



ISSN 1229-8565 (print) ISSN 2287-5190 (on-line)
한국지역사회생활과학회지 37(1): 15~30, 2026
Korean J Community Living Sci 37(1): 15~30, 2026
<http://doi.org/10.7856/kjcls.2026.37.1.15>

사과껍질분말 첨가 쌀 모닝빵의 영양성분

이 남 현 · 정 복 미^{1)†}

전남대학교 식품영양학과 박사 · 전남대학교 식품영양과학부 교수¹⁾

Morning Bread Prepared with Apple Peel Powder - Nutritional Information

Nam-Hyun Lee · Bok-Mi Jung^{1)†}

Doctor, Dept. Food and Nutr, Chonnam National University, Gwangju, Korea
Professor, Division of Food and Nutr, Chonnam National University, Gwangju, Korea¹⁾

ABSTRACT

This study analyzed the proximate composition, amino acids, fatty acids, free sugars, organic acids, and mineral content of strong rice flour-based morning bread made with 0, 4, 8, and 12% (based on rice flour) of apple peel powder (APP). As the amount of APP increased, crude protein and crude fat decreased in the proximate composition of the morning bread, while dietary fiber increased. Also, the total amino acid content of the morning bread decreased. However, the ratio of glutamic acid and branched-chain amino acids did not change, and sulfur-containing amino acid content decreased. Further, the fatty acid composition showed a decrease in saturated fatty acids, and the unsaturated/saturated fatty acid ratio increased from 1.13 to 1.21. Additionally, fructose, glucose, and maltose increased, doubling the total sugar content. Oxalic acid and adipic acid decreased, while malic acid and acetic acid increased. Also, sodium (Na) decreased, potassium (K) and magnesium (Mg) increased, and the Na/K ratio improved from 3.5 to less than 2.0. Thus, it may be concluded that adding 8-12% APP to morning bread can be beneficial to health, as it is low in fat, high in dietary fiber, and high in minerals.

Keywords: apple peel, morning bread, amino acid, fatty acid, mineral, organic acid, free sugar

I. 서론

사과는 플라보노이드, 펙틴, 아스코르브산이 풍부하고 지방, 나트륨, 칼로리 함량이 낮은 영양가 있

고 건강한 과일 중 하나로 인식되고 있다(Lonçar et al. 2022).

사과 과피에 함유되어 있는 파이토케미컬을 대

Received: 14 January, 2026 Revised: 11 February, 2026 Accepted: 26 February, 2026

[†]Corresponding Author: Bok-Mi Jung Tel: +82-62-530-1353 E-mail: jbm@jnu.ac.kr

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

상으로 한 연구에서 triterpenoid는 염증과 관련한 다양한 유전자의 발현을 저해하였으며, 염증성 사이토카인인 IP-10, sICAM, IL-23 및 GRO α 의 합성을 억제시켰다(Mueller et al. 2013). 사과 과육에는 거의 존재하지 않으나 과피에 대부분 존재하는 quercetin은 COX 및 LOX의 생성을 억제하고(Kim et al. 1998; Lee et al. 2010), TNF- α 를 저해하며(Chuang et al. 2010), nitric oxide 생성 및 nitro oxide synthase (NOS) 발현을 감소시킨다고 보고되었다(Ortega et al. 2010).

한편 쌀은 단백질이 다른 곡류에 비해 우수하며, 나트륨이나 지방 함량이 낮으며, 냄새가 자극적이지 않고 색도 깨끗하며, 알레르기를 유발하지 않는 대표적인 곡류로 가공식품을 만드는데 매우 좋은 소재이다(Shin 2010). 쌀은 오리자놀, 페놀성 물질, 안토시아닌, 플라보노이드, 카로티노이드, 사포닌, 비타민 E 및 기타 다양한 건강에 영향을 미치는 생리활성 성분이 함유되어 있으며, 그 생리활성 화합물은 간 보호, 항염, 신경 보호, 지질 저하, 콜레스테롤 저하, 대사 조절 효과, 심혈관 질환 및 비만으로부터의 보호와 같은 수많은 건강상의 이점을 가지고 있다(Abid et al. 2024).

쌀 소비량 감소폭이 커짐에 따라 쌀 생산량이 더 줄어드는 악순환의 문제를 해결하기 위해 쌀의 장점과 쌀이 원료가 된 제품이 어떤 식품을 대체할 수 있을지를 찾고 쌀을 이용한 가공품을 개발하기 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.

한국농수산식품유통공사 2018년 보고에 의하면 1인 하루 빵 섭취량은 2012년 18.2 g에서 2016년 20.9 g으로 15% 가량 증가 추이를 보였다. 이런 결과로 건강식이면서 맛과 영양까지 충족시켜 주는 쌀 베이커리가 대체할 수 있는 식품의 폭이 넓어지기 시작했고, 1인가구의 증가와 지속적인 라이프스타일의 변화는 쌀베이스에 고급 식재료

첨가를 이용한 건강 맞춤형 식품류, 힐링을 위한 디저트류, 고급 답례품류의 시장을 성장시켜 나가고 있다(Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation 2018).

줄어드는 쌀 소비량에 대한 문제해결 방안으로 쌀 가공품이 개발되고 있고, 점차적으로 소비자의 니즈(needs) 및 소비 트렌드에 따라 쌀 베이커리 시장에 커다란 변화가 일고 있다. 밥 대신 빵으로 식습관이 변해가는 추세에 따라 쌀 섭취만으로 부족한 영양분을 보완하기 위해 여러 가지 재료를 첨가하는 베이커리가 증가하고 있다(Ryoo 2020). 쌀빵에 관한 연구는 다수성 통일형 쌀가루의 첨가 비율별 모닝빵의 품질 특성(Sim et al. 2019), 쌀가루를 이용한 쌀 식빵의 영양분석(Lee 2018), 쌀가루의 종류를 달리하여 제조한 머핀의 품질특성(Chu et al. 2023), 갈색겨저리 유충 분말을 첨가한 쌀 잉글리시 머핀의 품질 특성(Lee et al. 2023) 등이 있다.

이와 같이 주로 쌀을 이용한 빵에 관한 연구는 많지 않으며, 연구 또한 품질특성에 관한 연구가 주류를 이루고 있으며, 영양분석은 다른 재료를 첨가하지 않은 쌀빵에 제한되어 있다. 그러므로 본 연구에서는 과일 부산물인 사과껍질을 이용하고 밀가루 대신 시판용 강력 쌀가루를 이용하여 모닝빵을 제조하여 영양성분을 분석하여 소비자들에게 기초자료를 제공하기 위해 실시하였다.

II. 연구방법

1. 실험 재료

본 연구에 사용한 강력쌀가루는 (주)대두식품(Kunsan, Korea)에서 구입하였으며, 원재료는 쌀이 75.6% 함유되었고 나머지는 프랑스산 밀을 포함한 글루텐, 텍스트린, 혼합제제(변성전분, 설탕분말), 포도당 등이 포함되었다.

사과껍질 분말(100% Gyeongbuk)은 ㈜에프엔 디큐엘(Mungyeong, Korea) 제품을, 사용하였다. 부재료는 전란액(Moguchon, Seoul, Korea), 우유(Maeil Dairies, Seoul, Korea), 설탕(CheilJedang, Seoul, Korea), 소금(Haepyo, Seoul, Korea), 버터(Seoulmilk, Yangju, Korea), 인스턴트 드라이이스트(Saf-instant, Lesaffre, France)를 사용하였다.

2. 사과껍질 분말 첨가 모닝빵 제조

사과껍질분말 첨가 쌀 모닝빵은 다음의 공정으로 제조하였다. 쌀가루(520 g), 우유(260 g), 계란(110 g), 설탕(90 g), 소금(8 g), 버터(70 g), 이스트(8g)를 사용하였으며, 사과껍질 분말은 쌀가루 대비 0, 4, 8, 12% 수준으로 첨가하였다. 반죽기(Fountner, VFM10A, China)에 쌀가루, 설탕, 소금, 이스트를 혼합하고 계란, 우유를 첨가하여 2분간 1단(저속)으로 13분간 반죽하였다. 반죽 후 발효기(Rakom. RJDNP-40-2-2, Korea) 온도 약 32 °C, 상대습도(RH) 60% 조건에서 50분간 1차 발효 후, 40 g씩 분할하여 둥근 형태로 성형하고 발효기에서 추가로 60분간 발효하였다. 이후 오븐(Softmill, DHO2-33, Korea) 위불 175 °C, 아래불 180 °C로 15분간 구운 후 실온에서 충분히 냉각시켜 시료로 사용하였다.

3. 일반성분 분석

일반성분 분석은 AOAC(2000) 방법에 따라 수행하였다. 수분 함량은 105 °C에서 항량에 도달할 때까지 건조하여 측정하였다. 조회분은 550 °C 회화로에서 6시간 회화한 후 측정하였다. 조단백질은 원소분석기(vario Max Cube, DKSH Co., Korea)를 이용하여 시료의 총 질소 함량을 분석한 후, 환산계수 6.25를 적용하여 계산하였다. 조지방 함량

은 n-헥산을 이용해 추출한 후 측정하였다. 탄수화물 함량은 100%에서 수분, 조회분, 조단백질 및 조지방을 각각 차감하여 계산하였다.

4. 식이섬유소 분석

사과껍질 분말 첨가 모닝빵의 총 식이섬유는 AOAC 공식법 991.43(2016, 효소·중량법)을 약식 변형하여 측정하였다. 각 시료 1.0 g(건량 기준)을 탈지하지 않고 50 mM MES 완충액(pH 8.0) 40 mL와 혼합한 뒤 다음 순서로 효소 처리하였다: (1) 고온 안정성 α -아밀라아제 50 μ L, 100 °C 30분 가열 교반 후 (2) pH 7.5로 조정 후 프로테아제 50 mg, 60 °C에서 30분 방치 후 (3) pH 4.5로 조정 후 아밀로글루코시다아제 150 μ L, 60 °C에서 30분간 방치하고, 반응액을 100 mL까지 증류수로 정용한 뒤, 0.5 μ m 글라스필터(코크 번호 2)로 진공 여과하였다. 여과 잔사는 95% 에탄올 3회 세척 후 105 °C에서 5시간 건조한 후, 525 °C 회화하여 불용성 식이섬유를 구하였다. 여과액은 4배 부피(95% 에탄올)로 침전하고 60 °C에서 60분간 방치 후 동일 방식으로 여과하고 건조·회화하여 수용성 식이섬유를 얻었다. 각 잔사의 질량에서 잔류 단백질(켈달 질소 \times 시료에 따른 환산계수)과 회분을 공제한 값을 불용성 식이섬유, 수용성 식이섬유로 환산하였으며 총 식이섬유는 불용성과 수용성을 합하여 계산하였다. 모든 분석은 3회 반복 측정하였고, 수분 함량을 보정하여 결과를 g/100 g 시료(건량)로 보고하였다. 분석 정확도 검증을 위해 상용 표준물질(Wheat bran TDF, Megazyme, Ireland)을 동시 분석하였다.

5. 아미노산 분석

모닝빵 분말 0.5 g을 정밀히 칭량한 후, 6 N HCl 15 mL를 가하여 진공 펌프를 이용해 진공

상태에서 ampoule에 밀봉하였다. 이후 110 °C에서 24시간 동안 가수분해를 진행하였으며, 가수분해 후 시료는 45 °C에서 감압 농축하여 잔류 산을 완전히 제거하였다. 남은 가수분해 잔액은 구연산 나트륨 완충용액(pH 2.2)을 이용하여 25 mL로 정용하였고, 이를 0.45 μ m membrane filter로 여과하여 분석용 시료로 사용하였다(AOAC 994.12, 2006).

구성아미노산 분석은 형광검출기(fluorescence detector)가 장착된 자동 아미노산 분석기(Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 이용하였으며, OPA(*o*-phthalaldehyde) 유도체화 방법에 따라 수행하였다. 분석에는 Shim-pack AMINO-Na column (6.0 \times 100 mm)을 사용하였고, 완충용액의 유속은 0.6 mL/min, OPA 시약의 유속은 0.3 mL/min으로 설정하였다. 형광검출은 excitation 파장 350 nm, emission 파장 450 nm 조건에서 진행하였다.

6. 지방산 분석

지방산 분석은 시료 5 g을 정밀히 칭량한 후 균질화하고, chloroform-methanol 혼합용액(2:1, v/v)을 시료 대비 10배량 첨가하여 지질을 추출하였다. 추출된 용액은 여과 후 감압 농축하였으며, 회수된 지질은 AOAC(2000) 방법에 따라 14% BF₃-methanol 용액을 첨가하여 methylation을 수행하였다. 이 과정을 통해 생성된 지방산 메틸에스터(fatty acid methyl esters, FAMES)는 가스 크로마토그래피(GC) 분석에 사용하였다.

GC 분석은 gas chromatograph(GC-2010, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)를 이용하여 수행하였으며, 컬럼으로는 SP-2560 fused silica capillary column(100 m \times 0.25 mm i.d., 0.20 μ m film thickness, Supelco Inc., Bellefonte, PA, USA)을 사용하였다. 오븐 온도는 초기 150

°C에서 5분간 유지한 후, 3 °C/min의 속도로 상승시켜 250 °C에서 5분간 유지하였다. 운반기체로는 helium을 사용하였고, 유속은 18 cm/sec, split 비율은 1:50으로 설정하였다. 검출기는 flame ionization detector(FID)를 사용하였으며, 주입구와 검출기의 온도는 각각 270 °C 및 250 °C로 설정하였다.

7. 유기산 및 유리당 분석

1) 시료 전처리

시료 5 g에 80% ethanol 20 mL를 가하여 grinder(IKA, Germany)로 균질화한 후, 250 mL 둥근바닥 플라스크에 옮기고 80% ethanol 80 mL를 추가하였다. 플라스크는 환류냉각기에 연결한 뒤, 80 °C 수욕상에서 3시간 동안 환류 추출을 실시하였다. 추출이 완료된 용액은 6,000 rpm(약 650 \times g)에서 30분간 원심분리한 후, 상등액을 여과지(Whatman No. 1)를 이용해 여과하였다. 여과액은 회전식 진공농축기(rotary evaporator, CCA 1110, Eyela Co., Tokyo, Japan)를 이용하여 ethanol을 완전히 제거하여 약 1 mL로 농축하였다. 농축액은 증류수를 이용해 10 mL로 정용한 뒤, 이 중 3 mL를 0.45 μ m membrane filter로 여과하여 유기산 및 유리당 분석용 시료로 사용하였다.

2) 유리당 분석

유리당 분석은 Shimadzu 환원당 분석 시스템(Shimadzu Co., Kyoto, Japan)을 이용하여 수행하였다(Shin et al. 2015). 분석 장비는 LC-20AD 펌프, SIL-20AC 오토샘플러, CTO-20AC 컬럼 오븐, RF-10Axi 형광 검출기(Excitation 320 nm, Emission 430 nm), CBR-6A 반응기, CBM-20A 컨트롤러 및 LC Workstation 소프트웨어로 구성

되었다. 분리는 이온교환 컬럼 Shim-pack ISA-07 (4.0 × 250 mm)과 ISA-guard(4.0 × 50 mm)를 사용하였으며, 이동상으로는 potassium borate buffer(A 용액: pH 8, B 용액: pH 9)를 사용하고 gradient 방식으로 적용하였다.

Gradient 조건은 B 용액을 0분에 0%에서 시작하여 50분까지 점차적으로 100%까지 증가시킨 후, 65분부터 0%로 되돌려 총 분석 시간을 90분으로 설정하였다. 이동상의 유속은 0.6 mL/min, post-column 반응시약의 유속은 0.5 mL/min으로 설정하였으며, 시료는 10 µL 주입하였다. 유도체화 반응은 1% arginine과 3% boric acid를 포함한 혼합 용액을 반응시약으로 사용하고, CBR-6A 반응기 내에서 150 °C에서 수행하였다. 환원당 표준물질은 탈이온수에 용해하여 0.5~20 µg/mL 범위로 검량선을 작성하였으며, 피크 면적을 기준으로 정량 분석하였다.

3) 유기산 분석

유기산 분석은 환류 추출 및 여과 과정을 거친 시료를 Shimadzu 유기산 분석 시스템(Shimadzu Co., Kyoto, Japan)을 이용하여 post-column 유도체화 방식으로 수행하였다(Shin et al. 2015). 분석 시스템은 LC-20AD 펌프, SIL-20AC 오토샘플러, CTO-20AC 컬럼 오븐, 전도도 검출기(CDD-10A), CBM-20A 컨트롤러 및 LC Workstation 소프트웨어로 구성되었다. 분리는 이온교환 컬럼인 Shim-pack SPR-102H(7.8 × 250 mm)를 2개 직렬 연결하여 사용하였고, 전처리 컬럼으로 SPR-H guard column(7.8 × 50 mm)을 적용하였다. 이동상으로는 4 mM p-toluenesulfonic acid를 사용하였으며, 유속은 0.8 mL/min, 시료 주입량은 10 µL로 설정하였다.

Post-column 유도체화 반응에는 16 mM Bis-

Tris 용액에 4 mM p-toluenesulfonic acid와 100 µM EDTA를 포함한 반응시약을 사용하였다. 검출은 전도도 검출기(conductivity detector, CDD)를 이용하여 수행하였고, 총 분석 시간은 30분이었다. 유기산 표준물질은 탈이온수에 용해하여 0.1~30 µg/mL 농도로 희석하였으며, 피크 면적을 기준으로 정량하였다.

8. 미네랄 분석

시료 약 0.5 g을 정밀히 칭량하여 microwave 전용 Teflon 분해 용기에 넣고, 65% 질산 7 mL를 가한 뒤 반응 가스를 제거하였다. 이어서 2 mL의 과산화수소를 첨가한 후, 용기를 밀봉하여 microwave 분해장치에서 200 °C, 1,000 W 조건으로 2단계(1차 10분, 2차 20분)로 분해하였다. 분해가 완료된 시료는 실온에서 냉각한 뒤 용기의 뚜껑을 열고, 증류수로 희석하여 잔류 산을 제거하였다. 이후 1% 질산을 이용하여 최종 부피가 10 mL가 되도록 정용하였으며, 이 용액을 미네랄 분석에 사용하였다.

전처리된 시료는 유도결합플라즈마 질량분석기(ICP-MS, NexION 300, Perkin Elmer Co., Waltham, MA, USA)를 이용하여 분석하였다. ICP-MS의 분석 조건은 RF 파워 1.2 kW(27.12 MHz), 냉각 가스 유속 7.0 L/min, 보조 가스 유속 1.50 L/min, 캐리어 가스 유속 0.56 L/min으로 설정하였고, 시료 주입 깊이는 5 mm로 하였다. 샘플링 인터페이스는 구리(Cu)를 사용하였다.

9. 통계처리

본 실험에 대한 결과는 SPSS 통계 소프트웨어(Version 29.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하였다. 모든 결과는 평균 ± 표준편차로 나타내었으며, 시료 간 차이는 일원분산분석(one-way

ANOVA)으로 검정하였다. 이후 $p < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test를 수행하여 유의성을 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 일반성분

사과껍질 분말(apple-peel powder, 이하 APP)의 첨가량을 달리하여 제조한 모닝빵의 일반성분 결과는 Table 1과 같다. 수분 함량은 8.3~8.5% 범위로 처리구 간 유의한 차이를 보이지 않았으나, 12% 첨가구에서 약간 상승하였다. 이는 APP에 다량 함유된 펙틴과 헤미셀룰로오스가 반죽 및 열처리 과정에서 자유수를 결합·보유한 결과로, 식이섬유 첨가 시 파리노그래프상의 수분 흡수가 증가한다는 선행 보고와 일치하였다(Usman et al. 2020). 조단백질 함량은 APP 첨가비가 증가함에 따라 17.43%에서 15.67%로 유의하게($p < 0.05$) 감소하였다. 이는 APP의 단백질 함량이 2.7~3.0% 수준으로 보고되어(Henriquez et al. 2010), 고단백 쌀가루(18%)에 비해 현저히 낮았기 때문에 치환률이 높아질수록 희석 효과가 두드러졌고, 글루텐 첨가량이 일정하게 유지되더라도 반죽 전체의 단백질 농도가 감소한 결과로 해석된다. 이러한 결과는 고단백 쌀가루를 활용한 글루텐프리 제빵에서도 저단백 원료의 치환 비율이 일정 수준을 초과할 경우 단백질 희석 효과가 우세함을 나타내며, 이는 Paz et al.(2021)의 결과와도 동일하였다. 조지방 함량 역시 10.97%에서 9.33%로 유의하게($p < 0.01$) 감소하였다. APP의 조지방이 1% 내외로 낮은 점에 더해, 펙틴의 높은 유지 흡착력이 가열 과정에서 지질 성분의 손실을 촉진한 결과로 판단된다(Nakov et al. 2020). 반면 회분 함량은 1.83~1.90% 범위로 처리 구 간 유의한 차이가 없었는데, 이는 APP와 쌀가루의 미네랄 함량이

유사하여 치환으로 인한 희석·농축 효과가 상쇄되었으며 210 ℃의 단시간 굽기 공정에서 미네랄 손실이 제한적이었기 때문이다. 탄수화물 함량은 APP 첨가 비율 증가에 따라 61.30%에서 64.63%로 직선적으로 상승하였다. 단백질·지방 감소에 따른 상대적 비율 증대뿐만 아니라, APP가 가용성·불용성 식이섬유를 다량 함유하고 있어 전체 탄수화물 함량을 끌어올린 결과이다(Bhushan et al. 2008). 식이섬유 함량을 분석한 결과, 대조구(0%)의 1.85 g/100 g이 4% 첨가구에서 2.63 g, 8%에서 3.54 g, 12%에서 4.35 g/100 g으로 선형적($R^2 = 0.98$)·유의한($p < 0.01$) 상승을 나타냈다(Table 1). 이는 APP 자체의 총 식이섬유가 19~20 g/100 g 수준(Bhushan et al. 2008)으로 보고된바 있어 이를 제품에 첨가하게 되면 낮아지나 첨가량이 증가할수록 높아지는 것을 알 수 있었다. 실제로 8% 이상 첨가군은 3 g/100 g 이상으로 국내 식품표시 기준의 '식이섬유 함유' 요건을 충족하였고, 12% 첨가군(4.35 g)은 '고식이섬유' 수준에 근접하였다. 따라서 APP 치환은 단백질·지방 희석에도 불구하고 빵의 기능성 성분 밀도를 실질적으로 향상시키는 것으로 평가된다.

영양학적 관점에서 볼 때, APP 12% 치환 시 단백질과 지방이 각각 약 10% 감소하여 에너지 밀도가 낮아졌으며, 총 식이섬유는 대조구 대비 약 2.5배 증가하였다(Usman et al. 2020). 본 제품에도 이러한 기능성이 부가될 것으로 기대된다. 전반적으로 APP를 최대 12%까지 첨가한 모닝빵은 저단백·저지방·고식이섬유 특성을 나타냈다. 본문에 나타내지는 않았지만 사과 모닝빵의 감각 평가에서 전반적 기호도는 12% 첨가군에서 가장 높은 값을 나타냈는데 이는 사과 껍질 분말 첨가가 향미와 맛을 개선하여 전반적 기호도를 높이는 긍정적 효과를 제공하였음을 나타냈다. 다만, 질감

Table 1. Proximate composition of rice flour-based morning bread supplemented with different amounts of apple peel powder

	Morning bread with apple peel				F-value
	0%	%	8%	12%	
Moisture (%)	8.47 ± 0.38 ¹⁾	8.37 ± 0.35	8.33 ± 0.42	8.53 ± 0.35	0.18 ^{N.S.}
Crude protein (%)	17.43 ± 0.85 ^{a2)}	16.93 ± 0.70 ^{ab}	16.27 ± 0.64 ^{bc}	15.67 ± 0.70 ^c	3.38 [*]
Crude fat (%)	10.97 ± 0.50 ^a	10.73 ± 0.45 ^{ab}	10.03 ± 0.40 ^{bc}	9.33 ± 0.35 ^c	8.79 ^{**}
Ash (%)	1.87 ± 0.12	1.90 ± 0.10	1.87 ± 0.12	1.83 ± 0.06	0.22 ^{N.S.}
Carbohydrate (%) ³⁾	61.30 ± 2.95	62.07 ± 2.64	63.50 ± 2.69	64.63 ± 3.11	0.81 ^{N.S.}
Dietary fiber (g/100 g)	1.85 ± 0.28	2.63 ± 0.12 ^c	3.54 ± 0.23 ^b	4.35 ± 0.37 ^a	8.05 ^{**}

¹⁾Values are expressed as mean ± SD (n=3).

²⁾Means with different superscript letters (a-d) in the same row are significantly different at p<0.05 according to Duncan's multiple range test.

³⁾Carbohydrate content was calculated by difference: 100 - (moisture + crude protein + crude fat + ash).

*p<0.05, **p<0.01

N.S. : Not Significant

기호도의 저하는 일부 부정적 요인으로 작용하였으나, 향미와 맛의 긍정적 효과가 이를 상쇄한 것으로 보였다.

2. 아미노산 조성

Table 2는 사과껍질 분말(apple-peel powder, APP)을 달리하여 제조한 모닝빵의 아미노산 결과이다. 대조구의 총 아미노산 함량은 20,172 mg/100 g(as-is)이었으나 APP를 12%까지 대체한 처리구에서는 17,260 mg/100 g으로 약 14.5%가 감소하였다. 필수아미노산(EAA) 합계 역시 6,924 mg에서 5,533 mg으로 줄어들어 필수아미노산/총아미노산 비율이 34.3%에서 32.1%로 2.2% 낮아졌으며, 이는 APP가 필수아미노산 특히 황(S)함유 아미노산을 거의 함유하지 않는 원료라는 점과 밀접하게 연관된다(Usman et al. 2020).

반면 메티오닌과 시스틴처럼 황을 포함한 아미노산은 APP 첨가 수준이 상승함에 따라 각각 44~46%까지 급감하였다. 사과껍질 단백질은 메티오닌과 시스틴이 극히 미량이며, 이러한 황함유 아미노산은 고온 공정에서 산화·분해 속도가 빠른

특성을 보여 손실이 가중된 것으로 보인다(Fărcas et al. 2022). 리신은 548 mg에서 492 mg으로 10% 내외 감소하여 상대적 변동 폭이 비교적 완만하였으나, 빵 굽기 과정에서 리신의 ε-아미노기가 환원당과 Maillard 반응에 참여하여 비가용화되는 경향이 있음을 고려하면(Tamanna & Mahmood 2015), 실질적 생체 이용률은 수치 이상으로 낮아졌을 가능성이 크다. 류신·이소류신·발린으로 대표되는 가지사슬 아미노산은 약 13~15% 감소하였고, 프로린(p<0.001)·알라닌(p<0.01)·글라이신(p<0.001) 등 비필수 아미노산 역시 유의하게 낮아졌다. 이러한 광범위한 감소는 반죽·발효 단계에서 효모 및 내재 효소가 단백질을 부분 가수분해하면서 일부 아미노산이 펩타이드 형태로 전환되거나, 굽기 단계에서 Strecker 분해를 거쳐 휘발성 화합물로 전환된 데 기인한다고 해석된다.

아미노산 감소의 공적적 원인을 종합하면 다음과 같다. 첫째, 배합 단계에서 APP가 저단백·저필수아미노산 원료이므로 고단백 쌀가루와 글루텐이 희석되었다. 둘째, 발효 동안 효모 프로테아제가 활성화되어 자유아미노산이 증가하였으나, 이

Table 2. Amino acid composition of rice flour-based morning bread supplemented with different amounts of apple peel powder

Amino acids	Morning bread with apple peel								F-value
	0%		4%		8%		12%		
Aspartic	1,284.37 ± 37.82 ^{1)a2)}	1,087.13 ± 25.97 ^b	1,024.00 ± 19.68 ^c	992.33 ± 28.38 ^c	62.46 ^{***}				
Threonine	758.47 ± 16.83 ^a	623.63 ± 12.47 ^b	611.83 ± 13.01 ^b	568.23 ± 17.89 ^c	87.25 ^{***}				
Serine	1,152.30 ± 26.10 ^a	1,025.87 ± 21.99 ^b	990.60 ± 12.59 ^b	932.67 ± 21.25 ^c	58.42 ^{***}				
Glutamic	5,544.67 ± 139.09	5,539.20 ± 174.96	5,544.97 ± 132.40	5,499.90 ± 125.31	0.07 ^{N.S.}				
Proline	1,861.60 ± 51.70 ^a	1,616.90 ± 32.56 ^b	1,547.43 ± 44.17 ^{bc}	1,504.87 ± 33.95 ^c	44.62 ^{***}				
Glycine	703.00 ± 14.66 ^a	651.30 ± 16.06 ^b	632.80 ± 16.80 ^b	601.13 ± 18.01 ^c	20.24 ^{***}				
Alanine	723.83 ± 19.21 ^a	702.23 ± 19.51 ^a	668.00 ± 14.79 ^b	644.27 ± 13.11 ^b	13.16 ^{**}				
Cystine	394.03 ± 8.72 ^a	275.20 ± 6.24 ^b	257.20 ± 6.45 ^c	251.27 ± 6.30 ^c	275.88 ^{***}				
Valine	950.33 ± 19.94 ^a	907.43 ± 21.65 ^b	876.73 ± 27.62 ^b	819.10 ± 18.64 ^c	18.49 ^{**}				
Methionine	582.37 ± 18.52 ^a	373.77 ± 8.66 ^b	336.67 ± 7.75 ^c	311.13 ± 6.72 ^d	350.55 ^{***}				
Isoleucine	784.27 ± 16.47 ^a	748.67 ± 17.90 ^b	722.50 ± 21.82 ^b	673.17 ± 15.99 ^c	19.83 ^{***}				
Leucine	1,523.23 ± 37.44 ^a	1,480.13 ± 29.07 ^a	1,412.40 ± 36.29 ^b	1,320.17 ± 30.60 ^c	20.90 ^{***}				
Tyrosine	647.93 ± 14.79 ^a	516.03 ± 13.81 ^b	502.77 ± 10.36 ^b	458.50 ± 10.81 ^c	125.96 ^{***}				
Phenylalanine	1,106.83 ± 21.80 ^a	1,017.03 ± 23.21 ^b	958.83 ± 26.81 ^c	897.30 ± 23.64 ^d	41.62 ^{***}				
Histidine	669.93 ± 15.35 ^a	525.73 ± 14.99 ^b	503.47 ± 12.32 ^b	450.97 ± 5.90 ^c	162.74 ^{***}				
Lysine	548.73 ± 14.57 ^a	547.63 ± 12.10 ^a	516.73 ± 16.35 ^b	492.37 ± 14.70 ^b	10.46 ^{**}				
Arginine	936.73 ± 20.40 ^a	884.27 ± 20.75 ^b	840.87 ± 18.01 ^c	842.53 ± 18.90 ^c	16.00 ^{**}				
Total ³⁾	20,172.67 ± 477.89 ^a	18,522.23 ± 563.24 ^b	17,947.77 ± 405.70 ^{bc}	17,260.0 ± 376.61 ^c	21.78 ^{***}				

¹⁾Values are expressed as mean ± SD (n=3).

²⁾Means within a row with different superscript letters (a-d) are significantly different (p<0.05) according to Duncan's multiple range test.

³⁾Total amino acid content is calculated as the sum of all quantified amino acids (mg/100 g sample).

p<0.01, *p<0.001

N.S. : Not Significant

는 이후 열처리에서 마이알 반응의 기질로 소비되는 이중적인 효과를 나타냈다. 셋째, 210 °C의 단시간 굽기 과정에서는 리신과 아르지닌 같은 α-, ε-아미노기가 당류와 반응하거나 Strecker 분해를 겪으며 비가용 또는 휘발성 형태로 손실되었다 (Tamanna & Mahmood 2015). 마지막으로, 원료 자체의 아미노산 불균형, 특히 S-함유 아미노산의 결핍이 총량·조성 변화를 가장 크게 좌우하였다 (Fărcaș et al. 2022).

영양 평가 측면에서 필수아미노산/총아미노산 비율이 32% 수준으로 FAO/WHO 권장치인 40%

에는 미달하지만, 가지사슬아미노산 비중은 여전히 높아 근육 단백질 합성과 관련된 기능성은 유지되었다. 리신과 S-함유 아미노산의 상대적 결핍을 개선하기 위해서는 대두·완두 단백질 등 해당 아미노산이 풍부한 식물성 원료를 복합 적용하거나, 효소적 교차결합 공정을 통해 리신 손실을 최소화하는 제과·제빵 기술이 필요하다 (Day 2013). 또한 APP 첨가로 총 식이섬유와 폴리페놀 함량이 증가하여 항산화 기능은 향상될 것으로 기대되므로 (Tsoupras et al. 2024), 단백질 보완 전략을 병행할 경우 '고식이섬유·저지방·항산화'라는 장

점을 유지하면서 아미노산 영양 균형을 개선한 기능성 모닝빵 개발이 가능할 것이다.

요컨대 APP를 12%까지 첨가한 쌀 모닝빵은 총 단백질 및 다수 아미노산 함량이 희석·열손실 효과로 감소하였으나, 글루탐산과 일부 가지사슬 아미노산은 상대적 안정성을 보였다. 따라서 본 제품이 지닌 기능성 소재로서의 가치를 극대화하려면 단백질 품질 보강과 가공 공정 최적화를 병행하는 다각적 접근이 요구된다.

3. 지방산 조성

Table 3은 사과껍질 분말 첨가 모닝빵의 지방산 조성을 분석한 결과이다. 포화지방산비율은 35.5%에서 34.2%로 완만하게 감소한 반면 단일 불포화 지방산은 4%와 8%에 비해 12%에서 유의하게 ($p < 0.05$) 증가하였다. 다불포화지방산은 처리구간 유의한 차이가 없었다. 이는 APP 자체가 리놀레산·올레산 등 불포화지방산을 풍부하게 함유(총 49.3%)한다는 선행연구(Fotirić Akšić et al. 2021; Fărcăș

Table 3. Fatty acid composition of rice flour-based morning bread supplemented with different amounts of apple peel powder

Fatty acid	Morning bread with apple peel				F-value
	0%	4%	8%	12%	
Capric acid (C10:0)	0.48 ± 0.00 ¹⁾	0.50 ± 0.00	0.50 ± 0.00	0.50 ± 0.00	-
Lauric acid (C12:0)	0.34 ± 0.00	0.30 ± 0.00	0.30 ± 0.00	0.30 ± 0.00	-
Myristic acid (C14:0)	1.33 ± 0.03 ^{a2)}	1.23 ± 0.06 ^b	1.20 ± 0.00 ^b	1.23 ± 0.06 ^b	4.00*
Pentadecanoic acid (C15:0)	0.10 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.10 ± 0.00	-
Palmitic acid (C16:0)	28.89 ± 2.29 ^a	30.17 ± 0.64 ^b	28.70 ± 0.61 ^b	27.77 ± 0.65 ^b	9.15**
Heptadecanoic acid (C17:0)	0.71 ± 0.00	0.70 ± 0.00	0.67 ± 0.06	0.63 ± 0.06	1.83 ^{N.S.}
Stearic acid (C18:0)	1.83 ± 0.06 ^b	1.83 ± 0.06 ^b	1.80 ± 0.00 ^b	1.93 ± 0.06 ^a	4.00*
Arachidic acid (C20:0)	1.29 ± 0.00 ^a	1.20 ± 0.00 ^b	1.17 ± 0.06 ^b	1.17 ± 0.06 ^b	7.17*
Behenic acid (C22:0)	0.49 ± 0.00	0.50 ± 0.00	0.50 ± 0.00	0.50 ± 0.00	-
Lignoceric acid (C24:0)	0.11 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.10 ± 0.00	-
Saturated³⁾	35.53 ± 2.38^{ab}	36.70 ± 0.89^a	35.00 ± 0.78^b	34.23 ± 0.81^b	4.89*
Myristoleic acid (C14:1)	0.40 ± 0.00	0.40 ± 0.00	0.40 ± 0.00	0.40 ± 0.00	-
Palmitoleic acid (C16:1)	0.70 ± 0.00	0.70 ± 0.00	0.70 ± 0.00	0.73 ± 0.06	1.00 ^{N.S.}
Oleic acid (C18:1n9)	22.80 ± 2.72	22.10 ± 0.44	22.30 ± 0.53	22.87 ± 0.60	1.25 ^{N.S.}
Eicosenoic acid (C20:1)	0.39 ± 0.00	0.40 ± 0.00	0.40 ± 0.00	0.37 ± 0.06	1.00 ^{N.S.}
Monounsaturated	24.26 ± 2.72^a	23.50 ± 0.62^b	23.60 ± 0.44^b	24.30 ± 0.72^a	1.53*
Linoleic acid (C18:2n6)	38.24 ± 4.02	37.77 ± 0.87	39.27 ± 0.85	39.40 ± 0.87	2.38 ^{N.S.}
γ-Linolenic acid (C18:3n6)	0.39 ± 0.00	0.30 ± 0.00	0.30 ± 0.00	0.30 ± 0.00	-
Linolenic acid (C18:3n3)	1.60 ± 0.01 ^b	1.63 ± 0.06 ^b	1.63 ± 0.06 ^b	1.77 ± 0.06 ^a	6.56*
Polyunsaturated	39.97 ± 4.03	39.80 ± 0.82	41.23 ± 1.05	41.43 ± 0.92	2.23^{N.S.}

¹⁾Values are expressed as mean ± SD (n=3).

²⁾Means with different superscript letters (a-d) within a row are significantly different at $p < 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

³⁾Saturated, monounsaturated, and unsaturated fatty acid contents are calculated as the sum of individual identified fatty acids in each category.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

N.S. : Not Significant

et al. 2022)와 일치하였다. 특히 리놀렌산(C18:2 n-6)은 38.2%에서 39.4%로, α -리놀렌산(C18:3 n-3)은 1.60%에서 1.77%로 각각 증가하여 n-6 뿐 아니라 n-3 필수지방산 공급도 개선되었다.

개별 포화지방산중 팔미트산(C16:0)은 28.9%에서 27.8%로 감소하였고 중쇄지방산 (C10:0~C14:0)도 APP 첨가량 증가에 따라 완만히 줄었다. 반면 스테아르산 (C18:0)은 APP 12% 처리구에서 소폭 상승하였으나 절대량이 낮아 전체 포화지방산 변화에는 제한적이었다. APP에 비교적 많이 존재하는 스테아르산 2.8%와 팔미트산 19.4%의 조성 (Fotirić Akšić et al. 2021; Fărcăş et al. 2022)이 빵의 포화지방산 프로필을 부분적으로 보정한 결과로 해석된다. 단일불포화지방산의 주성분인 올레산(C18:1 n-9)은 22.8%에서 22.9% 수준으로 큰 변동이 없었으나, 리놀렌산과 α -리놀렌산 증가로 불포화/포화 비율은 1.13에서 1.21로 약 7% 향상되었다. 일반적으로 불포화/포화 비가 0.45 이상이면 혈중 LDL-콜레스테롤 개선 및 심혈관 위험 감소에 긍정적이라는 보고(Berto et al. 2015)와 비교할 때, 본 제품은 이미 권장치를 상회하는 지방산 지수를 갖추고 있으며 APP 첨가로 추가 개선되었다. 또한 포화/불포화 비율의 하락은 제빵 제품의 산화안정성을 저하할 수 있으나, APP가 제공하는 폴리페놀·토코페롤류 항산화제가 지질 산패를 억제한다는 연구(Henriquez et al. 2010; Rutkowska et al. 2020)를 고려하면 저장 중 품질 저하 위험은 상쇄될 것으로 예상된다. 실제로 APP 12% 첨가구의 퍼옥사이드값과 TBARS 수치(not shown data)도 대조구보다 낮았다. 즉 APP 8~12% 첨가는 모닝빵의 지방산 지질지수를 저포화 지방산·고불포화지방산 방향으로 개선하고 n-3·n-6 필수지방산 공급을 강화한다. 이는 포화지방 섭취 저감 및 불포화지방 대체를 권장하는 최신

식품 가이드라인에 부합하며, APP의 식이섬유·항산화 기능과 시너지를 이루어 건강지향성 제빵 소재로서의 활용 가치를 뒷받침한다.

4. 유리당 함량

사과껍질 분말 첨가 모닝빵의 유리당 분석 결과 (Table 4), 총당 함량은 10.10에서 20.83 g/100 g으로 두 배 이상 증가하였다. 이는 APP 자체의 당류가 43 g/100 g 수준으로 보고되는 점(Filip et al. 2016)과 일치하며, APP에 포함된 과당·포도당이 반죽에 직접 기여한 데 기인한다. 모든 처리구에서 자당(sucrose)은 검출되지 않았다. 이는 제빵용 효모가 보유한 invertase가 혼합 직후 당을 완전 가수분해해 포도당과 과당으로 전환하기 때문이며(Timmermans et al. 2022), APP에 존재하던 0.55 g/100 g 자당도 동일 과정을 거쳐 소실된 것으로 판단된다.

과당은 3.51에서 9.69 g/100 g, 포도당은 3.27에서 6.13 g/100 g으로 선형 증가하였다. 두 당류 모두 APP가 다량 함유(과당 26.1 g, 포도당 12.8 g/100 g)하는 단당으로서 직접 전이된 분획이 크며, 자당 가수분해 산물까지 더해져 상승 폭이 확대되었다. 과당의 상대적 증가율이 더 컸던 것은 과당/포도당 비가 높은 APP 특성과 함께 효모의 포도당 우선 이용(glucose repression)에 따라 과당이 반죽에 잔류했기 때문으로 해석된다. 맥아당(maltose)은 2.03에서 3.43 g/100 g으로 약 69% 증가하였다. APP 자체의 맥아당이 3.10 g/100 g으로 비교적 높았던 점 외에도, β -아밀라아제가 반죽 전분을 가수분해해 맥아당을 지속적으로 생성한 결과(Shintani et al. 2021)가 복합적으로 작용하였다. 맥아당은 발효 초기에 효모의 주요 기질로 활용되지만, 잔류량이 상승한 것은 APP 유래 과당·포도당이 풍부해 효모가 맥아당까지 완

Table 4. Free-sugar profile of rice flour-based morning bread supplemented with different amounts of apple peel powder

Free sugar	Morning bread with apple peel				F-value
	0%	4%	8%	12%	
Sucrose	ND ¹⁾	ND	ND	ND	-
Cellobiose	Trace ³⁾	0.11 ± 0.00 ²⁾	0.09 ± 0.00	0.10 ± 0.00	-
Maltose	2.03 ± 0.06 ^{4d)}	2.69 ± 0.10 ^c	3.17 ± 0.06 ^b	3.43 ± 0.06 ^a	225.78 ^{***}
Lactose	1.03 ± 0.06 ^b	1.23 ± 0.06 ^a	1.23 ± 0.06 ^a	1.27 ± 0.06 ^a	10.25 ^{**}
Rhamnose	Trace	Trace	Trace	Trace	-
Ribose	0.17 ± 0.06	0.13 ± 0.06	0.19 ± 0.01	0.21 ± 0.00	1.83 ^{N.S.}
Mannose	0.09 ± 0.00	ND	ND	ND	-
Fructose	3.51 ± 0.02 ^d	6.79 ± 0.17 ^c	7.81 ± 0.26 ^b	9.69 ± 0.17 ^a	577.43 ^{***}
Galactose	Trace	Trace	Trace	Trace	-
Xylose	Trace	Trace	Trace	Trace	-
Glucose	3.27 ± 0.06 ^d	4.13 ± 0.06 ^c	5.40 ± 0.17 ^b	6.13 ± 0.15 ^a	327.70 ^{***}
Total ⁵⁾	10.10 ± 0.33 ^d	15.09 ± 0.45 ^c	17.89 ± 0.55 ^b	20.83 ± 0.44 ^a	400.93 ^{***}

¹⁾ND: Not detected.

²⁾Values are expressed as mean ± SD (n=3).

³⁾Trace: Detected at levels less than 0.01 g/100 g.

⁴⁾Means within a row with different superscript letters (a-d) are significantly different at p<0.05 according to Duncan's multiple range test.

⁵⁾Sum of all quantified sugars

p<0.01, *p<0.001

N.S. : Not Significant

전히 소비할 필요가 없었기 때문으로 보인다.

젖당(lactose)은 1.03에서 1.27 g/100 g으로 소폭 증가했는데, 이는 제형에 사용된 탈지분유 고형분의 균일 첨가량이 유지됐기 때문이다. 리보스와 셀로비오스는 APP 첨가군에서만 0.19~0.21 g/100 g 범위로 검출되었는데, 각각 APP 핵산 분해산물과 셀룰로오스 부분 가수분해 산물로 추정된다. 만노스·갈락토스·자일로스 등은 미량 또는 불검출 수준이었으며, 이는 발효·굽기 과정에서 효모 및 열에 의해 대부분 대사되거나 분해된 것으로 판단된다. 총 유리당이 4% 첨가 시 49%, 12% 첨가 시 106% 증가함에 따라 반죽의 환원당(reducing sugar) 함량이 확대되었다. 이는 굽기 동안 Maillard 반응을 촉진해 껍질 색도 및 향미

를 강화할 수 있으나, 과도할 경우 갈변과 산패가 가속될 가능성도 있다. 다만 APP가 공급하는 폴리페놀 항산화제가 열·산화 스트레스를 완충할 수 있다는 보고가 있어(Henriquez et al. 2010), 저장 안정성 저하는 제한적일 것으로 예상된다.

APP 8-12% 첨가는 자당이 완전히 가수분해된 반죽에서 과당·포도당·맥아당을 유의하게 증가시켜 총 유리당을 증가시켰다. 이러한 변화는 감미·갈변·향미 증진 측면에서 긍정적이며, 동시에 효모가 이용할 발효 기질을 넉넉히 제공해 가스 생산성도 향상시킬 것으로 기대된다. 다만 당류 과다로 인한 열적 갈변 과속화와 수분활성 상승을 고려해 굽기 온도·시간 최적화 연구가 후속으로 요구된다.

5. 유기산 조성

사과껍질 분말 첨가 모닝빵의 유기산을 분석한 결과(Table 5) 총 유기산 함량은 대조구(461.5 mg/100 g)에서 12% 첨가구(406.7 mg/100 g)로 약간 감소하였다. 그러나 개별 유기산 구성이 크게 재편되면서 빵의 산미·보존성·영양적 특성이 질적으로 변화하였다. 무첨가구에서 많은 함량을 보인 수산(305 mg)과 아디프산(34.9 mg)은 APP 치환이 증가함에 따라 각각 40% 이상, 60% 이상 감소하였다. 사과껍질에는 두 유기산이 검출되지 않거나 극미량에 불과하다는 보고(Li et al. 2020)를 반영한 원료 희석 효과로 해석된다. 특히 옥살산 저감은 칼슘과 불용성 옥살레이트를 형성해 체내 흡수를 저해할 가능성을 낮춰 영양적 이점을 제공한다.

APP 12% 처리구에서 말산 함량은 3.54에서

113.1 mg/100 g으로 30배 이상 증가하였다. 말산이 사과류 총 유기산의 70~90%를 차지한다는 선행 연구(Li et al. 2020)와 일치하며, APP가 반죽에 그대로 전이된 결과이다. 동시에 초산은 4.90에서 40.37 mg/100 g으로 8배가량 늘었다. 초산 증가는 APP 자체 기여(63 mg/100 g) 외에도 효모 대사 중 초산 생성이 촉진된 데 기인한다. 초산·사과산 증대는 상쾌한 산미와 함께 항균 작용을 통해 제품의 미생물적 안정성을 높일 가능성이 크다(De Luca et al. 2021).

반면 젖산과 호박산은 각각 55%가량 줄어들었다. 산성화된 반죽에서는 젖산균·효모가 생성하는 젖산·숙신산이 억제된다는 보고가 있으며, 산도가 높을수록 두 유기산은 빵 굽기 중 쉽게 휘산·분해된다(Perez-Alvarado et al. 2022). APP 첨가로 초기 pH가 낮아지면서 미생물 합성이 억

Table 5. Organic acid profile of rice flour-based morning bread supplemented with different amounts of apple peel powder

Organic acid	Morning bread with apple peel				F-value
	0%	4%	8%	12%	
Oxalic	305.20 ± 6.76 ^{1a2)}	286.57 ± 5.71 ^b	243.30 ± 5.19 ^c	183.27 ± 5.78 ^d	253.82 ^{***}
Citric	32.27 ± 2.72 ^a	29.73 ± 0.67 ^b	31.27 ± 0.40 ^a	32.23 ± 0.75 ^a	10.01 ^{**}
Tartaric	1.92 ± 0.06 ^a	0.19 ± 0.00 ^c	0.21 ± 0.00 ^c	0.41 ± 0.00 ^b	2,532.00 ^{***}
Malic	3.54 ± 0.12 ^d	36.43 ± 0.75 ^c	72.53 ± 2.05 ^b	113.10 ± 2.55 ^a	2,360.61 ^{***}
Succinic	18.31 ± 1.40 ^a	17.10 ± 0.40 ^b	12.90 ± 0.35 ^c	8.17 ± 0.25 ^d	501.81 ^{***}
Lactic	34.55 ± 2.93 ^a	18.47 ± 0.51 ^b	16.93 ± 0.38 ^c	15.47 ± 0.31 ^d	693.11 ^{***}
Formic	ND ³⁾	ND	ND	ND	-
Acetic	4.90 ± 0.10 ^d	23.43 ± 0.58 ^c	36.27 ± 1.12 ^b	40.37 ± 0.90 ^a	1267.00 ^{***}
Adipic	34.87 ± 1.10 ^a	17.53 ± 0.45 ^b	15.01 ± 0.30 ^c	13.73 ± 0.29 ^d	736.84 ^{***}
Propionic	ND	ND	ND	ND	-
Total ⁴⁾	461.50 ± 16.35 ^a	429.40 ± 8.40 ^b	428.37 ± 11.01 ^b	406.67 ± 9.45 ^c	14.95 ^{**}

¹⁾Values are expressed as mean ± SD (n=3).

²⁾Means within a row followed by different superscript letters (a-d) are significantly different at p<0.05 using Duncan's multiple range test.

³⁾ND: Not detected.

⁴⁾Total organic acid content was calculated as the sum of individually quantified acids.

p<0.01, *p<0.001

제되고 열분해가 가속된 결과로 보인다. 구연산은 30 mg 내외로 처리 간 큰 차이를 보이지 않았다. APP와 쌀가루가 모두 소량의 구연산을 포함하고, 발효-소성 과정의 생성·소실이 균형을 이룬 것으로 판단된다. 구연산, 호박산 등 기타 유기산은 극미량 수준을 유지했다.

APP 12% 첨가구에서 사과산, 초산 합계가 150 mg 이상으로 증가함에 따라 완제품 pH가 대조구 대비 약 0.15 단위 낮아졌고(not shown data), 이는 산미·향미 강화와 함께 곰팡이·세균의 증식을 억제할 것으로 기대된다. 수산과 아디프산의 현저한 감소는 미네랄 킬레이트 형성을 억제해 칼슘·마그네슘 흡수 저해를 완화할 가능성이 있다. APP 첨가로 모닝빵의 유기산 조성은 고 수산·저 사과산에서 저 수산·고 사과산·고 초산' 구조로 전환되었다. 이는 산미 향상, 보존성 강화, 미네랄 흡수 저해 감소 등 다면적 이점을 제공하며, APP

기반 기능성 제빵 소재의 가치를 뒷받침한다. 향후 저장 중 산미 지속성과 미생물 억제 효과를 정량적으로 검증할 필요가 있다.

6. 미네랄 조성 변화

사과껍질 분말 첨가 모닝빵의 미네랄 측정 결과 (Table 6), 총 미네랄 함량(측정 8종 합계)은 대조구 705.8 mg에서 12% 첨가구 723.4 mg/100 g(as-is)으로 소폭 증가하였다. 그러나 원소별 변화 양상은 뚜렷한 양극화를 보였다. 먼저 나트륨(Na)은 467에서 416 mg으로 11% 감소하였다. 사과껍질의 Na 함량이 30 mg/100 g 내외로 매우 낮다는 보고(Kumar et al. 2018)와 부합하는 원료 희석 효과가 주된 원인이다. 반면 칼륨(K)은 133에서 205 mg으로 53% 증가하였다. 같은 논문에서 사과 껍질의 K 함량이 약 800 mg/100 g으로 제시되었으며(Kumar et al. 2018), 이는 쌀

Table 6. Mineral profile of rice flour-based morning bread supplemented with different amounts of apple-peel powder

Mineral	Morning bread with apple peel				F-value
	0%	4%	8%	12%	
Na	467.38 ± 13.77 ^{1)a2)}	442.84 ± 10.60 ^b	436.03 ± 8.40 ^c	416.14 ± 11.89 ^d	10.44 ^{**}
Ca	84.32 ± 1.87 ^a	81.33 ± 1.62 ^{ab}	80.70 ± 1.72 ^{ab}	79.46 ± 2.51 ^b	3.33 [*]
K	133.65 ± 3.02 ^d	154.84 ± 3.32 ^c	181.12 ± 2.29 ^b	204.76 ± 4.67 ^a	243.47 ^{***}
Mg	16.56 ± 0.41 ^c	17.09 ± 0.54 ^c	18.01 ± 0.43 ^b	19.34 ± 0.44 ^a	21.33 ^{***}
Cu	0.11 ± 0.00 ^a	0.09 ± 0.01 ^b	0.09 ± 0.01 ^b	0.09 ± 0.00 ^{ab}	3.17 [*]
Mn	0.24 ± 0.00 ^a	0.23 ± 0.01 ^a	0.23 ± 0.01 ^a	0.21 ± 0.01 ^b	14.25 ^{**}
Fe	1.68 ± 0.05 ^b	1.68 ± 0.05 ^b	1.74 ± 0.04 ^{ab}	1.77 ± 0.04 ^a	3.40 [*]
Zn	1.86 ± 0.04 ^a	1.78 ± 0.04 ^b	1.76 ± 0.05 ^b	1.67 ± 0.04 ^c	10.95 ^{**}
Total ⁴⁾	705.80 ± 19.17	699.88 ± 16.18	719.69 ± 12.93	723.43 ± 19.59	1.18 ^{N.S.}

¹⁾Values are expressed as mean ± SD (n=3).

²⁾Means within a row followed by different superscript letters (a-d) are significantly different at p<0.05 using Duncan's multiple range test.

³⁾ND: Not detected.

⁴⁾Sum of all quantified mineral elements.

p<0.01, *p<0.001

N.S. : Not Significant

가루(약 120 mg/100 g)에 비해 월등히 높아 치환 비율이 올라갈수록 반죽 내 K가 크게 증가하였다. 그 결과 Na/K 비는 3.5에서 2.0 이하로 개선되었는데, 이는 나트륨·칼륨 비가 낮을수록 혈압과 심혈관계 위험이 유의하게 감소한다는 메타분석 결과(Perez & Chang 2014)와 일치한다.

마그네슘(Mg)도 16.6에서 19.3 mg으로 16% 상승하였다. APP가 35~40 mg/100 g 수준의 Mg를 함유하는 것으로 보고되어(Kumar et al. 2018) 치환에 따른 농축 효과가 반영된 결과이다. 철(Fe)과 아연(Zn)은 1.68~1.77 mg, 1.67~1.86 mg 범위에서 미세한 변동만 나타났으며, 이는 APP(Fe 약 2.0 mg, Zn 약 0.4 mg)와 쌀가루(Fe 0.6 mg, Zn 1.4 mg)의 상반된 함량 차이가 상쇄된 탓으로 해석된다(Shahidi & Naczk 2003). 칼슘(Ca)은 84에서 79 mg으로 6% 감소하였다. APP의 Ca 수준이 40 mg/100 g 내외로 쌀가루(약 90 mg/100 g)보다 낮은 데다, 앞서 보고한 옥살산 감소로 가용화된 Ca 일부가 반죽·소성 과정에서 용출된 결과일 가능성이 있다. 구리(Cu), 망간(Mn)은 0.1~0.24 mg 범위에서 유의한 경향을 보이지 않았다.

요컨대 APP 8~12% 첨가는 모닝빵의 미네랄 프로필을 저나트륨·고칼륨·고마그네슘 구조로 재편하여 Na/K 지수와 필수 전해질 균형을 개선하였다. 이는 나트륨 섭취 감소와 칼륨 섭취 확대를 동시에 권장하는 현대 영양 가이드라인과 부합하며, 심혈관 건강 지향 제품 개발에 기여할 수 있다. 향후 연구에서는 APP 첨가가 저장·해동 과정에서 미네랄 용출 및 생체 이용률에 미치는 영향을 추가로 검증할 필요가 있다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 강력쌀가루 기반 모닝빵 제조시 사과껍질 분말(apple-peel powder, APP)을 0, 4, 8, 12%(쌀가루 기준) 수준으로 첨가하여 제조한 빵의 일반성분·아미노산·지방산·유리당·유기산·미네랄을 분석하였다. 사과껍질 첨가량 증가에 따른 모닝빵의 일반성분에서 조단백과 조지방은 감소한 반면, 식이섬유는 증가하였다. 사과껍질 첨가량이 증가함에 따라 모닝빵의 아미노산 총량은 감소하였으나 글루탐산·가지사슬아미노산의 비율은 변화가 없었고, 황함유 아미노산은 감소하였다. 지방산 조성은 사과껍질 첨가량 증가에 따라 포화지방산이 감소하였고 불포화/포화지방산 비가 1.13에서 1.21로 증가하였다. 유리당은 사과껍질 첨가량 증가에 따라 과당·포도당·맥아당이 증가하여 총당이 두 배로 증가하였다. 유기산은 사과껍질 첨가량 증가에 따라 옥살산·아디픽산이 감소하였고 말산, 아세트산은 증가하였다. 미네랄은 사과껍질 첨가량 증가에 따라 나트륨은 감소하였고, 칼륨·마그네슘이 증가하였으며, Na/K 비는 3.5에서 2.0 미만으로 개선되었다. 전반적으로 모닝빵 제조시 사과껍질 8-12%첨가는 저지방·고식이섬유, 고미네랄 제품으로 구성되어 건강에 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

References

- Abid J, Ahmed S, Xia T, Wang M(2024) Rice as a nutritional grain: examining its role in healthy products and disease prevention. *Food Rev Intern* 40(9), 3055-3078. doi:10.1080/7559129.2024.2335897
- AOAC(2000) Official Methods of Analysis of AOAC International, 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA
- AOAC(2006) Official Method 994.12: amino acids in feeds-Performic acid oxidation with acid

- hydrolysis-Ion-exchange chromatography method. In: Horwitz W, Latimer GW, eds. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th ed. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA
- AOAC(2016) Official Method 991.43. Total dietary fiber in foods-enzymatic-gravimetric method. In: latimer GW Jr, ed. Official Methods of Analysis of AOAC International. 20th ed. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA
- Berto A, da Silva AF, Visentainer JV, Matsushita M, de Souza NE(2015) Proximate compositions, mineral contents and fatty acid compositions of native Amazonian fruits. *Food Res Intern* 77, 441-449. doi:10.1016/j.foodres.2015.08.018
- Bhushan S, Kalia K, Sharma M, Singh B, Ahuja PS (2008) Processing of apple pomace for bioactive molecules. *Critical Rev Biotechnol* 28(4), 285-296. doi:10.1080/07388550802368 895
- Chu JH, Choi JH, Go ES, Choi HY(2023) Quality characteristics of muffins prepared with different types of rice flour. *Korean J Food Preserv* 30(4), 630-641. doi:10.11002/kjfp.2023.30.4.630
- Chuang CC, Martinez K, Xie G, Kennedy A, Bumrungpert A, Overman A, Jia W, McIntosh MK(2010) Quercetin is equally or more effective than resveratrol in attenuating tumor necrosis factor- α mediated inflammation and insulin resistance in primary human adipocytes. *Am J Clin Nutr* 92, 1511-1521. doi:10.3945/ajcn.2010.29807
- Day L(2013) Proteins from land plants-Potential resources for human nutrition and food security. *Trends Food Sci Tech* 32, 25-42. doi:10.1016/j.tifs.2013.05.005
- De Luca L, Aiello A, Pizzolongo F, Blaiotta G, Aponte M, Romano R(2021) Volatile organic compounds in breads prepared with different sourdoughs. *Appl Sci* 11(3), 1330. doi:10.3390/app11031330
- Fărcăș AC, Socaci SA, Chiș MS, Dulf FV, Podea P, Tofană M(2022) Analysis of fatty acids, amino acids and volatile profile of apple by-products by GC-MS. *Molecules* 27(6), 1987. doi:10.3390/molecules27061987
- Filip M, Vlassa M, Coman V, Halmagyi A(2016) Simultaneous determination of glucose, fructose, sucrose and sorbitol in the leaf and fruit peel of different apple cultivars by HPLC-RI. *Food Chemistry* 199, 653-659. doi:10.1016/j.foodchem.2015.12.060
- Fotirić Akšić M, Lazarević K, Šegan S, Natić M, Tosti T, Ćirić I, Meland M(2021) Assessing the fatty acid, carotenoid and tocopherol compositions of seeds from apple cultivars (*Malus domestica* Borkh.) grown in Norway. *Foods* 10(8), 1956. doi:10.3390/foods10081956
- Henríquez C, Speisky H, Chiffelle I, Valenzuela T, Araya M, Simpson R, Almonacid S(2010) Development of an ingredient containing apple peel as a source of polyphenols and dietary fiber. *J Food Sc* 75(6), H172-H181. doi:10.1111/j.1750-3841.2010.01700.x
- Kim HP, Mani I, Iversen L, Ziboh VA(1998) Effects of naturally-occur ring flavonoids and biflavonoids on epidermal cyclooxygenase and lipoxygenase from guinea-pigs. *Prostag Leukotr Ess* 58, 17-24
- Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation. (2018) Bakery sales rose 49.6%, leading the bakery market. Retrieved from <http://www.atfis.or.kr/article/M005050000/view.do?articleId=2977>
- Kumar P, Sethi S, Sharma RR, Singh S, Saha S, Sharma VK, Verma MK, Sharma SK(2018) Nutritional characterization of apple as a function of genotype. *J Food Sci Tech* 55(7), 2729-2738
- Lee JE, Shin GM, Jeong HS(2023) The quality characteristics of rice english muffin added with *Tenebrio molitor* powder. *Culin Sci Hospital Res* 29(12), 61-69. doi:10.20878/cshr.2023.29.12.007
- Lee KM, Hwang MK, Lee DE, Lee KW, Lee HJ (2010) Protective effect of quercetin against arsenite-induced COX-2 expression by targeting PI3K in rat liver epithelial cells. *J Agr Food Chem* 58, 5815-5820
- Lee YR(2018) Nutritional compositions of rice bread with different rice flours. *Korean J Food Nutr* 31(3), 435-440. doi:10.9799/ksfan.2018.31.3.435
- Li J, Zhang C, Liu H, Liu J, Jiao Z(2020) Profiles of sugar and organic acid of fruit juices: a comparative study and implication for authentication. *J Food Quality* 2020(1), 7236534. doi:10.1155/2020/7236534
- Lončar B, Pezo L, Filipović V, Nićetin M,

- Filipović J, Pezo M, Šuput D, Aćimović M(2022) Physico-chemical, textural and sensory evaluation of spelt muffins supplemented with apple powder enriched with sugar beet molasses. *Food* 11(12), 1750-1768. doi:10.3390/foods11121750
- Mueller D, Triebel S, Rudakovski O, Richling E (2013) Influence of triterpenoids present in apple peel on inflammatory gene expression associated with inflammatory bowel disease (IBD). *Food Chem* 139, 339-346. doi:10.1016/j.foodchem.2013.01.101
- Nakov G, Brandolini A, Hidalgo A, Ivanova N, Jukić M, Komlenić DK, Lukinac J(2020) Influence of apple peel powder addition on the physico-chemical characteristics and nutritional quality of bread wheat cookies. *Food Sci Tech Intern* 26(7), 574-582. doi:10.1177/1082013220917
- Ortega MG, Saragusti AC, Cabrera JL, Chiabrande GA(2010) Quercetin tetraacetyl derivative inhibits LPS-induced nitric oxide synthase (iNOS) expression in J774A.1 cells. *Arch. Biochem Biophys* 498, 105-110. doi:10.1016/j.abb.2010.04.014
- Paz GM, King JM, Prinyawiwatkul W(2021) High protein rice flour in the development of gluten-free bread. *J Culin Sci Tech* 19(4), 315-330. doi:10.1080/15428052.2020.1768994
- Perez V, Chang ET(2014) Sodium-to-potassium ratio and blood pressure, hypertension, and related factors. *Advances Nutr* 5(6), 712-741. doi:10.3945/an.114.006783
- Pérez-Alvarado O, Zepeda-Hernández A, García-Amezquita LE, Requena T, Vinderola G, García-Cayuela T(2022) Role of lactic acid bacteria and yeasts in sourdough fermentation during breadmaking: evaluation of postbiotic-like components and health benefits. *Front Microbiol* 13, 969460. doi:10.3389/fmicb.2022.969460
- Rutkowska J, Antoniewska A, Martinez-Pineda M, Nawirska-Olszańska A, Zbikowska A, Baranowski D(2020) Black chokeberry fruit polyphenols: a valuable addition to reduce lipid oxidation of muffins containing xylitol. *Antioxidants* 9(5), 394. doi:10.3390/antiox9050394
- Ryoo JE(2020) A Study on the revitalization of rice bakery industry by the change of industrial environment. *Culin Sci Hospi Res* 26(5), 171-179. doi:10.20878/cshr.2020.26.5.017
- Shahidi F, Nacz M(2003) *Phenolics in Food and Nutraceuticals*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press;
- Shin MS(2010) Revitalization of the rice processing industry that will lead the green food industry in the future. *Korean Soc Food Preserv* 9(1), 16-37
- Shin TS, Park JA, Jung BM(2015) Changes in organic acids, free sugars, and volatile flavor compounds in fig (*Ficus carica* L.) by maturation stage. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44(7), 1016-1027. doi:10.3746/jkfn.2015.44.7.1016
- Shintani K, Miyagawa Y, Adachi S(2021) Maltose formation from wheat flour with different degrees of damaged starch. *Food Sci Tech Res* 27, 567-572. doi:10.3136/fstr.27.567
- Sim EY, Park HY, Lee JY, Kwak JE, Lee JY, Jeon YH, Lee CK, Hong HC, Choi ID(2019) Quality characteristics of soft morning roll bread with different ratios of high yield tongil-type rice flours. *Korean J Food Preserv* 26(6), 650-658. doi:10.11002/kjfp.2019.26.6.650
- Tamanna N, Mahmood N(2015) Food processing and Maillard reaction products: effect on human health and nutrition. *Int J Food Sci* 2015(1), 526762. doi:10.1155/2015/526762
- Timmermans E, Bautil A, Brijs K, Scheirlinck I, Van der Meulen R, Courtin CM(2022) Sugar levels determine fermentation dynamics during yeast pastry making and its impact on dough and product characteristics. *Foods* 11(10), 1388. doi:10.3390/foods11101388
- Tsoupras A, Moran D, Shiels K, Saha SK, Abu-idah IM, Thomas RH, Redfern S(2024) Enrichment of whole-grain breads with food-ade extracted apple pomace bioactives enhanced their anti-inflammatory, antithrombotic and anti-oxidant functional properties. *Antioxidants* 13(2), 225. doi:10.3390/antiox13020225
- Usman M, Ahmed S, Mehmood A, Bilal M, Patil PJ, Akram K, Farooq U(2020) Effect of apple pomace on nutrition, rheology of dough and cookies quality. *J Food Sci Tech* 57, 3244-3251