZ), 호두(WN)가 2.27 ± 0.06 , 2.22 ± 0.03 , 2.20 ± 0.00 으로 높았으며, 응집성(cohesiveness)은 대조군(CON)이 0.75 ± 0.05 로 가장 높게 나타났다.

이러한 탄력성 증가는 견과류의 지방과 단백질이 케이크 속질 구조의 탄성복원력(elastic restoring force)과 기공 안정성을 높이기 때문이라는 선행연구 결과와 일치한다(Brooker BE 1993; Cauvain SP & Young LS 2009; Wilderjans E 등 2013).

반면, 대조군의 높은 응집성은 버터의 β 형 지방결정과 유단백질이 연속적이고 치밀한 구조를 형성하기 때문으로 판단된다(Armero E & Collar C 1997). 본 연구에서는 견과류 버터 종류에 따라 경도, 부착성, 응집성, 검성, 씹힘성이 모두 다르게 나타났으며, 이는 각 견과류의 지방산 특성과 견과류의 단백질, 유리 아미노산, 고형분 등의 구성 성분 차이가 반죽 및 케이크의 구조에 복합적인 영향을 미친 것으로 사료된다.

6. 특성 차이 검사

견과류 버터로 제조한 파운드 케이크의 결과는 Table 7과 같다. 특성 차이 검사는 파운드케이크의 외관, 냄새, 향미, 조직감, 후미의 5가지 항목에 대한 18가지 항목으로 측정하였다. 외관 항목의 부피(volume) 측정 결과 마카다미아(MC) 6.65 ± 1.69 , 헤이즐넛(HZ) 6.40 ± 1.84 , 잣(PN)이 6.30 ± 1.08 , 피칸(PC) 6.25 ± 1.60 이 상대적으로 높았고, 호두(WN) 4.75 ± 2.22 와 대조군(CON) 3.10 ± 1.86 은 유의적으로 낮은 부피를 보인 것으로 확인되었다($p < 0.001$). 이는 기계로 측정된 부피 및 비용적 결과와는 다소 차이를 보이는데, 기계적 측정값과 달리 시각적 부피감은 케이크 내부 기공의 크기, 분포, 균일성과 같은 구조적 요인에도 복합적으로 영향을 받기 때문이다(Cauvain SP & Young LS 2009; Wilderjans E 등 2013).

껍질의 어두운 정도(crust darkness)도 피칸(PC)과 호두(WN)가 높게 나타났으며($p < 0.001$), 속질의 갈색 정도(crumbs brownness)도 피칸(PC)과 호두(WN)에서 유의적으로 가장 높게 나타났다($p < 0.001$). 이는 견과류 고유의 색과 견과류에 포함된 당과 아미노산이 굽는 과정에서 마이야르 반응을 촉진하여 케이크 속질의 색이 변화한 것으로 이러한 결과는 앞서 측정된 속질의 색도(L, a, b) 결과와 일치한다. 기공의 균일성(cell uniformity)은 대조군(CON)이 가장 균일하게 나타났으며, 호두(WN), 피칸(PC), 마카다미아(MC)가 불균일한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 버터 지방의 균일한 분산과 단백질-지방 구조 형성으로 일정한 기공을 나타내며, 이는 안정적인 조직감을 의미한다. 반면 견과류 버터는 견과류의 지방 및 단백질 조성, 입자 크기 등이 반죽 점도, 지방 분산, 단백질 구조 형성에 영향을 미쳐 기공의 불균일성이 나타낸 결과로 사료된다.

냄새 항목의 계란 냄새(egg odor)와 버터 냄새(butter odor)는 대조군(CON)에서 가장 강하게 평가되었으며, 견과류 버터 케이크에서는 유의적으로 약하게 나타났으며, 특히 피칸

Table 7. Sensory attribute differences of nuts butter pound cake

		CON ¹⁾	PC	PN	WN	MC	HZ	F-value
Appearance	Volume	3.10±1.86 ^c	6.255±1.60 ^a	6.30±1.08 ^a	4.75±2.22 ^b	6.65±1.69 ^a	6.40±1.84 ^a	13.16 ^{***}
	Crust darkness	2.40±1.31 ^d	8.50±0.82 ^c	5.20±1.32 ^c	7.30±1.03 ^b	5.30±1.92 ^c	5.15±2.00 ^c	40.75 ^{***}
	Crumb brownness	1.65±0.87 ^d	7.50±2.01 ^a	5.40±1.27 ^b	7.50±1.05 ^a	4.05±1.46 ^c	3.65±1.63 ^c	51.64 ^{***}
	Cell uniformity	7.70±1.92 ^a	2.10±1.41 ^c	4.25±1.44 ^b	2.05±1.19 ^c	2.80±2.11 ^c	4.10±1.86 ^b	31.42 ^{***}
Odor	Egg odor	6.80±2.09 ^a	1.75±1.25 ^d	6.50±1.67 ^a	2.45±1.31 ^d	5.40±1.63 ^b	4.30±2.15 ^c	29.55 ^{***}
	Savory odor	5.90±2.42 ^{bc}	5.55±2.85 ^{bc}	6.60±1.56 ^{ab}	4.50±2.48 ^c	7.60±1.53 ^a	7.70±2.17 ^a	6.21 ^{***}
	Butter odor	7.98±2.25 ^a	2.00±1.41 ^d	5.1±2.44 ^b	2.90±2.35 ^{cd}	4.80±2.39 ^b	4.20±2.74 ^{bc}	16.07 ^{***}
Flavor	Sweet taste	8.20±1.10 ^a	6.05±2.48 ^{bc}	7.00±1.02 ^{ab}	5.35±2.23 ^c	6.20±2.21 ^{bc}	6.65±2.13 ^{bc}	4.97 ^{***}
	Buttery	8.15±1.56 ^a	2.25±1.80 ^c	5.35±2.68 ^b	2.85±2.00 ^c	4.90±2.77 ^b	4.60±2.56 ^b	16.79 ^{***}
	Nutty flavor	1.70±1.49 ^c	7.25±1.88 ^a	5.05±2.48 ^b	7.20±1.76 ^a	7.10±1.61 ^a	7.65±1.63 ^a	31.06 ^{***}
	Acerbity	1.40±0.68 ^c	5.60±2.81 ^a	3.55±2.66 ^b	5.90±2.29 ^a	3.15±1.78 ^b	4.05±2.43 ^b	11.11 ^{***}
Texture	Hardness	1.55±0.94 ^d	7.20±1.28 ^c	4.35±2.30 ^b	6.90±1.91 ^a	5.45±1.57 ^b	5.30±0.97 ^{bc}	33.71 ^{***}
	Roughness	1.40±0.59 ^c	6.75±1.88 ^a	4.15±2.23 ^b	6.70±2.10 ^a	4.45±1.79 ^b	4.75±2.12 ^b	22.18 ^{***}
	Moistness	8.05±1.05 ^a	3.05±1.82 ^d	6.00±1.80 ^b	4.20±1.82 ^c	5.80±1.43 ^b	5.40±1.46 ^b	22.87 ^{***}
	Stickiness	4.45±2.81 ^b	3.60±2.06 ^b	5.95±1.95 ^a	4.20±2.33 ^b	4.40±1.84 ^b	6.35±0.93 ^a	5.40 ^{***}
	Brittleness	3.05±2.54 ^b	5.20±2.64 ^a	3.15±1.56 ^b	5.05±2.66 ^a	3.95±1.95 ^{ab}	3.50±1.87 ^b	3.48 ^{**}
After taste	Tub-tub	2.40±1.78 ^c	7.30±1.86 ^a	4.65±2.08 ^b	7.10±1.94 ^a	4.90±2.04 ^b	5.45±1.73 ^b	17.72 ^{***}
	Rancid odor	1.40±0.94 ^c	5.40±2.94 ^a	3.40±2.25 ^b	4.60±2.92 ^{ab}	3.35±1.95 ^b	3.90±2.12 ^{ab}	7.02 ^{***}

¹⁾ Refer to the legends in Table 1.

²⁾ Mean±S.D. ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

³⁾ ^{a-d} Means in a row by different superscripts are significantly different at the $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

(PC)과 호두(WN)에서 약하게 나타났다($p<0.001$). 견과류의 고소한 향(savory odor)은 헤이즐넛(HZ)과 마카다미아(MC)에서 강하게 나타났다($p<0.001$). 이는 견과류의 로스팅 과정에서 피라진류, 알데하이드, 케톤이 풍미를 증진시키며 (Alamprese C 등 2009; Pelvan E 등 2012), 견과류 버터 특유의 향미 성분이 기존 버터와 계란의 풍미 강도를 감소시키고, 견과류 고유의 풍미를 더 두드러지게 만들었기 때문으로 판단된다.

다음으로 맛 측정 결과에서 단맛(sweet taste), 버터 풍미(buttery)는 대조군(CON)에서 가장 높았으며, 이는 다른 재료의 영향 없이 버터와 설탕의 맛을 느낄 수 있기 때문으로 판단된다. 특히 호두(WN)의 단맛이 가장 약하게 느껴졌으며, 피칸(PC)과 호두(WN)는 버터 풍미도 가장 약하게 느껴지는 것으로 나타났다($p<0.001$). 이는 견과류 버터의 불포화지방산과 단백질이 당류의 용해 및 분산에 영향을 미쳐 단맛 인지를 감소시키기 때문이라는 선행연구와 일치한다(Guichard

E 2002). 견과류 향미(nutty flavor)는 모든 견과류 버터에서 유의적으로 높게 나타났지만, 잣(PN)은 다른 견과류보다 낮게 나타났다. 이러한 결과는 견과류 고유의 지방산, 아미노산, 휘발성 화합물 등이 복합적으로 작용하여 파운드케이크에 특유의 견과 맛과 복잡한 향미를 부여하기 때문이다. 그러나 잣(PN)은 피놀레산과 같은 지방산 함량이 높아 특유의 부드러운 견과 맛을 제공하지만, 다른 견과류에 비해 낮은 풍미를 형성한다(Miller AE 등 2013). 또한 피칸(PC)과 호두(WN)에서 떫은맛(acerbity)이 높게 나타났는데($p<0.001$), 이는 견과류의 페놀 성분 및 탄닌에 의한 것이며 견과류의 폴리페놀 조성 차이에 따른 결과인 것으로 보고되었다(Jahanban-Esfahian A 등 2019).

질감 항목의 단단함(hardness)은 호두(WN)가 유의적으로 가장 단단한 식감을 보였으며, 대조군(CON)이 가장 낮게 측정되었다($p<0.001$). 이는 호두(WN)의 지방 및 단백질 조성이 반죽의 기포 안정성과 글루텐 구조 형성에 영향을 미쳐

더 단단한 구조를 형성하기 때문인 것으로 생각된다. 입자성 또한 대조군(CON)이 가장 낮았으며, 피칸(PC)과 호두(WN)가 가장 높은 입자성이 있는 것으로 측정되었으며($p<0.001$), 부서짐성(brittleness)은 피칸(PC)과 호두(WN)에서 높게 나타났다($p<0.001$). 촉촉함(moistness)은 대조군(CON)이 가장 높은 수치를 나타냈으며, 피칸(PC)이 가장 건조한 것으로 나타났다($p<0.001$). 이는 버터는 높은 수분 보유력으로 인해 촉촉한 식감을 유지하지만, 피칸의 높은 지방 함량은 밀가루가 수분을 흡수하는 것을 방해한다. 또한 피칸 단백질은 수분을 가두는 글루텐의 구조를 약화시키고, 고형물 입자는 수분이 쉽게 증발하는 거친 기공을 형성하기 때문에(Camera NG 등 2025) 피칸이 가장 건조하게 나타난 것으로 사료된다. 찢들함(stickiness)은 잣(PN)과 헤이즐넛(HZ)이 유의적으로 높게 나타났는데($p<0.001$), 이는 반죽의 지방-전분, 지방-단백질의 상호작용이 구강 점착을 유발할 수 있다는 결과와 일치하였다(Damodaran S 등 2007; Shakerardekani A 등 2013).

후미(after taste)의 경우 텁텁함은 피칸(PC)과 호두(WN)에서 강하게 느껴졌으며($p<0.001$), 이는 입자성과 촉촉함이 낮게 나타난 결과와 유사하게 견과류 케이크의 높은 입자성과 낮은 촉촉함으로 인한 건조한 식감 때문에 섭취 후 입안의 수분이 부족해지는 현상으로 사료된다. 산패취는 피칸(PC)에서 가장 강하게 느껴지는 것으로 나타났는데($p<0.001$), 피칸의 높은 불포화지방산 함량으로 인해 산화에 취약하여 유발된 현상으로 사료된다.

요 약

본 연구는 다양한 건강상의 이점을 갖고 있는 견과류 버터를 버터 대체재로 사용하여 파운드케이크를 제조하고, 품질 특성을 분석함으로써 제품 발전 가능성 및 활용성을 평가하고자 하였다. 이를 위해 파운드케이크를 버터 대조군(CON), 마카다미아(MC), 헤이즐넛(HZ), 피칸(PC), 잣(PN), 호두(WN)를 견과류 버터 100%로 대체하여 제조하였고, 실험을 진행하여 케이크의 기계적, 관능적 차이를 확인하였다. 견과류 버터 사용시 견과류의 지방산 조성, 단백질, 고형분, 폴리페놀 등의 함량으로 인하여, 반죽과 케이크에서 시료 간 유의한 차이가 확인되었다. 반죽의 비중은 대조군(CON)이 가장 낮았고, 호두(WN)가 가장 높았으나, 케이크의 부피 및 비용적은 대조군(CON)이 가장 작았고 마카다미아(MC)가 가장 컸다. 굵기 손실률은 대조군(CON)이 가장 높았고, 헤이즐넛(HZ)이 가장 낮았다. 이는 견과류에 함유된 단백질과 고형분이 굽는 과정에서 가스 보유력을 높여 부피에 기여한 것으로 보인다. 색도는 헤이즐넛(HZ)의 겹질의 L, a, b값이 가장 높게 나타났는데, 이는 헤이즐넛에 함유된 단백질과 아미

노산으로 인해 마이야르 반응에 의해 케이크의 색에 영향을 미친 것으로 사료된다. 조직감은 견과류 버터의 종류에 따라 다양하게 나타났으며, 헤이즐넛(HZ)의 경도, 검성, 씹힘성이 가장 컸으며, 잣(PN)의 부착성과 탄력성이 가장 높게 나타났다. 특성차이 검사는 시료간 유의적인 차이를 보였으며, 견과류 버터의 종류에 따라 특징적인 결과를 보였다. 케이크 속질의 색상은 피칸(PC)과 호두(WN)이 높게 나타나 견과류 고유의 색의 영향에 의한 것으로 생각된다. 부피는 마카다미아(MC)가 가장 높았으며 이는 기계적 특성과 일치하였으며, 기공의 균일함은 견과류 버터에 따라 큰 차이를 보였다. 버터 냄새, 버터 풍미, 달콤한 맛은 대조군(CON)이 가장 높았고, 견과류 풍미는 잣(PN)을 제외한 모든 견과류 버터에서 높게 나타났다. 또한 질감에서도 견과류 버터 종류에 따른 특징들이 나타났으며, 헤이즐넛(HZ)과 호두(WN)는 단단함, 검성, 씹힘성이 높았다. 잣(PN)은 끈적임과 탄력성이 높게 나타났으며, 피칸(PC)과 호두(WN)는 입자성, 텁텁함, 산패취가 강한 것으로 나타났다. 본 연구는 파운드케이크의 버터를 견과류 버터로 100% 대체하여 품질 특성을 평가하고, 버터 대체재로서의 가능성을 탐색하고자 하였다. 연구 결과, 모든 견과류 버터는 파운드케이크에 적용 가능성을 보였으나, 특히 마카다미아 버터와 잣 버터가 기존 버터의 특성과 가장 유사하여 효과적인 대체재가 될 수 있음을 확인하였다. 마카다미아 버터는 기계적 및 관능 부피 평가에서 모두 가장 높은 점수를 받았으며, 잣 버터는 질감과 향미 항목에서 대조군과 가장 유사하여 기존 파운드케이크의 특성을 유지하는데 가장 적합한 것으로 나타났다. 반면, 헤이즐넛과 호두 버터는 상대적으로 단단한 조직을 보였고, 피칸과 호두 버터는 텁텁함과 산패취 등 부정적 관능 특성이 상대적으로 높게 평가되었다. 따라서 마카다미아와 잣 버터는 파운드케이크의 품질 유지 및 향상시키면서 동시에 건강상의 이점을 더할 수 있는 대체재로서 가능성을 시사한다. 향후 연구에서는 마카다미아와 잣의 혼합 비율, MUFA와 PUFA의 혼합 비율이 품질 특성에 미치는 영향에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 본 연구에서는 저장성 평가를 진행하지 않았으므로, 불포화지방산의 산화 민감성을 고려한 저장 중 품질 변화에 대한 후속 연구가 요구된다. 현재 제과 제품에서 견과류 버터 활용 연구는 상대적으로 미흡하므로, 다양한 제품을 대상으로 한 후속 연구가 필요할 것으로 사료된다.

REFERENCES

- AACC (1995) Approved Method of the AACC 9th ed. Methods 72-10. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota, USA.

- AACC (2000) Approved Method of the AACC 10th ed. Methods 10-15. American Association of Cereal Chemists. St. Paul, Minnesota, USA.
- Agrahar Murugkar D, Zaidi A, Kotwaliwale N, Gupta C (2016) Effect of egg replacer and composite flour on physical properties, color, texture and rheology, nutritional and sensory profile of cakes. *J Food Qual* 39(5): 425-435.
- Alamprese C, Ratti S, Rossi M (2009) Effects of roasting conditions on hazelnut characteristics in a two-step process. *J Food Eng* 95(2): 272-279.
- Alasalvar C, Bolling BW (2015) Review of nut phytochemicals, fat-soluble bioactives, antioxidant components and health effects. *Br J Nutr* 113(S2): S68-S78.
- Alasalvar C, Shahidi F, Ohshima T, Wanasundara U, Yurttas HC, Liyanapathirana CM, Rodrigues FB (2003) Turkish Tombul hazelnut (*Corylus avellana* L.). 2. Lipid characteristics and oxidative stability. *J Agric Food Chem* 51(13): 3797-3805.
- Alvarez-Parrilla E, Urrea-López R, de la Rosa LA (2018) Bioactive components and health effects of pecan nuts and their by-products: A review. *J Food Bioact* 1: 56-92.
- Armero E, Collar C (1997) Texture properties of formulated wheat doughs relationships with dough and bread technological quality: Relationships with dough and bread technological quality. *Z Lebensm Unters Forsch A* 204: 136-145.
- Bai SH, Nevenimo T, Hannet G, Hannet D, Jones K, Trueman SJ, Grant EL, Walton DA, Randall B, Wallace HM (2017) Freezing, roasting and salt dipping impacts on peroxide value, free fatty acid and fatty acid concentrations of nut kernels. *Acta Hort* 1256: 71-76.
- Banel DK, Hu FB (2009) Effects of walnut consumption on blood lipids and other cardiovascular risk factors: A meta-analysis and systematic review. *Am J Clin Nutr* 90(1): 56-63.
- Bolling BW, Chen CYO, McKay DL, Blumberg JB (2011) Tree nut phytochemicals: Composition, antioxidant capacity, bioactivity, impact factors. A systematic review of almonds, Brazils, cashews, hazelnuts, macadamias, pecans, pine nuts, pistachios and walnuts. *Nutr Res Rev* 24(2): 244-275.
- Brooker BE (1993) The stabilisation of air in cake batters-the role of fat. *Food Struct* 12(3): 2.
- Bulgaru V, Mazur M, Netebea N, Paiu S, Dragancea V, Gurev A, Sturza R, Sensoy L, Ghendov-Mosanu A (2025) Characterization of plant-based raw materials used in meat analog manufacture. *Foods* 14(3): 483.
- Camera NG, Acosta S, Muchiutti GS, Larrosa VJ (2025) Study on techno-functional properties of pecan flour with different lipid content. *Braz J Food Technol* 28: e2024106.
- Cauvain SP, Young LS (2009) Baked Products: Science, Technology and Practice. Wiley-Blackwell, Oxford, UK. pp 1-2.
- Cerbulis J (1955) Carbohydrates in hazel (*Corylus* sp.). I. major sugar component in Turkish hazelnut kernel. *J Am Chem Soc* 77(22): 6054-6056.
- Choi CS, Lee HD, Kim YS, Park IB, Kim YS (2017) Quality characteristics and antioxidant activity of brewed soy sauce supplemented with walnut. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 46(10): 1222-1229.
- Choi UK (2020) Research on manufacture of a traditional fermented soybean food using nuts. *J Biotechnol Bioind* 8: 22-25.
- Cikrikci S, Yucekutlu M, Mert B, Oztop MH (2017) Physical characterization of low-calorie chocolate formulations. *J Food Meas Charact* 11(1): 41-49.
- Codex (2022) Alimentarius Commission. Standard for butter (CXS 279-1971). Rome: FAO/WHO; amended 2022. <https://www.fao.org> (accessed on 1. 8. 2025).
- Damodaran S, Parkin KL, Fennema OR (2007) Fennema's Food Chemistry. CRC press. pp 1-2.
- Davila M, Liu X, Yusufali Z, Du X (2022) Using texture analyzer to characterize pecan and olive oil tactile properties, compare to viscometer analysis, and link to fatty acid profile and total polyphenols. *J Texture Stud* 53(2): 209-219.
- De Jonge N, Kaszab T, Badak-Kerti K (2023) Physical properties of different nut butters. *Prog Agric Eng Sci* 19(S1): 77-86.
- Devi A, Khatkar BS (2016) Physicochemical, rheological and functional properties of fats and oils in relation to cookie quality: A review. *J Food Sci Technol* 53(10): 3633-3641.
- Ferrari V, Gil G, Heinzen H, Zoppolo R, Ibáñez F (2022) Influence of cultivar on nutritional composition and nutraceutical potential of pecan growing in Uruguay. *Front Nutr* 9: 868054.
- Figoni PI (2011) How Baking Works: Exploring the Fundamentals of Baking Science. 3rd ed. John Wiley &

- Sons, Hoboken, NJ. pp 1-2.
- Gbadamosi SO, Abiose SH, Aluko RE (2012) Amino acid profile, protein digestibility, thermal and functional properties of conophor nut (*Tetracarpidium conophorum*) defatted flour, protein concentrate and isolates. *Int J Food Sci Technol* 47(4): 731-739.
- Grossi Bovi Karatay G, Rebellato AP, Joy Steel C, Dupas Hubinger M (2022) Chickpea aquafaba-based emulsions as a fat replacer in pound cake: Impact on cake properties and sensory analysis. *Foods* 11(16): 2484.
- Guichard E (2002). Interactions between flavor compounds and food ingredients and their influence on flavor perception. *Food Rev Int* 18(1): 49-70.
- Gujral HS, Mehta S, Samra IS, Goyal P (2003) Effect of wheat bran, coarse wheat flour, and rice flour on the instrumental texture of cookies. *Int J Food Prop* 6(2): 329-340.
- Gul O, Gul LB, Baskıncı T, Parlak ME, Sarıcaoglu FT (2023) Influence of pH and ionic strength on the bulk and interfacial rheology and technofunctional properties of hazelnut meal protein isolate. *Food Res Int* 169: 112906.
- Han Z, Zhu M, Wan X, Zhai X, Ho CT, Zhang L (2024) Food polyphenols and Maillard reaction: Regulation effect and chemical mechanism. *Crit Rev Food Sci Nutr* 64(15): 4904-4920.
- International Food Information Council (IFIC) (2024) Food & Health Survey. IFIC; 2024, Washington, DC.
- International Nut and Dried Fruit Council (INC) (2024) Global Statistical Review 2023/2024. Author.
- Jahanban-Esfahlan A, Ostadrahimi A, Tabibiazar M, Amarowicz R (2019) A comprehensive review on the chemical constituents and functional uses of walnut (*Juglans* spp.) husk. *Int J Mol Sci* 20(16): 3920.
- Jaywant SA, Singh H, Arif KM (2022) Sensors and instruments for brix measurement: A review. *Sensors* 22(6): 2290.
- Jin JA, Yoon HH (2020) Quality characteristics of batter type cakes according to different mixing methods. *Korean J Food Cook Sci* 36(4): 322-330.
- Kornsteiner-Krenn M, Wagner KH, Elmadfa I (2013) Phyto-sterol content and fatty acid pattern of ten different nut types. *Int J Vitam Nutr Res* 83(5): 263-270.
- Kwak JS, Park MY, Kwon OR (2014) The effect of walnut (*Juglans regia* L.) intake on improvement of blood lipid levels and vascular health: A meta-analysis. *J Nutr Health* 47(4): 236-246.
- Leahu A, Ghinea C, Ropciuc S (2022) Rheological, textural, and sensorial characterization of walnut butter. *Appl Sci* 12(21): 10976.
- Leal JA, Prieto A, Bernabé M, Hawksworth DL (2010) An assessment of fungal wall heteromannans as a phylogenetically informative character in *Ascomycetes*. *FEMS Microbiol Rev* 34(6): 986-1014.
- Lee J, Surh J (2021) Matrix effect of pistachio powder on the quality characteristics and oxidation stability of deep-fried doughnuts. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 50(11): 1239-1247.
- Lee JE (2024) Quality characteristics and antioxidant activity of Ganache chocolate with added pecan powder. MS Thesis Kyonggi University, Kyonggi. pp 1-2.
- Lee SW, Rhee C (2000) Emulsifying and rheological properties of the pine nut's extracts. *Korean J Food Sci Technol* 32(5): 1093-1101.
- Lee YJ, Lee S, Jin SY, Jeong HJ, Jeong SH (2024) Quality characteristics of madeleines with added peanut sprout powder. *J Korean Soci Food Sci Nutr* 53(2): 184-190.
- Linlaud N, Ferrer E, Puppo MC, Ferrero C (2011) Hydrocolloid interaction with water, protein, and starch in wheat dough. *J Agric Food Chem* 59(2): 713-719.
- Maguire LS, O'Sullivan SM, Galvin K, O'Connor TP, O'Brien NM (2004) Fatty acid profile, tocopherol, squalene and phytosterol content of walnuts, almonds, peanuts, hazelnuts and the macadamia nut. *Int J Food Sci Nutr* 55(3): 171-178.
- Manley D (2011) Manley's Technology of Biscuits, Crackers and Cookies. 4th ed. Woodhead Publishing, Cambridge, UK. pp 1-2.
- Market Research Future (MRFR) (2023) Nut Butters Market Forecast Report 2022-2030. <https://www.marketresearchfuture.com> (accessed on 1. 8. 2025).
- Market Research Future (MRFR) (2024) Nut Butters Market Insights: Premium Spreads & Consumer Trends 2025 to 2035. <https://www.marketresearchfuture.com> (accessed on 2. 8. 2025).
- Martins SIFS, Jongen WMF, van Boekel MAJS (2001) A review of Maillard reaction in food and implications to kinetic modelling. *Trends Food Sci Technol* 11: 364-373.
- McGee H (2004) On Food and Cooking: The Science and Lore of the Kitchen. New York, NY, Scribner. pp 1-2.
- Miller AE, Chambers IVE, Jenkins A, Lee J, Chambers DH (2013) Defining and characterizing the "nutty" attribute across food categories. *Food Qual Prefer* 27(1): 1-7.

- Muego KF, Resurreccion AVA, Hung YC (1990) Characterization of the textural properties of spreadable peanut based products 1. *J Texture Stud* 21(1): 61-74.
- Müller AK, Helms U, Rohrer C, Möhler M, Hellwig F, Gleit M, Schwerdtle T, Lorkowski S, Dawczynski C (2020) Nutrient composition of different hazelnut cultivars grown in Germany. *Foods* 9(11): 1596.
- Niihara R (1994) Effects of lipids on the texture of bread with different protein content. *Journal of Home Economics of Japan* 45(10): 891-898.
- Nursten HE (2005) The Maillard reaction: Chemistry, biochemistry, and implications. Royal Society of Chemistry, London. pp 1-2.
- Ohlsson TA, van der Rijst M, Marais J (2025) Sensory quality of macadamia nut butter: Effects of kernel grade and maturity. *Food Sci Nut* 13(8): e70773.
- Park GS, An SH (2012) Quality characteristics of pound cake added with *Angelica gigas* Nakai powder. *Korean J Food Cook Sci* 28(4): 463-471.
- Pelvan E, Alasalvar C, Uzman S (2012) Effects of roasting on the antioxidant status and phenolic profiles of commercial Turkish hazelnut varieties (*Corylus avellana* L.). *J Agric Food Chem* 60(5): 1218-1223.
- Psimouli V, Oreopoulou V (2012) The effect of alternative sweeteners on batter rheology and cake properties. *J Sci Food Agric* 92(1): 99-105.
- Rosa LA, Alvarez-Parrilla E, Shahidi F (2011) Phenolic compounds and antioxidant activity of kernels and shells of Mexican pecan (*Carya illinoensis*). *J Agric Food Chem* 59(1): 152-162.
- Sahi SS, Alava JM (2003) Functionality of emulsifiers in sponge cake production. *J Sci Food Agric* 83(14): 1419-1429.
- Shahidi F, Hossain A (2022) Role of lipids in food flavor generation. *Molecules* 27(15): 5014.
- Shahidi-Noghabi M, Naji-Tabasi S, Sarraf M (2019) Effect of emulsifier on rheological, textural and microstructure properties of walnut butter. *J Food Meas Charact* 13: 785-792.
- Shakerardekani A (2015) Factors affecting production, sensory properties and oxidative stability of nut butters and nut spreads: A review. *American Journal of Food Science and Nutrition Research* 2(3): 83-88.
- Shakerardekani A, Karim R, Ghazali HM, Chin NL (2013) Textural, rheological and sensory properties of nut spreads: A review. *Int J Mol Sci* 14(2):4223-4241.
- Shuai X, McClements DJ, Geng Q, Dai T, Ruan R, Du L, Liu Y, Chen J (2023) Macadamia oil-based oleogels as cocoa butter alternatives: Physical properties, oxidative stability, lipolysis, and application. *Food Res Int* 172: 113098.
- Stevens-Barrón JC, de la Rosa LA, Wall-Medrano A, Álvarez-Parrilla E, Rodríguez-Ramirez R, Robles-Zepeda RE, Astiazaran-García H (2019) Chemical composition and *in vitro* bioaccessibility of antioxidant phytochemicals from selected edible nuts. *Nutrients* 11(10): 2303.
- Taş NG, Gökmen V (2017) Maillard reaction and caramelization during hazelnut roasting: A multi-response kinetic study. *Food Chem* 221: 1911-1919.
- Tosh, S. M., Yada, S (2010) Dietary fibres in pulse seeds and fractions: Characterization, functional attributes, and applications. *Food Res Int* 43(2): 450-460.
- Toyosaki T (2018) Effects of medium-chain triacylglycerols on Maillard reaction in bread baking. *J Sci Food Agric* 98(8): 3169-3174.
- Tu XH, Wu BF, Xie Y, Xu SL, Wu ZY, Lv X, Wei F, Du LQ, Chen H (2021) A comprehensive study of raw and roasted macadamia nuts: Lipid profile, physicochemical, nutritional, and sensory properties. *Food Sci Nut* 9(3): 1688-1697.
- USDA (2023) Food Data Central, Macadamia Nuts, Raw. U.S. Department of Agriculture. Nut Butters Market Insights - Premium Spreads & Consumer Trends 2025 to 2035. <https://fdc.nal.usda.gov> (accessed on 2. 8. 2025)
- Venkatachalam M, Sathe SK (2006) Chemical composition of selected edible nut seeds. *J Agric Food Chem* 54(13): 4705-4714.
- Voiniciuc C, Dama M, Gawenda N, Stritt F, Pauly M (2019) Mechanistic insights from plant heteromannan synthesis in yeast. *Proc Natl Acad Sci USA* 116(2): 522-527.
- Wagener EA, Kerr WL (2018) Effects of oil content on the sensory, textural, and physical properties of pecan butter (*Carya illinoensis*). *J Texture Stud* 49(3): 286-292.
- Wang R, Tian X, Li Q, Liao L, Wu S, Tang F, Shen S, Liu Y (2022) Walnut pellicle color affects its phenolic composition: Free, esterified and bound phenolic compounds in various colored-pellicle walnuts. *J Food Compos Anal* 109: 104470.
- Whitfield FB (1992) Volatiles from interactions of Maillard

- reactions and lipids. *Crit Rev Food Sci Nutr* 31(1-2): 1-58.
- Wilderjans E, Luyts A, Brijs K, Delcour JA (2013) Ingredient functionality in batter type cake making. *Trends Food Sci Technol* 30(1): 6-15.
- Willett W, Rockström J, Loken B, Springmann M, Lang T, Vermeulen S, Garnett T, Tilman D, DeClerck F, Wood A, Jonell M, Clark M, Gordon LJ, Fanzo J, Hawkes C, Zurayk R, Rivera JA, De Vries W, Majele Sibanda L, Afshin A, Chaudhary A, Herrero M, Agustina R, Branca F, Lartey A, Fan S, Crona B, Fox E, Bignet V, Troell M, Lindahl T, Singh S, Cornell SE, Srinath Reddy K, Narain S, Nishtar S, Murray CJL (2019) Food in the anthropocene: The EAT-lancet commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet* 393(10170): 447-492.
- Wojdylo A, Turkiewicz IP, Tkacz K, Nowicka P, Bobak Ł (2022) Nuts as functional foods: Variation of nutritional and phytochemical profiles and their *in vitro* bioactive properties. *Food Chem X* 15: 100418.
- Wood FW, Murphy MF, Dunkley WL (1975). Influence of elevated polyunsaturated fatty acids on processing and physical properties of butter. *J Dairy Sci* 58(6): 839-845.
- World Health Organization (WHO) (2019) Sustainable Healthy Diets: Guiding principles. Food & Agriculture Org.
- World Health Organization (WHO) (2023) Saturated Fatty Acid and Trans-Fatty Acid Intake for Adults and Children: WHO guideline.
- Zamora R, Hidalgo FJ (2005) Coordinate contribution of lipid oxidation and Maillard reaction to nonenzymatic food browning. *Crit Rev Food Sci Nutr* 45(1): 49-59.
- Zhang H, Zhao X, Chen X, Xu X (2022) Recent progresses in improving O/W interfacial properties of proteins through various strategies. *Front Nutr* 9: 1043809.
- Zheng Y, Wu S, Wang R, Wu Y, Zhang W, Han Y, Tang F, Shen D, Liu Y (2020) Analysis and correlation of chemical components of various walnut (*Juglans regia* L.) cultivars. *J Food Meas Charact* 14: 3605-3614.

Date Received	Sep. 2, 2025
Date Revised	Sep. 8, 2025
Date Accepted	Sep. 9, 2025