종설
Food Preserv Process Ind 2026:25(1):1-22
https://doi.org/10.11002/fppi.2026.25.1.1

식품저장과 가공산업
Food Preservation and Processing Industry
pISSN: 1598-7418, eISSN: 3092-0116

고대 곡물 파로(emmer wheat, *Triticum dicoccum*)의 기능성 성분과 가공 · 저장 · 유통 특성에 기반한 건강식품 원료로서의 활용 가능성

김선화[1] · 장수석[2] · 이하영[2] · 이동훈[2] · 안창석[2] · 권중호[1,3*]

[1](주)그레인온 고대곡물소재화연구소, [2](주)그레인온, [3]경북대학교 식품공학부

Functional components of farro (emmer wheat, *Triticum dicoccum*) and its potential as a health food ingredient based on processing, storage, and distribution characteristics

Sun Hwa Kim[1], Su Seok Jang[2], Ha Young Lee[2],
Dong Hoon Lee[2], Chang Suk Ahn[2] and Joong-Ho Kwon[1,3*]

[1]*Ancient Grains Materialization Research Institute, GrainOn Co. Ltd., Daegu, Korea*

[2]*GrainOn Co. Ltd., Seoul, Korea*

[3]*School of Food Science and Biotechnology, Kyungpook National University, Daegu, Korea*

Abstract

Ancient grains have recently attracted increasing attention due to their favorable compositional characteristics and health-promoting properties as whole grains. Emmer wheat, commonly known as farro, is recognized for its distinctive nutritional profile, pleasant texture, and versatility in food applications. Farro is characterized by a low sugar content (approximately 1.0%) and a high dietary fiber content, positioning it as a 'quality carbohydrate' with a low glycemic impact. It contains substantial levels of resistant starch, protein, essential minerals, and antioxidant phytochemicals, which collectively contribute to its functional potential. This review systematically compares the nutritional

Date Received: Feb. 02, 2026, **Date Revised:** Feb. 23, 2026, **Date Accepted:** Feb. 26, 2026
***Corresponding author:** Joong-Ho Kwon, Tel: +82-53-710-7601, E-mail: jhkwon@knu.ac.kr

Copyright © 2026 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.

composition and functional properties of farro with those of major staple grains, including common wheat, Khorasan wheat (kamut), and brown rice. Particular emphasis is placed on dietary fiber, resistant starch, and polyphenols, and their roles in gut microbial fermentation and short-chain fatty acid (SCFA) production. Owing to its low glycemic response and high fiber and resistant starch contents, farro supports glucose regulation, obesity prevention, gut microbiota balance, and anti-inflammation acitivity. Furthermore, recent advances in fermentation, encapsulation, and processing technologies have improved the bioavailability, storage stability, and delivery efficiency of farro-derived functional components. Overall, farro represents a promising functional ingredient for the development of sustainable health foods, including K-enzyme foods and ready-to-eat applications targeting global markets for obesity prevention, metabolic health, and gut health improvement.

Key words: farro (*Triticum dicoccum*), functional food ingredient, dietary fiber and resistant starch, short-chain fatty acids (scfas), processing, storage, and distribution characteristics

Ⅰ. 서론

곡물은 벼과(Gramineae)에 속하는 식물의 씨앗으로 쌀, 밀, 옥수수, 보리, 귀리, 호밀 등은 수천 년 동안 인류 식생활의 영양적 기반을 형성해 왔다. 이 중 고대 곡물(ancient grains)은 호라산 밀(Khorasan wheat), 스펠트(spelt), 엠머(emmer), 아인콘(einkorn)을 비롯하여 보리, 호밀, 기장, 귀리, 수수 등 전통적으로 재배되어 온 곡류 및 의사 곡물(pseudo cereals, pseudo-grains)을 포함하며, 현대에 개량된 밀, 옥수수, 쌀과 구별되는 개념으로 사용된다. 고대 곡물은 대부분 통곡물 형태로 섭취되는 특징이 있으며(Karl 등, 2017), 통곡물은 정제 곡물에 비해 식이섬유, 단백질, 비타민, 미네랄뿐 아니라 불포화지방산, 프리바이오틱스, 올리고당, 피토스테롤, 폴리페놀 등 다양한 생리활성 성분을 풍부하게 함유하고 있다(Bordonia 등, 2017). 이러한 복합적인 성분 구성은 개별 성분의 효과보다는 상호작용을 통해 통곡물의 영양적·기능적 가치를 증진시키는 것으로 보고되고 있다(Kim 등, 2024; Slavin 등, 2001).

밀은 쌀, 옥수수와 함께 세계 3대 식량작물 중 하나로, 인류의 농경 시작 이래 지속적으로 재배되어 왔다. 밀의 원산지는 코카서스 남부 아르메니아 지역으로 알려져 있으며, 기후 적응력이 뛰어나 전 세계적으로 널리 재배되고 있다. 세계 밀 생산량은 주요 생산국인 미국, 캐나다, 러시아 등의 기후 변화 영향으로 일시적인 변동을 보였으나, 최근 약 798.2백만 톤 수준으로 보고되고 있다(USDA, 2024). 밀은 다양한 식문화에서 주식 또는 가공식품의 원료로 활용되며, 특히 채식 위주의 식단에서는 중요한 단백질 공급원이 된다. 밀가루는 단백질 함량에 따라 강력분, 중력분, 박력분으로 구분되어 빵, 면류, 과자 등 다양한 식품 제조에 사용되며, 그 기능적 특성은 주로 글루텐 단백질에 기인한다. 그러나 글루텐에 민감한 일부 소비자에게서는 만성 위장 장애를 동반하는 글루텐 불내증, 즉 셀리악병(celiac disease)의 원인이 되기도 한다(Cummins와 Roberts-Thomson, 2009).

한편, 현대인은 고열량·고당질의 가공식품 위주 식생활로 인해 당뇨병, 고혈압, 이상지질혈증 등 비만성 대사증후군의 위험에 지속적으로 노출되어 있다. 이에 따라 식품 선택 시 당 함량과 혈당지수(glycemic index, GI)는 중요한 기준으로 인식되고 있다. 일반 밀은 제분용으로 가장 널리 재배되는 품종이지만, 상대적으로 높은 당 함량과 글루텐 함유량으로 인해 건강 측면에서 우려가 제기되고 있다. 이러한 배경에서 식이섬유가 풍부하고 항산화 성분을 포함한 다양한 생리활성 물질을 함유하며, 혈당지수가 낮은 통곡물 식재료에 대

한 관심이 증가하고 있다. 특히 저당(low sugar) 특성과 고식이섬유 조성을 지닌 고대 곡물은 대사 건강 관리 측면에서 새로운 대안으로 주목받고 있다.

본 총설에서는 최근 소비가 증가하고 있는 고대 곡물 파로(emmer wheat, farro, *T. dicoccum*)를 중심으로, 통곡물로서의 생산 특성, 영양성분 조성 및 생리적 기능성을 고찰하였다. 또한 파로의 기능성 성분을 카무트, 현미 등 주요 곡물과 비교 분석하고, 파로 밀의 기능성 성분을 바탕으로 신규한 가공・저장 소재화 기술을 종합적으로 검토함으로써, 파로 통곡물의 건강식품 원료로서의 산업적 활용 가능성을 제시하고자 한다.

Ⅱ. 본론

2.1. 고대 곡물의 종류와 파로 밀(*T. dicoccum*, emmer wheat)의 특징

세계적으로 재배되는 밀 가운데 약 95%의 생산량을 차지하는 품종은 '보통 밀' 또는 '빵 밀'로 불리는 *T. aestivum*이다(Ammar 등, 2023). 이와 함께 매년 약 3,500–4,000만 톤이 생산되는 *T. turgidum* var. *durum*은 고온・건조한 지중해성 기후에 적응한 품종으로, 주로 파스타 제조에 이용되어 '파스타 밀' 또는 '듀럼 밀'로 알려져 있다(Achilli 등, 2026). 이에 비해 고대 밀(ancient wheats)은 인류의 농경 초기부터 오랜 기간 재배되어 왔으나, 현대 농업 체계에서는 소규모로 재배되고 있는 품종군을 의미한다. 대표적인 고대 밀 품종으로는 아인콘(*T. monococcum* var. *monococcum*), 엠머(*T. turgidum* var. *dicoccum*), 스펠트(*T. aestivum* var. *spelta*)가 있으며, 이들 모두 탈곡 시 껍질이 곡립을 단단히 감싸는 피곡(hulled) 형태의 밀로서, 빵 밀이나 듀럼 밀과 구별된다. 고대 밀은 일부 국가에서 전통 식품 제조를 위해 제한적으로 재배되어 왔으나, 최근 식이섬유 및 항산화 성분을 포함한 생리활성 물질이 풍부하다는 점이 부각되면서 건강 기능적 활용을 위한 고부가가치 곡물 소재로 주목받고 있다(Yoon 등, 2022). 아인콘, 엠머, 스펠트는 통칭하여 '파로(farro)'로 불리기도 하나, 특히 이탈리아를 비롯한 유럽 지역에서는 엠머 밀(*T. dicoccum*)을 파로(emmer wheat)로 지칭하는 경우가 일반적이다(Van Slageren와 Thomas, 2013). 파로는 고대 이집트에서 재배되었던 대표적인 곡물로, 수천 년간 '파라오의 밀'로 불릴 만큼 귀한 식재료였으며, 고대 로마 시대에는 로마 군단의 주식으로 활용되었다. 파로는 식이섬유, 단백질, 무기질 및 비타민이 비교적 균형 있게 함유된 곡물로, 고대 로마에서는 빵, 죽, 가루 형태로 소비되었고, 현재도 이탈리아 토스카나 지역을 중심으로 전통 수프의 원료로 통곡 형태의 파로가 사용되고 있다(Kevin, 2021).

파로(*T. dicoccum*)는 세계에서 가장 오래된 밀 종 가운데 하나로, 고고학적 기록에 따르면 약 12,000년 전부터 재배가 시작되었으며, 기원전 8–9천 년경 에트루리아인과 로마인의 주요 식량 자원으로 이용되었다. 파로는 일반 빵 밀에 비해 당 함량이 낮고 식이섬유와 단백질 함량이 높아 영양학적 가치와 건강 기능적 측면에서 우수한 곡물로 평가되고 있다(Hammed와 Simsek, 2014). 국내에 유통되는 파로는 주로 이탈리아산으로, 저당(low sugar) 및 고식이섬유의 복합 탄수화물 구조를 가지며 항산화 성분을 포함한 다양한 생리활성 물질을 함유한 고대 곡물로 알려져 있다. 파로의 세계 생산량은 약 700만 톤으로 추산되며, 척박한 토양과 불리한 재배 환경에서도 비교적 안정적인 생산이 가능하다(Galterio 등, 2003). 주요 생산국은 이탈리아, 스페인, 모로코, 카르파티아 지역, 체코 및 슬로바키아 공화국, 알바니아, 터키, 스위스 등이다. 특히 이탈리아 토스카나 지역에서 생산되는 파로는 혈당 관리에 유리한 저당 통곡물로서 최근 소비자들의 관심을 받고 있다. 파로는 유전자 변형 없이 자연 재배된 곡물로, 풍부한 식이섬유와 단백질, 생리활성 성분뿐 아니라 저항성 전분(resistant starch, RS)을 함유하고 있어 체내 소화・흡수가 느리며, 이에 따라 식후 혈당의 급격한 상승을 억제하는 데 기여할 수 있다. 저항성 전분은 장내 발효를 통해 혈당 조절 호르몬인 GLP-1의 분비를 촉진하여 당뇨병 예방 및 체중 감소 효과와도 연관되는

것으로 보고되고 있다(Li 등, 2024). 한편, 고대 밀 가운데 카무트(kamut; *T. turanicum* Jakubz)는 고대 이집트에서 재배되었던 호라산 밀(Khorasan wheat)의 일종으로, 현재는 브랜드명으로 사용되고 있다(Balestra 등, 2015; Bordoni 등, 2017). 카무트는 낱알이 크고 길며, 현미보다 진한 황금색을 띠는 외형적 특징을 지닌다(Choi 등, 2016). 1980년대 이후 본격적인 재배가 시작되어 2000년대에는 미국과 유럽을 중심으로 '슈퍼 곡물'의 하나로 주목받았다. 카무트는 일반 밀에 비해 폴리페놀과 셀레늄(Se) 함량이 높아 만성질환 발생 위험을 낮추는 데 기여할 수 있으며, 필수아미노산, 비타민, 무기질 및 식이섬유 함량 또한 상대적으로 높은 것으로 보고되고 있다(Bordoni 등, 2017; Choi 등, 2016).

2.2. 파로 밀의 일반성분 조성과 영양학적 특성

곡물의 성분 조성과 영양학적 특성은 유전적 요인과 재배 환경, 수확 시기 등 다양한 요인의 영향을 받는다. 파로 밀은 이러한 요인에도 불구하고 전반적으로 우수한 영양 조성을 지닌 고대 곡물로 평가되고 있다. 본 자료에서는 파로 밀의 일반성분 조성(proximate composition)에 대한 선행연구에서 보고된 최소값(%)과 최대값(%)을 참고하여 평균값(%)으로 정리하였으며, 수분, 조단백질, 조지방질, 조회분 및 탄수화물로 구성된 일반성분 특성을 비교하였다(표 1). 또한 파로 밀의 계절별 특성을 고려할 때, 봄에 수확된 파로(spring emmer)는 가을 수확 파로(autumn emmer)에 비해 수분 함량이 낮고 단백질, 지방질, 회분 및 섬유질 함량이 상대적으로 높은 것으로 보고되었다(Choi 등, 2016; Giacintucci 등, 2014).

표 1은 파로 밀, 호라산 카무트, 일반 밀 및 현미의 일반성분 조성을 비교한 것이다. 파로 밀의 수분 함량은 8.3–16.3% 범위로 보고되었으며(Dhanavath와 Rao, 2017), 평균값은 12.30%로 나타났다. 이는 카무트(11.60%)와 일반 밀(10.60%)보다는 다소 높고, 현미(13.30%)보다는 낮은 수준이다. 파로 밀의 조단백질 함량은 11.2–22.7% 범위로 보고되었으며(Dhanavath와 Rao, 2017), 평균값은 16.95%로 나타나 비교 대상 곡물 중 가장 높은 수준을 보였다. 특히 건물량 기준으로 환산할 경우 파로(19.32%) 〉 카무트(15.55%) 〉 일반 밀(11.86%) 〉 현미(8.45%) 순으로 파로의 단백질 함량이 월등히 높았다. 폴란드산 파로 밀의 경우 조단백질 함량이 22.7%로 가장 높은 수치를 나타냈으며(Biel 등, 2021), Giacintucci 등(2014)은 수확 시기에 따라 봄 파로는 14.4%, 가을 파로는 11.2%의 단백질 함량을 보인다고 보고하였다. 파로 밀 역시 다른 밀류와 마찬가지로 라이신(lysine)이 제한아미노산이나, 총 아미노산 함량은 파로 재래종에서 가장 높았으며 이는 높

표 1. 파로 밀(*T. dicoccum*)을 포함한 주요 곡물의 일반성분 조성 비교

일반성분(%)[2]	곡물의 종류[1]			
	파로(Farro)	카무트(Kamut)	일반 밀(Wheat)	현미(Brown rice)
수분	12.30	11.60	10.60	13.30
단백질	16.95	13.74	10.60	7.33
지방질	2.47	1.91	1.00	2.23
회분	1.66	1.59	2.00	1.25
탄수화물	80.61	71.16	75.80	75.89

[1] 파로, emmer (*T. dicoccum*); 카무트, Khorasan wheat; 일반 밀; 현미(국산).
[2] 파로, '평균값' from Dhanavath와 Rao (2017); 카무트/일반밀/현미, 국가식품성분표('21).

은 단백질 함량에 기인한 것으로 해석된다(Konvalina 등, 2011). 파로 밀의 조지방질 함량은 1.14–3.80% 범위로 보고되었으며(Dhanavath와 Rao, 2017), 평균값은 2.47%로 카무트(1.91%), 일반 밀(1.00%), 현미(2.23%)보다 높은 수준이다. 파로 밀 지방질의 지방산 조성을 보면, 폴란드산 파로의 경우 팔미트산(C16:0, 16.9%), 올레산(C18:1, 24.8%), 리놀레산(C18:2, 51.9%)이 주요 구성 지방산으로, 이들이 총 지방산의 약 94%를 차지하였다(Biel 등, 2021). 이때 다중불포화지방산(polyunsaturated fatty acid, PUFA)과 단일불포화지방산(monounsaturated fatty acid, MUFA)의 비(PUFA/MUFA)는 2.22로 나타났으며, PUFA/MUFA 비율은 혈중 콜레스테롤 조절과 밀접한 지표로 알려져 있다. Kutzner 등(2020)은 사료를 급여한 실험동물에서 PUFA/MUFA 비율은 혈장 및 간 콜레스테롤 수치에 영향을 미친다고 보고하였다.

파로 밀의 조회분 함량은 0.85–2.46% 범위로 비교적 넓게 분포하였으며(Dhanavath와 Rao, 2017), 평균값은 1.66%였다. 이는 일반 밀(2.00%)보다는 낮고, 카무트(1.59%) 및 현미(1.25%)보다는 다소 높은 수준이다. 무기질 조성 측면에서 파로 밀은 일반 밀이나 귀리에 비해 마그네슘(Mg, 109 mg)과 아연(Zn, 22.80 mg) 함량이 높아 면역 기능 강화 및 골격 건강 증진에 기여할 수 있는 잠재력을 지닌 것으로 보고되었다(Melese 등, 2019). 또한 파로 밀은 셀레늄(Se), 철(Fe)과 함께 비타민 A, B, C 및 E의 함량이 비교적 풍부한 곡물로 알려져 있다(Suchowilska 등, 2012; Supekar 등, 2005). 특히 이탈리아산 파로 밀가루 100 g당 셀레늄(Se) 함량은 약 6 μg으로 보고되어(Biel 등, 2021), 카무트와 함께 셀레늄 공급원으로서의 가치가 높은 곡물로 평가되고 있다.

2.3. 파로 밀의 탄수화물 특성

탄수화물은 식물체에 함유된 주요 성분으로 에너지원 제공, 구조 형성, 저장 물질 및 생리적 신호 전달 등 다양한 기능을 수행한다. 한국인의 탄수화물 일일 섭취 비율은 전체 에너지 섭취량의 약 65.5%에 이르며, 평균 섭취량은 307.8 g으로 보고되었다(MOHW, 2020). 이는 미국 국립의학연구소(Institute of Medicine)가 제시한 탄수화물의 최소 필요량인 100 g을 크게 상회하는 수준이다. 이와 같은 과도한 탄수화물 섭취는 체내 지방 축적을 촉진하여 비만, 심혈관계 질환 및 대사증후군의 위험을 증가시킬 수 있으므로, 섭취량 뿐만 아니라 탄수화물의 '질'에 대한 고려가 중요하다.

파로 밀의 탄수화물 함량은 재배 지역과 품종에 따라 차이를 보인다. 표 2는 파로 밀의 총 탄수화물, 전분 및 아밀로스 함량을 나타내었다. 파로 밀의 총 탄수화물 함량(건물 기준)은 78.00–83.22% 범위로 보고되었으며, 평균값은 80.61%였다. 탄수화물의 주성분인 전분 함량은 48.90–65.30% 범위(Dhanavath와 Rao,

표 2. 파로 밀(*T. dicoccum*)의 탄수화물 조성 및 환원당 함량

성분	함량(%)[1]	환원당	함량(%)[2]
총 탄수화물	80.61	과당	0.11
전분	57.10	포도당	0.12
총 아밀로스	22.85	갈락토오스	0.12
천천히 소화되는 전분 (전체 전분 중 %)	49.25	말토오스	0.63
저항성 전분(전체 전분 중 %)	19.15	합계	0.98

[1] 평균값, 'from Dhanavath와 Rao (2017)'.
[2] 함량, 'from Zilic 등 (2017)'.

2017)로 평균 57.10% 수준을 나타냈다. 이 가운데 소화 속도가 느린 전분이 전체 전분의 상당 부분을 차지하며, 평균 약 49.25%로 보고되었다. 특히 저항성 전분(RS)의 평균 함량은 19.15%로, 품종 및 재배 환경에 따라 17.10–21.20% 범위의 비교적 높은 수준을 보였다. 파로 밀의 총 아밀로스 함량은 19.40–26.30% 범위로 보고되었으며(Dhanavath와 Rao, 2017), 평균값은 22.85%였다(표 2). 아밀로스와 아밀로펙틴의 비율은 전분의 소화율을 결정하는 중요한 요인이 된다. 파로 밀의 아밀로스 함량은 일반 밀의 아밀로스 함량(20–25%)보다 다소 높아 전분의 소화 속도 지연에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(Sissons 등, 2023). 이러한 특성은 파로 밀을 섭취할 경우 식후 혈당 상승을 완만하게 하는 데 기여할 수 있다. 또한 파로 밀의 환원당 함량은 재배 지역과 품종에 따라 0.09–1.00% 범위로 비교적 낮게 보고되었다(Dhanavath와 Rao, 2017). 이처럼 파로 밀은 다른 곡물에 비해 당 함량이 낮고 식이섬유 함량이 높은 복합 탄수화물 식품으로, 혈당 관리에 유리한 곡물로 평가된다. 통곡물 형태로 지속적으로 섭취할 경우 혈당 조절은 물론 고혈압을 포함한 대사증후군 발생 위험을 낮출 수 있을 것으로 기대된다. 특히 파로 밀에는 아라비노자일란(arabinoxylan, AX)과 같은 식이섬유가 풍부하여 공복 혈당 및 혈중 콜레스테롤 수치 감소에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Yang 등, 2024).

한편, 식품 원료에는 탄수화물(당류)과 단백질(아미노산)이 공존하며, 환원당과 유리아미노산은 가열 가공 과정에서 마이야르 반응(Maillard reaction)을 일으켜 식품의 향미와 색을 형성한다. 그러나 120℃ 이상의 고온 조건에서는 아크릴아마이드(acrylamide)와 같은 위해 물질이 생성될 수 있다. 환원당과 아스파라긴의 반응에 따른 아크릴아마이드 생성 속도는 포도당 〉 과당 〉 자일로스 〉 갈락토오스 〉 맥아당 〉 유당 순으로 보고되었다(Wang과 Xu, 2014). 즉, 포도당 및 과당 함량이 높은 곡물일수록 아크릴아마이드 생성 가능성이 커지는 반면, 맥아당과 유당과 같은 이당류는 상대적으로 반응성이 낮다. 이와 관련하여 Zilic 등(2017)은 파로 밀의 환원당 조성을 분석한 결과, 맥아당 0.63%, 포도당 0.12%, 갈락토오스 0.12%, 과당 0.11%를 각각 확인하였다. 이는 혈당지수(GI)가 상대적으로 높은 포도당과 과당의 함량은 낮고, 반응성이 낮은 맥아당의 비율이 높은 조성임을 의미한다. 따라서 파로 밀 통곡물의 저 환원당(low reducing sugar) 특성은 혈당 관리뿐만 아니라 고온 가공 시 위해 물질 생성의 위험을 낮출 수 있는 장점으로 평가될 수 있다.

2.4. 파로 밀의 식이섬유 특성

식이섬유(dietary fiber)는 주로 곡물과 같은 식물성 식품에 존재하는 복합 탄수화물로, 인체 건강에 다양한 긍정적 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 식이섬유는 일반적으로 불용성 식이섬유(insoluble dietary fiber)와 수용성 식이섬유(soluble dietary fiber)로 구분되며, 두 유형은 구조적 특성과 생리적 기능에서 차이를 보인다. 불용성 식이섬유에는 셀룰로오스(cellulose), 헤미셀룰로오스(hemicellulose), 리그닌(lignin), 아라비노자일란(AX), β-글루칸(β-glucan) 등이 포함되며, 수용성 식이섬유에는 펙틴(pectin), 검(gum), 점질물(mucilage), 일부 헤미셀룰로오스 및 일부 아라비노자일란이 포함된다. 식이섬유는 인체 소화효소에 의해 분해되지 않으며 소장에서 흡수되지 않는 비전분성 다당류(non-starch polysaccharides)이다. 그러나 위장에서 음식물의 체류 시간을 연장시켜 포만감을 증가시키고, 소장에서는 당 흡수를 지연시켜 식후 혈당 상승을 억제하며, 콜레스테롤 및 담즙산의 재흡수를 저해하는 작용을 한다. 더 나아가 대장에 도달한 식이섬유는 변의 용적을 증가시켜 배변을 촉진하고, 장내 미생물에 의해 발효되어 단쇄지방산(short-chain fatty acids, SCFAs)을 생성함으로써 장 건강 및 대사 개선과 같은 2차적 생리적 효과를 유도한다(그림 1). 이와 같은 식이섬유의 섭취는 변비, 제2형 당뇨병, 대장암, 이상지질혈증 등 만성질환의 예방에 기여하는 것으로

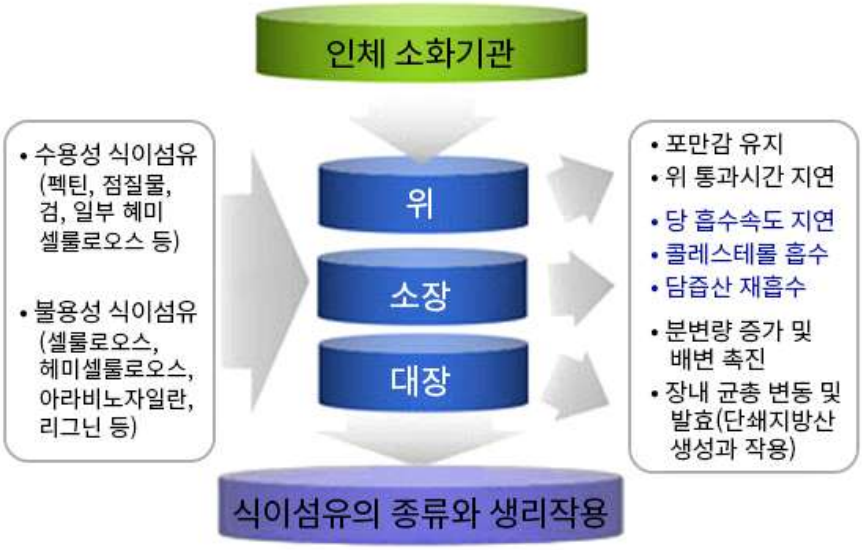


그림 1. 식이섬유의 종류와 인체 소화기관에서의 생리적 기능.

보고되고 있다. 그렇지만, 우리나라 성인의 식이섬유 섭취량은 전반적으로 권장 수준에 미치지 못하는 실정이다. 보건복지부(MOHW, 2020)는 성인의 1일 식이섬유 섭취 권장량을 남성 30 g, 여성 20 g으로 제시하고 있다. 파로 밀은 식이섬유의 우수한 공급원으로 평가된다. 표 3에 제시된 바와 같이 파로 밀의 총 식이섬유 함량은 7.2-20.7% 범위로 보고되었으며(Dhanavath와 Rao, 2017), 평균 약 13.95% 수준이다. 이 중 불용성 식이섬유가 전체의 80% 이상을 차지하며, 인도산 및 이탈리아산 파로 밀 품종의 총 식이섬유 함량은 9.8-16.0%로 보고되었다. 특히 이탈리아산 파로 밀의 경우 β-글루칸과 리그닌 함량은 각각 평균 0.35%와 2.30% 수준이었다(Bhuvaneshwari 등, 2004; Dhanavath와 Rao, 2017). 일반적으로 파로, 카무트, 일반 밀은 모두 식이섬유가 풍부한 곡물로 알려져 있으나, 현미는 이들 밀류 곡물에 비해 상대적으로 낮은 식이섬유 함량을 보인다. 특히 파로 밀은 비교 대상 곡물 중 총 식이섬유 함량이 가장 높아 기능성 식품 소재로서의 활용 가치가 크다. 파로, 카무트 및 일반 밀의 경우 불용성 식이섬유가 전체의 약 80-85%, 수용성 식이섬유가 15-20%를 차지하는 유사한 조성을 보이는 반면, 현미는 비율은 유사하나 총함량은 현저히 낮다. 다만, 곡물의 식이섬유 함량과 조성은 품종, 재배 환경 및 분석 방법에 따라 차이가 있을 수 있다.

표 3. 파로 밀(*T. dicoccum*)의 주요 식이섬유 성분

식이섬유 성분	함량(%)[1)]
총 식이섬유	13.95
불용성 식이섬유	12.60
수용성 식이섬유	2.34
총 아라비노자일란(AX)	1.80
수용성 AX	0.35
β-글루칸	0.35
리그닌	2.30
저항성 전분	21.20[2)]

[1)] 평균값, 'from Dhanavath와 Rao (2017)'.
[2)] 값, 'from Čurná와 Lacko-Bartošová (2017)'.

아라비노자일란(AX)은 밀류 곡물의 대표적인 식이섬유 성분 중 하나로, hydroxyl-cinnamate 결합을 통해 세포벽 구조를 지지하는 역할을 한다. AX는 β(1→4) 결합으로 연결된 자일로스(xylose) 골격에 α-D-아라비노스(arabinose)가 2번 또는 3번 위치에 결합

한 구조를 가지며, 일부 자일로스 잔기에는 5번 위치에 아세틸기(acetyl group) 또는 페룰로일기(feruloyl group)가 결합되어 있다(Saulnier 등, 2007)(그림 2). AX는 수용성 AX와 불용성 AX로 구분되며, 이는 주로 자일로스 골격에 결합된 아라비노스의 치환 정도에 의해 결정된다. 불용성 AX는 세포벽 내부에서 강한 공유결합을 형성하는 반면, 수용성 AX는 세포벽 외부에서 상대적으로 약한 결합 상태로 존재한다(Courtin와 Delcour, 2002). 일반 밀가루의 AX 함량은 약 2% 수준이며, 이 중 불용성 AX가 약 75%, 수용성 AX가 약 25%를 차지하는 것으로 보고되었다(Barron 등, 2006; Courtin와 Delcour, 2002; Philippe 등, 2006). 파로밀의 AX 함량은 1.4–2.2% 범위로 보고되었으며(Dhanavath와 Rao, 2017), 평균 약 1.80% 수준이다(표 3). AX는 친수성이 높은 구조로 인해 반죽 과정에서 잔기(residual group)인 페룰산과 공유결합하여 중합체 겔을 형성하며, 이로 인해 수분보유력이 크게 증가한다. 보고에 따르면 불용성 AX는 6.7–9.9배, 수용성 AX는 3.5–6.3배까지 수분보유력이 증가하며, AX 1 g은 최대 100 g의 물을 함유할 수 있는 것으로 알려져 있다(Figueroa-Espinoza와 Rouau, 1998; Izydorczyk와 Biliaderis, 1995). 이러한 특성으로 인해 AX는 다른 다당류에 비해 용액 점도가 매우 높다. AX는 반죽의 점성을 증가시키고 반죽 형성 시간을 연장시키는 등 제빵 특성에도 영향을 미친다(Hussain와 Simsek, 2024; Kiszonas 등, 2015). AX 함량이 증가하면 수분보유력이 높아져 반죽의 수분 함량이 증가하고, 이로 인해 전분 분자의 이동성이 커져 전분 노화가 촉진될 수 있다(Hussain와 Simsek, 2024). 반면, 제빵 후 저장 과정에서는 AX의 수분 보유 효과로 인해 빵의 경화(staling)가 지연되는 긍정적 효과도 보고되었다(Biliaderis 등, 1995). 다만 AX 함량은 밀 품종에 따라 큰 차이를 보인다. AX는 글루테닌과 글리아딘의 결합을 방해하여 글루텐 형성을 저해함으로써 글루텐 수율을 감소시킬 수 있다(Wang 등, 2003). 일반적으로 수용성 AX는 빵의 품질 개선에 기여하는 반면, 불용성 AX는 반죽 특성과 최종 제품 품질을 저하시킬 수 있으며, 파스타에 AX를 첨가할 경우 삶은 면(麵)의 점성이 감소하는 것으로 보고되었다(Bettege와 Morris, 2000; Turner 등, 2008). 한편, AX는 식이섬유로서 항산화(Monobe 등, 2008), 항암, 항바이러스(Hughes 등, 2007), 장내 발효 및 대사 영향(Vardakou 등, 2008), 항당뇨(Neyrinck와 Delzenne, 2010) 및 면역 증강 효과(Neyrinck 등, 2011) 등 다양한 생리활성을

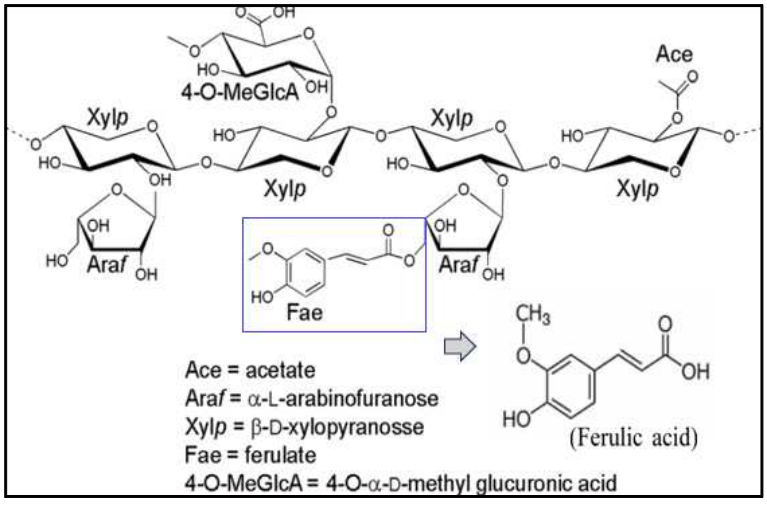


그림 2. 아라비노자일란(AX)과 페룰산의 구조.

나타내는 것으로 보고되고 있다. 특히 AX가 풍부한 식이섬유(15 g/day)를 보충한 식단은 제2형 당뇨병 환자에서 혈당 조절 개선에 유의적인 효과를 보였으며, 식후 혈당 급증 억제와 함께 총 콜레스테롤 및 LDL-콜레스테롤 감소에 기여하는 것으로 보고되었다(Lu 등, 2000).

파로 밀에는 또한 β-글루칸과 리그닌이 각각 약 0.35%와 2.30% 수준으로 함유되어 있으며, 이는 카무트 및 일반 밀과 유사하나 현미보다는 높은 수준이다. 더불어 표 3은 파로 밀의 저항성 전분 함량(21.20 g/100 g)으로, 백미(0.64 g) 및 현미(2.63 g)에 비해 월등히 높은 수치를 보이고 있다(Čurná와 Lacko-Bartošová, 2017). 이러한 특성은 파로 밀 섭취 시 소화 속도를 완만하게 하여 혈당 상승 억제와 포만감 증진 효과를 기대할 수 있음을 시사한다.

2.5. 파로 밀 전분의 소화 특성

전분(starch)은 곡물에 풍부하게 함유된 주요 탄수화물로, 인체에 에너지를 공급하는 동시에 식후 혈당 조절에 중요한 영향을 미치는 영양성분이다. 영양학적 분류에 따르면 전분은 소화 속도에 따라 빠르게 소화되는 전분(rapidly digestible starch, RDS; 20분 이내 소화), 천천히 소화되는 전분(slowly digestible starch, SDS; 20–120분 소화, 그리고 120분 이내에는 소화되지 않는 저항성 전분(RS)으로 구분된다(Corgneau 등, 2019). 이 중 저항성 전분은 인체 소화효소에 의해 효율적으로 가수분해되지 않아 대장까지 도달하며, 기능적으로는 식이섬유의 범주에 포함될 수 있다. 전분의 소화 특성과 혈당지수(GI)는 식품의 혈당 반응을 결정하는 핵심 요인으로, 전분의 구조적 특성, 아밀로스 함량, 전분 과립의 결정도, 그리고 가공 및 조리 조건에 따라 크게 달라진다. 특히 소화 속도가 느린 전분이나 저항성 전분의 비율이 높은 식품은 식후 혈당 상승을 완만하게 하여 대사 건강에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다(Farooq와 Yu, 2024).

파로 밀*(T. dicoccum)*에서 분리된 전분은 상대적으로 소화 속도가 느린 특성을 지니며, 저항성 전분 함량이 높은 곡물로 평가된다. 보고에 따르면 파로 밀의 저항성 전분 함량은 17.1–21.2% 범위로 나타나며, 이는 혈당 감소 및 포만감 증진 효과에 기여할 수 있는 수준이다(Corgneau 등, 2019). 이러한 특성으로 인해 파로 밀은 저혈당지수 식품으로서의 잠재력을 지닌 곡물로 주목받고 있다. 파로 밀 전분의 낮은 소화율은 전분의 구조적 특성과 밀접한 관련이 있다. 파로 밀 전분은 비교적 높은 아밀로스 함량과 복잡한 분자 구조를 가지며(Zhou등, 2014), 전분 과립의 결정도가 높고 구조가 치밀하여 소화효소의 접근이 제한된다(Mohan과 Malleshi, 2006). 이러한 구조적 특성은 전분의 효소적 분해를 지연시키고, 결과적으로 소화 속도를 감소시키는 요인으로 작용한다.

역학 연구에 따르면 혈당지수가 낮은 식품의 지속적인 섭취는 제2형 당뇨병의 발생 위험을 낮추는 데 기여할 수 있는 것으로 보고되고 있다. 또한 전분의 소화율은 가공 및 조리 과정 중 효소 저항성이 증가함에 따라 더욱 감소할 수 있으며, 특히 냉각·재가열 과정이나 열처리 후 노화(retrogradation)에 의해 저항성 전분(RS)이 추가적으로 형성되는 것으로 알려져 있다(Farooq와 Yu, 2024). 이러한 특성은 파로 밀을 기능성 곡물 원료 및 저혈당지수 식품 개발에 적합한 소재로 활용할 수 있는 과학적 근거를 제공한다.

2.6. 파로 밀의 단백질 특성

밀가루에 함유된 단백질은 크게 글루텐(gluten) 단백질(약 85%)과 비글루텐 단백질(약 15%)로 구성되어 있다. 글루텐은 글리아딘(gliadin)과 글루테닌(glutenin)이 이황화 결합(S-S bond)을 통해 형성된 복합 단백질로, 밀가루 반죽의 신장성(extensibility)과 탄성(elasticity)을 결정하는 핵심 요인이다(Kwon 등, 2017). 이러한 글루텐의 물성은 제빵 및 면류 가공의 품질을 좌우하지만, 일부 사람에게는 소화 장애를 유발할 수 있으

며, 대표적으로 셀리악병(celiac disease)과 같은 면역 반응을 일으킬 수 있다. 이로 인해 최근에는 글루텐 프리(gluten-free) 식품에 대한 관심이 증가하고 있다.

파로 밀은 일반적으로 현대 밀에 비해 글루텐 함량이 낮은 고대 곡물로 알려져 있다. 그러나 파로 밀 역시 글루텐을 완전히 배제한 곡물은 아니므로, 글루텐에 민감한 사람이나 셀리악병 환자에게는 섭취 시 주의가 필요하다. 반면 카무트(Khorasan wheat, *T. turgidum* ssp. *turanicum*)는 파로 밀이나 현대 밀에 비해 상대적으로 높은 글루텐 함량을 가지는 경우가 많으며, 강한 글루텐 구조를 형성하는 것으로 보고되었다(Geisslitz 등, 2019). 일부 연구에서는 고대 곡물의 글루텐이 현대 밀보다 염증 반응을 덜 유발할 가능성을 제시하고 있으나, 셀리악병 환자에게는 유의가 필요하다. Giacintucci 등(2014)은 파로 밀과 일반 밀의 글루텐 함량을 비교한 연구에서, 봄 파로 밀(spring emmer)의 글루텐 함량은 10.70%(g/100 g, d.b.), 가을 파로 밀(autumn emmer)은 9.04%, 일반 밀은 9.60%로 보고하여, 가을 파로 밀의 글루텐 함량이 가장 낮은 것으로 나타났다. 또한 글루텐 구성성분인 글리아딘과 글루테닌의 비율은 봄 파로 밀(0.40)이 가을 파로 밀(0.36)보다 높아, 수확 시기와 품종에 따라 글루텐의 질적 특성이 달라질 수 있음을 시사한다. 반면, 현대 밀은 품종 개량을 통해 글루텐 함량과 강도가 증가하여 제빵 적성이 우수하나, 일부 소비자에게는 소화 불편이나 과민 반응을 유발할 가능성이 있다. 파로 밀, 카무트 밀, 일반 밀 및 현미의 단백질 함량을 비교하면, 파로 밀은 13.0–15.0%, 카무트 밀은 14.0–17.0% 범위로 비교적 높은 단백질 함량을 보이는 반면, 일반 밀과 현미는 각각 10.0–12.5% 및 7.5–9.0% 수준으로 고대 곡물에 비해 낮은 값을 나타낸다. 글루텐 함량 측면에서 파로 밀은 약 7–9% 수준으로 상대적으로 낮아 반죽의 탄력성이 약하며, 제빵보다는 파스타, 죽, 샐러드 등 비제빵 용도에 적합하다. 이에 비해 카무트 밀은 약 9–14% 수준의 글루텐을 함유하여 일반 밀보다 다소 강한 글루텐 구조를 형성하고, 상대적으로 강한 글루텐 구조를 지닌다(Geisslitz 등, 2019)(표 4).

파로 밀의 아미노산 조성은 일반 밀, 듀럼 밀(durum wheat), 스펠트 밀(spelt wheat)과 유사한 경향을 보인다. 주요 아미노산은 글루탐산과 프롤린이며, 트립토판과 메티오닌의 함량은 상대적으로 낮다. 파로 밀의 제한아미노산(limit amino acid)은 라이신으로, 함량은 1.40–1.94 g/100 g protein 범위로 보고되었으며, 다음으로 트레오닌과 메티오닌이 제한 요소로 작용한다. 특히 통곡물 형태의 파로 밀은 제분 밀가루에 비해 라이신 함량과 화학가(chemical score)가 높은데, 이는 배유층(aleurone layer)이 보존되어 알부민과 글로불린 계열 단백질 및 필수아미노산이 풍부하기 때문이다. 이러한 특성으로 인해 고대 밀은 현대 밀보다 단백질의 '질'이 우수하다고 평가되기도 하나, 이는 주로 통곡 또는 최소 가공 형태로 소비되는 점에 기인한 것으로 해석된다(Čurna와 Lacko-Bartošová, 2017).

표 4. 파로와 카무트의 단백질 및 글루텐 함량과 특성 비교

구분	파로 (Emmer wheat, *T. dicoccum*)	카무트 (Khorasan wheat)
단백질 함량(%)	약 12–15%	약 14–17%
글루텐 함량(%)	약 7–9% 수준(글루텐 있으나 상대적으로 낮음)	약 9–14% 수준(일반 밀보다 약간 높음)
글루텐 특성	글루텐 강도가 약하고 점탄성 낮음 → 제빵보다는 파스타 · 죽 · 샐러드용	글루텐이 비교적 강해 빵 반죽 가능, 탄력성은 현대 밀보다 약함
소화성 및 알레르기 반응	단백질 구조가 단순해 일부 글루텐 민감자에게 소화가 쉬움	글루텐 함량이 높아 민감자에게 반응 가능성 있음
요약	저 글루텐, 저 탄성 밀	고단백, 중~고 글루텐 밀

2.7. 파로 밀의 파이토케미컬(phytochemicals) 특성

식물에 함유된 파이토케미컬(phytochemicals)은 건강 증진에 기여하는 다양한 식물성 생리활성 화합물로, 폴리페놀(polyphenols), 카로티노이드(carotenoids), 다당체(polysaccharides), 불포화지방산(unsaturated fatty acids), 알칼로이드(alkaloids), 함질소 화합물(nitrogen-containing compounds), 유기황화합물(organosulfur compounds) 등을 포함한다. 이들 화합물은 식물이 해충, 미생물, 자외선 등 외부 스트레스로부터 자신을 보호하기 위해 생성하는 이차대사산물로, 인체에서는 항산화, 항염, 항균, 면역조절 등 다양한 생리적 기능을 나타낸다(Hammed와 Simsek, 2014). 이 같이 파이토케미컬은 체내 흡수・대사를 통해 노화 억제, 만성질환 예방, 대사 항상성 유지에 기여하는 기능성 성분으로 인식되고 있다.

세계 여러 지역에서 재배된 파로 밀(*T. dicoccum*)의 총 폴리페놀 및 총 카로티노이드 함량은 각각 508–2,355 μg/g과 1.63–4.90 μg/g 범위로 보고되었으며(Dhanavath와 Rao, 2017), 평균값은 각각 1,431 μg/g과 3.27 μg/g이다(표 5). 파로 밀에서 풍부하게 검출되는 페놀성 화합물은 페룰산(ferulic acid)으로, 함량은 323–759 μg/g 범위이며 평균 541 μg/g으로 나타났다. 또한 이탈리아와 체코산 파로 밀의 총 토콜(total tocols; tocopherols + tocotrienols) 함량은 19.7–67.92 μg/g 범위로 보고되어, 비타민 E 계열 항산화 성분의 우수한 공급원임이 확인되었다(Giambanelli 등, 2013; Hejtmankova 등, 2010). 파로 밀의 카로티노이드 성분 중에서는 루테인(lutein, 평균 2.53 μg/g)과 지아잔틴(zeaxanthin, 평균 0.37 μg/g)이 주요 성분으로 확인되었으며, α- 및 β-카로틴 함량은 상대적으로 낮은 것으로 보고되었다(Abdel-Aal와 Rabalski, 2008). 루테인과 지아잔틴은 황반 색소의 주요 구성성분으로서 눈 건강 및 시력 보호 효과가 알려져 있으며(Carpentiera 등, 2009), 토콜류 및 폴리페놀과 함께 항산화 네트워크를 형성하여 세포 손상을 억제하는 데 기여한다.

표 5. 파로 밀(*T. dicoccum*)의 주요 식물화학 성분(phytochemicals)

성분	함량(μg/g)[1)]
총 페놀	1.431
총 카로티노이드	3.27
페룰산	541
루테인	2.53
지아잔틴	0.37
총 토콜	43.81

[1)] 평균값, 'from Dhanavath와 Rao (2017)'.

폴리페놀, 카로티노이드 및 토콜류는 강력한 항산화 활성을 바탕으로 항암, 심혈관 질환 예방, 제2형 당뇨병 개선 효과가 보고되어 있다. 특히 폴리페놀 화합물은 소화효소인 α-아밀라제(α-amylase) 및 α-글루코시다제(α-glucosidase)의 활성을 억제하여 탄수화물의 소화를 지연시키고, 식후 혈당 상승을 완화하는 작용을 나타내는 것으로 알려져 있다. 또한 파로 밀 곡립에는 페룰산을 포함한 다양한 페놀성 화합물과 셀레늄(Se) 등의 미량 무기질이 함유되어 있으며, 이들 성분의 함량은 항산화 활성과 높은 상관관계를 나타낸다는 보고가 있다(Naczk와 Shahidi, 2006). 이처럼 파로 밀에는 토콜, 폴리페놀, 카로티노이드 등 다양한 항산화 성분이 함유되어 있어 활성산소 제거 및 산화 스트레스 완화에 기여하며, 만성 염증 억제와 대사성 질환 예방 측면에서 중요한 의미를 가진다. 이와 같이 파로 밀에 함유된 기능성 화합물의 함량과 특징을 고려하면, 파로와 카무트는 기능성 성분의 차별화를 바탕으로 건강 기능적 활용이 구분될 필요가 있다. 결론적으로, 파로 및 카무트 곡물에 함유된 풍부한 식이섬유와 항산화 파이토케미컬은 콜레스테롤 저하, 혈압 조절 및 심혈관 건강 개선에 기여할 수 있으며, 포만감 유지와 장운동 촉진을 통해 체중 관리 및 장 건강 증진용 기능성 식품

소재로서의 개발 가능성이 충분하다고 판단된다.

2.8. 파로 밀 주요 성분의 건강 기능적 성질과 항비만 효과

파로 밀(emmer wheat, *T. dicoccum*)에 함유된 주요 기능성 성분들은 대사 건강 개선과 비만 예방을 포함한 다양한 건강 기능적 효과를 나타내는 것으로 보고되고 있다. 표 6에 제시된 바와 같이, 파로 밀의 탄수화물 조성 중 저항성 전분(RS)은 소화·흡수가 느려 식후 혈당 상승을 완만하게 하며, 혈중 지질 개선에도 기여할 수 있다(Han 등, 2023). 특히 파로 밀은 포도당과 과당 등 단당류 함량이 상대적으로 낮아 저당 곡물로 분류되며, 이로 인해 혈당 상승 억제에 유리한 특성을 가진다.

즉, 파로 밀은 저GI, 고식이섬유, 저항성 전분 등의 특성으로 혈당 상승을 완화하고, 당뇨병 예방과 관리에 도움을 줄 수 있으며, 나아가 장내 미생물 대사에 프리바이오틱스로 작용하여 단쇄지방산(SCFAs) 생성을 촉진함으로써 항비만 소재로의 개발이 가능할 것으로 사료된다. 아울러 카무트 밀은 단백질 함량이 높고 불포화지방산, 비타민 E, 루테인, 셀레늄 등이 포함되어 있어서 근육 건강, 혈중지질 개선 등의 기능성이 예상된다. 또한 항산화 및 항염 작용 관련 임상적 확증은 아직 명확하지 않지만, 구체적인 기전 연구를 바탕으로 건강 기능적 소재로써의 활용 가능성이 기대된다.

파로 밀의 지질 함량에 대한 연구는 상대적으로 제한적이나, 9종의 파로 밀 품종을 분석한 연구에서는 평균 지질 함량이 2.8%(d.b.)로 보고되었으며, 이는 일반 밀 품종과 유사한 수준이다. 지방산 조성은 리놀레산(C18:2)이 전체 지방산의 약 60%로 가장 높은 비율을 차지하였고, 이어 올레산(C18:1, 19%), 팔미트산(C16:0, 16%), 리놀렌산(C18:3, 4%), 스테아르산(C18:0, 1%) 순으로 나타났다. 엠머, 스펠트 및 듀럼밀 간의 총 불포화지방산/포화지방산 비율(TUFA/SFA)과 다중불포화/단일불포화 지방산 비율(PUFA/MUFA)은 큰 차이를 보이지 않았다(Marconi와 Cubadda, 2005).

한편, Yenagi 등(2001)은 파로 밀 식이가 대사 지표에 미치는 영향을 평가한 연구에서, 당뇨병 환자의 일반 식단에 파로 밀가루를 6주간 첨가한 결과 총지질, 중성지방 및 LDL-콜레스테롤 농도가 각각 약 11% 감소하였으며, 공복 혈당 또한 감소하는 경향을 보였다는 결과를 발표하였다. 다만 이러한 결과를 일반화하기 위해서는 다양한 동물 모델과 인체 적용 연구를 포함한

표 6. 파로 밀의 주요 성분별 건강상 이점[1)]

성분	건강상 이점	문헌
전분	소화가 느리며 저혈당 식품에 적합	Galterio 등 (2003), Mohan와 malleshi (2006)
환원당	포도당 및 과당 함량 낮음	Bhuvaneshwari 등 (2004), Nadaf (2010), Zilic 등 (2017)
항산화 성분	토콜, 폴리페놀 및 카로티노이드의 항산화 활성	Serpen 등 (2008), Abdel-Aal와 Rabalski (2008), Hejtmankova 등 (2010)
지방질(PUFA/MUFA) : 2.2	혈중 포도당 및 콜레스테롤 수치 낮음	Chang와 Huang (1998), Suchowilska 등 (2009)
파로 기반 식단	총지질, 중성지방(TG) 및 LDL 콜레스테롤 낮음으로 심혈관 위험 감소	Yenagi 등 (2001), Fares 등 (2008), Ankita 등 (2010)

1) Based from Dhanavath와 Rao (2017).

추가적인 임상적 근거 축적이 필요하다.

파로 밀의 독특한 영양 성분 조성을 고려할 때 에너지 대사 조절을 기대할 수 있다(표 7). 수용성 식이섬유는 섭취 후 포만감 유지, 혈당 조절, 지방 흡수 억제, 장내 미생물 조절 및 단쇄지방산(SCFAs) 생성을 통해 에너지 대사 개선에 기여하는 것으로 보고되었다(Dhanavath와 Rao, 2017). 특히 SCFAs는 지방 산화 촉진, 염증 억제 및 식욕 억제 호르몬(GLP-1, PYY) 분비를 촉진함으로써 체중조절에 긍정적인 역할을 한다. 불용성 식이섬유는 위 배출 지연과 장 운동 촉진을 통해 포만감을 증가시키고, 열량 섭취 감소 및 지방 축적 억제에 기여할 수 있다(Sun 등, 2025). 또한 파로 밀에 풍부한 저항성 전분(RS)은 장내 미생물 발효를 통해 SCFAs 생성을 증가시키며, 지방 축적 억제, 에너지 소비 촉진, 인슐린 감수성 개선 및 염증 완화와 밀접하게 연관되어 있다(Baldi 등, 2022; Neyrinck와 Delzenne, 2010). 수용성 식이섬유의 일종인 아라비노자일란(AX)은 SCFA 생성을 통해 지방 대사를 촉진하고 염증 반응을 억제하는 것으로 보고되었다(Neyrinck 등, 2011). AX 구조에 결합된 페룰산(ferulic acid)은 강력한 항산화 활성을 바탕으로 지방세포 내 산화 스트레스 감소, 염증 반응 억제, 지방 축적 감소, 지질분해 효소 활성화 및 혈중 지질 개선 효과를 나타낸다(Dhanavath와 Rao, 2017). 이와 함께 파로 밀에 함유된 폴리페놀은 항산화 및 항염 특성을 통해 에너지 대사 활성화와 지방 축적 억제에 기여할 수 있으며, 피틴산(phytic acid)은 미네랄 흡수를 저해하는 측면이 있음에도 불구하고 항산화 작용과 지방세포 내 산화 스트레스 감소 등 긍정적인 생리활성이 보고되고 있다(Hammed와 Simsek, 2014).

종합하면, 파로 밀은 저당, 고 저항성 전분이 함유된 곡물로서, 다양한 식이섬유와 항산화 성분을 함유하고 있어 혈당 및 지질 대사 개선, 항비만 효과, 항염 및 면역 조절 기능과 연관성이 있다. 이러한 특성으로 인해 파로 밀은 체중 관리 및 대사성 건강 개선을 목표로 한 차별화된 기능성 식품 원료로의 개발 잠재력이 충분한 고대 곡물이라 할 수 있다.

2.9. 파로 밀의 성분 특성과 체내 단쇄지방산(SCFA) 생성

파로 밀의 탄수화물 함량은 78.00–83.22%(d.b.) 범위로, 평균 80.61% 수준으로 보고되었으며(Dhanavath와 Rao, 2017), 총 식이섬유 함량은 7.2–20.7% 범위(평균 13.9%)로 비교적 높은 편에 속한다. 파로를 포함한 대부분의 곡물에서 식이섬유 구성은 불용성 식이섬유가 80% 이상, 수용성 식이섬유가 약 15–20%를 차지하는 것으로 알려져 있다. 일반 밀과 카무트 역시 식이섬유가 풍부한 곡물이지만, 현미는 이들에 비해 상대적으로 식이섬유 함량이 낮다. 특히 파로는 비교 대상

표 7. 파로 밀 주요 성분의 항비만 관련 기능성

성분		항비만 관련 효능
식이섬유	수용성 식이섬유	포만감 유지, 혈당 조절, 지방 흡수 억제, 장내 미생물 균총 조절, 단쇄지방산(SCFAs) 생성, 지방 연소 촉진, 식욕 억제 호르몬(GLP-1, PYY) 분비 촉진, 염증 감소 등
	불용성 식이섬유	포만감 증가, 배변 촉진, 지방 축적 예방, 열량 섭취 감소 등
저항전분(RS)		단쇄지방산(SCFAs) 생성 및 지방 축적 억제, 에너지 소비 촉진, 혈당 조절, 인슐린 반응 개선, 장내 미생물 균총 조절 (유익균 증식), 염증 완화 등
아라비노자일란(AX)		수용성 식이섬유의 역할, 단쇄지방산(SCFA) 생성, 지방 대사 촉진, 염증 억제 등
페룰산		항산화 효과 – 활성산소 제거를 통한 지방세포 염증 반응 및 지방 축적 억제, 지질분해 효소 활성화, 혈당 안정화, 혈중지질 감소를 통한 비만 관련 대사 개선
폴리페놀		항산화, 지방 축적 억제, 에너지 대사 활성화 등

곡물 중 식이섬유 함량이 가장 높아 건강기능 소재로서의 활용 가치가 크다고 평가된다. 파로 밀에는 소화가 느린 전분이 전체 전분의 약 49.25%를 차지하며, 저항성 전분(RS) 함량은 평균 19.15%로 보고되었다(표 2). RS 함량은 품종과 재배 환경에 따라 17.1–21.2% 범위로 다양하다(Dhanavath와 Rao, 2017). 이러한 높은 RS 함량은 파로 밀의 기능성을 결정짓는 핵심적인 특징 중의 하나이다. 파로 밀에 함유된 식이섬유와 저항성 전분은 소장에서 소화·흡수되지 않고 대장까지 도달한 후 장내 미생물에 의해 발효된다. 이 과정에서 주요 단쇄지방산(SCFAs)인 아세트산(acetic acid), 프로피온산(propionic acid), 부티르산(butyric acid)이 생성된다(그림 3). SCFA의 생성량과 조성은 섬유질의 종류, 전분의 저항성 정도, 곡물 입자의 미세 구조 및 가공 특성 등에 의해 영향을 받는 것으로 보고되었다(Stewart와 Slavin, 2009). 그림 3은 식이섬유 섭취 후 SCFA의 생성 경로와 체내 작용 기전을 개략적으로 나타낸 것이다(Besten 등, 2013).

파로 밀에 풍부한 식이섬유와 저항성 전분은 대장에서 유익균의 주요 기질로 작용하며, 미생물 발효를 통해 아세트산, 프로피온산 및 부티르산과 같은 SCFA로 전환된다. 즉, 파로 곡물의 복합 탄수화물은 장내 미생물 대사를 통해 생리활성이 높은 대사산물로 변환되며, 이들 SCFA는 대장 상피세포의 에너지원으로 이용될 뿐만 아니라 면역조절, 염증 억제 및 대사 항상성 유지에 중요한 역할을 한다. 특히 저항성 전분은 SCFA 생성에 핵심적인 기질로 작용하며, 파로 밀의 발효 특성은 저항성 전분의 생물학적 이용성을 증대시켜 SCFA 생성 효율을 높이는 데 기여한다. 생성된 아세트산과 프로피온산은 장내 pH를 낮춰 병원성 세균의 증식을 억제하고 유익균의 생장을 촉진하는 환경을 조성한다. 부티르산은 대장 상피세포의 주요 에너지원으로 작용하며, 장 점막 보호와 장벽 기능 강화를 통해 장 염증 완화 효과를 나타낸다. 프로피온산은 간에서 포도당 신생합성을 조절함으로써 혈당 항상성 유지에 기여하며, 부티르산은 인슐린 감수성 개선과 에너지 대사 조절을 통해 비만, 당뇨병 및 고지혈증과 같은 대사성 질환의 예방에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다. 이들 SCFA는

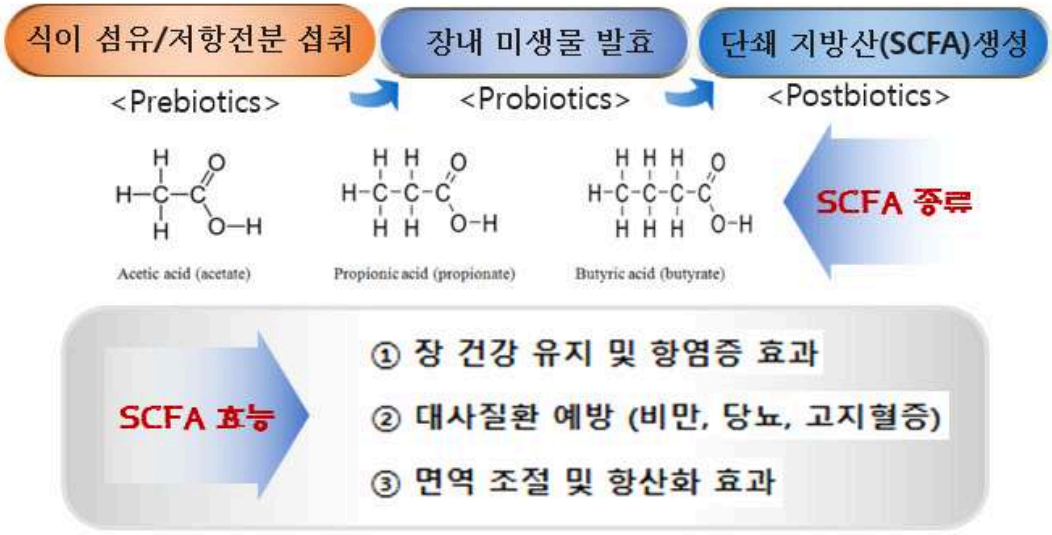


그림 3. 식이섬유 섭취에 따른 단쇄지방산(SCFAs)의 생성 경로 및 생리적 효능.

또한 면역세포의 활성 조절과 항염 반응 유도를 통해 체내 면역기능 조절 및 항산화 효과에도 관여한다. 이러한 점에서 파로를 비롯한 고대 곡물은 식이섬유와 저항성 전분 함량이 높고, 항산화 성분과 미네랄이 풍부하여 대장에서 SCFA 생성에 유리한 성분적 특성을 지닌 곡물로 평가된다(Baldi 등, 2022).

2.10. 고대 곡물 파로와 카무트의 특·장점과 건강기능 소재화

고대 곡물인 파로(farro, *T. dicoccum*)와 카무트(Kamut, *T. turgidum* ssp. *turanicum*)는 일반 곡물에 비해 영양학적 가치와 건강 기능성이 우수한 특징을 지닌다. 두 곡물 모두 단백질과 식이섬유 함량이 높고, 항산화 관련 기능성 성분을 다양하게 함유하고 있어 기능성 식품 소재로서의 활용 가능성이 크다. 단백질 함량은 파로가 약 12-15%, 카무트가 14-17% 수준으로 카무트가 다소 높은 경향이다. 이에 비해 파로는 카무트보다 글루텐 함량이 다소 낮다(표 4). 이러한 높은 단백질 함량은 포만감 유지와 체중조절, 노년기 근육 건강 관리 측면에서 장점으로 작용한다. 탄수화물 조성 측면에서 통곡물 파로의 총 식이섬유 함량은 평균 13.95%(d.b.)이며, 통곡물 카무트는 12.10–17.80%(d.b.) 범위로 보고되어 일부 연구에서는 카무트가 다소 높은 값을 나타낸다(Di Loreto 등, 2017). 그러나 파로는 단당류 및 환원당 함량이 매우 낮아 혈당지수(GI)가 상대적으로 낮은 곡물로 분류되며, 식후 혈당의 급격한 상승(blood sugar spike)을 억제하여 당뇨 관리 및 대사 건강에 유리한 특성을 지닌다. 반면, 카무트는 셀레늄, 아연과 같은 항산화 미네랄과 비타민 B군이 풍부하여 면역 기능 강화와 심혈관 건강 개선에 기여할 수 있다.

파로와 카무트는 공통적으로 식이섬유와 저항성 전분(RS)을 풍부하게 함유하고 있으며, 이들 성분은 장내 미생물에 의해 발효되어 단쇄지방산(SCFAs) 생성을 촉진한다. 생성된 SCFA는 장 점막 건강 증진, 염증 완화, 에너지 대사 및 면역 조절에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 또한, 발효 공정을 적용할 경우 곡물 내 피틴산과 일부 글루텐 구조가 분해되어 미네랄의 생체이용률과 소화율이 개선되며, 기능성 성분의 활용도를 더욱 높일 수 있다. 종합적으로 볼 때 파로는 낮은 혈당지수와 낮은 당 함량이라는 특성을 바탕으로 혈당 조절, 항비만 및 장 건강 개선을 목표로 한 기능성 소재로의 활용이 유망하다. 반면, 카무트는 항산화·항염 및 면역 증진, 근육 건강을 중심으로 한 맞춤형 기능성 식품 개발에 적합한 곡물로 기대된다(Aweya 등, 2025; Baldi 등, 2022; Deyalage 등, 2024; Kim 등, 2025). 현재까지의 문헌을 종합해 볼 때 카무트는 전통 곡물로서의 영양학적 특성에 대한 연구가 주를 이루는 반면, 파로는 기능성 성분, 장내미생물 연관성 및 가공 활용 측면에서 보다 다양한 연구가 축적되어 있다고 평가된다.

2.11. 통곡물의 특징과 파로 및 카무트 밀의 건강식이 활용

통곡물(whole grains)이란 손상되지 않거나 일부만 파쇄된 상태의 곡물로서, 전분질 배유(endosperm), 배아(germ), 겨(bran)가 모두 보존된 형태를 의미한다(Slavin 등, 2013). 최근 통곡물 섭취의 증가는 심혈관 질환과 제2형 당뇨병을 비롯한 만성질환의 발생 위험을 감소시키는 것으로 보고되고 있으며, 이는 통곡물에 함유된 다양한 파이토케미컬과 식이섬유의 생리활성에 기인하는 것으로 설명된다(Okarter와 Liu, 2010). 밀, 옥수수, 보리, 쌀 등은 통곡물 또는 정제 곡물 형태로 전 세계에서 널리 소비되고 있으며, 이 중 밀은 소비량이 가장 높은 곡물이다. 특히 밀에는 페놀 화합물, 카로티노이드, 비타민 E, γ-오리자놀, 식이섬유, β-글루칸 등 다양한 생리활성 성분이 함유되어 있어 만성질환 예방 측면에서 잠재적인 건강 이점을 제공할 수 있다(Okarter와 Liu, 2010). 이에 따라 통곡물 유래 생리활성 물질의 조성 및 기능을 비교·평가하는 연구의 필요성이 지속적으로 증가하고 있다. 임상 및 역학 연구

에 따르면 통곡물의 규칙적인 섭취는 제2형 당뇨병(Maki와 Phillips, 2015), 비만 관리(Harland와 Garton, 2008), 심혈관 질환(Anderson 등, 2000) 등 노인성 만성질환의 예방과 특정 유형의 암 발생 위험 감소에 효과적이라는 과학적 근거가 보고되고 있다(Arzani, 2019). 정기적인 통곡물 섭취는 총콜레스테롤, LDL-콜레스테롤, 중성지방, 혈당, 혈압 및 체질량지수(BMI) 등 심장대사질환 관련 주요 위험 인자의 감소와 밀접하게 연관되어 있다. 또한 최근의 메타분석 연구에서는 통곡물 섭취가 심혈관 질환 및 암으로 인한 사망률 감소와 유의한 상관관계를 보이는 것으로 보고되었다(Ma 등, 2016).

고대 곡물인 파로와 카무트는 식이섬유, 저항성 전분, 단백질, 항산화 성분 및 다양한 미네랄을 함유한 복합 탄수화물 식재료로서, 통곡물 상태에서의 영양적 가치가 특히 높다. 이들 곡물을 통곡물 형태로 섭취하거나 발효 공정을 적용할 경우, 혈당 흡수 속도의 조절과 장내 미생물 환경 개선을 동시에 기대할 수 있어 비만과 당뇨를 포함한 대사성 질환 예방을 위한 기능성 소재로 활용 가능성이 크다. 이러한 장 건강 개선과 대사 조절 효과는 비만 예방, 혈당 관리, 면역 기능 강화, 심혈관 건강 증진 및 노화 지연 등으로 건강기능의 확장이 가능하다. 한편, 파로와 카무트는 취반 시 고소하고 쫄깃한 식감을 지니며, 잡곡밥, 리조토, 샐러드 토핑 등 다양한 요리에 적용할 수 있어 자연식, 건강식, 대체식 및 기능성 식품 개발 측면에서도 활용도가 높다. 따라서 통곡물 파로와 카무트는 영양 · 기능 · 기호성을 동시에 충족하는 고부가가치 건강 식이 소재로서 향후 식품 산업 및 기능성 식품 분야에서의 활용 가능성이 매우 크다고 판단된다.

2.12. 파로 밀의 기능성 성분을 기반으로 한 새로운 가공 · 저장 · 유통 소재화 기술

파로 밀은 고유한 영양 및 기능성 성분 조성을 바탕으로 발효 기술을 적용한 효소식품 및 기능성 소재로의 활용 가능성이 높은 고대 곡물이다. 파로 밀의 총 식이섬유 함량은 약 13–14% 수준으로, 주로 불용성 식이섬유가 우세하며, 섭취 시 포만감 증가와 장내 미생물 조성 개선에 기여할 수 있다. 특히 파로 밀에 풍부한 저항성 전분(RS)은 소장에서 소화되지 않고 대장까지 도달하여 단쇄지방산(SCFAs) 생성을 유도하고, 인슐린 민감도 개선과 대사 항상성 유지에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 또한 파로 밀에 함유된 폴리페놀은 항산화 활성을 통해 지질 산화 억제와 염증 완화 효과를 기대할 수 있다. 파로 밀의 단백질 함량은 일반 밀보다 높은 수준(약 13–15%)으로, 노년기 근육 유지와 대사 균형 측면에서도 활용 가치가 있다. 더불어 파로 밀은 혈당지수(GI)가 상대적으로 낮아 식후 혈당 급상승을 억제하는 기능을 제품 설계에 적극 반영할 필요가 있다.

파로 밀은 발효 공정에 따라 기능성 성분의 생성 및 생체이용성 변화가 유도될 수 있다. 예를 들어, 유산균 발효(예: *Lactobacillus plantarum*)는 식이섬유 및 저항성 전분의 부분적 분해를 통해 SCFA 생성 잠재력을 높이고, 결합형 폴리페놀의 가용화를 통해 프리바이오틱과 프로바이오틱 기능이 결합된 신바이오틱(synbiotic) 효과를 나타낼 수 있다. 또한 곰팡이 발효(예: *Aspergillus oryzae*) 과정에서는 β-glucanase, amylase, protease 등 다양한 가수분해 효소가 생성되어 영양소의 소화율을 향상시키고 생리활성을 증대시킬 수 있다. 발효 후 건조 및 분말화 공정을 적용하면 저장 안정성과 유통 편의성이 향상되어 다양한 제형으로의 제품화가 가능하다. 더 나아가 *Bacillus* 속 균주와 유산균을 조합한 혼합 균주 발효는 항염, 혈당 조절 및 장 건강 개선과 관련된 기능성 시너지 효과를 기대할 수 있다. 구체적인 제품화 방안으로는 파로 곡물을 발효시킨 후 건조하여 제조한 발효 효소 분말을 활용한 혈당 관리용 차(茶), 스틱형 분말 제품 등이 가능하다. 또한 복합 발효 균주를 이용한 발효 농축액은 저온 숙성 공정을 통해 기능성 음료 소재로의 활용이 기대된다. 파로 밀의 저혈당지수 특성과 기능성 전분 조성을

고려할 경우, 발효 파로 분말을 활용한 저 GI 스낵바, 비스킷 등 체중 관리용 곡물 기반 식품으로의 응용도 가능하다.

이상의 가공 및 응용 기술을 종합적으로 고찰한 결과, 고대 곡물 파로(emmer wheat)는 가공 기술의 고도화에 따라 기능성 성분의 활용 가능성이 증대됨과 동시에 저장 안정성 및 유통 적합성이 단계적으로 확장되어 온 소재임을 확인할 수 있다. 초기 연구에서는 파로를 발효 공정에 적용하여 식이섬유, 저항성 전분 및 폴리페놀 등 기능성 성분의 가용성과 생체이용률을 증진시키는 기초 가공 기술이 제안되었으며(Ahn 등, 2025a), 이는 고대 곡물 소재의 낮은 생체이용률 및 가공적 한계를 보완하기 위한 기초 가공 단계로 활용되었다. 이후 파로 발효물을 스틱형 편의식으로 제형화 기술(Ahn 등, 2025c)은 개별 포장과 정량 섭취가 가능한 형태를 구현하여 저장 안정성과 유통 편의성을 동시에 고려한 응용 사례로 제시한 것으로 볼 수 있다. 또한 발효 파로를 유청 음료에 적용하여 항균 활성을 부여한 기술(Ahn 등, 2025b)은 액상 식품에서 문제시되는 미생물학적 안정성을 개선하고자 한 접근으로, 파로 발효물의 활용 범위를 음료 제품군으로 확장한 사례로 평가된다. 나아가 파로 밀을 주식 형태의 쌀밥으로 가공하여 향미 및 미네랄 함량을 강화한 기술(Ahn 등, 2025d)은 고대 곡물 소재를 일상 식단에 자연스럽게 적용하기 위한 시도로서, 즉석밥 및 가정간편식(HMR)과 같이 장기 저장과 유통이 요구되는 주식형 제품으로의 확장 가능성을 시사한다. 이는 기능성 곡물을 특정 소비자층의 건강식에 국한하지 않고, 대중적 식사 패턴으로 통합하려는 전략적 접근으로 해석될 수 있다.

아울러 SCFAs 생성 촉진을 목표로 한 기능성 식이섬유, 효소 및 미생물 균주의 미세 캡슐화(encapsulation) 기술 적용 역시 중요한 전략이 될 수 있다. 캡슐화 공법은 기능성 성분을 위산으로부터 보호하여 장까지 안정적으로 전달함으로써 생체이용성을 향상시키는 기술로, 최근 효소식품 및 장 건강 소재 분야에서 주목받고 있다. 국내에서는 일부 기업을 중심으로 캡슐화 특허 기술을 적용한 파로 발효 효소식품이 '캡슐화 공법 신개념 제품'으로 개발·상용화된 사례가 보고되고 있다(Ahn 등, 2025e), 이는 발효 기반 곡물 효소식품의 산업적 확장 가능성을 보여주는 사례로 평가된다. 종합적으로 파로 밀은 발효 공정과 캡슐화 기술을 접목함으로써 기능성 성분의 안정성과 생체이용성을 동시에 확보할 수 있는 소재이며, 장 건강, 혈당 관리 및 대사성 건강을 목표로 한 차세대 효소식품 및 기능성 식품 원료로서의 활용 잠재력이 크다.

또한, 파로 유래 폴리페놀을 강화하고 이를 리포좀화(liposomal encapsulation)하는 기술(Ahn 등, 2025f)이 보고되어, 기능성 성분의 산화 및 분해를 억제하는 저장 안정성 확보와 함께 체내 전달 효율을 동시에 고려한 첨단 가공 기술로 발전되고 있다. 이러한 접근은 파로 소재를 단순한 곡물 원료 수준을 넘어, 기능성 성분 중심의 고부가가치 소재로 전환하는 데 중요한 기술적 전환점이라 할 수 있다. 이와 같은 기술 발전의 흐름은 파로 소재가 발효 기반 기능성 원료에서 출발하여 편의식, 음료, 주식형 제품을 거쳐 기능성 성분 중심의 고부가가치 소재로 단계적으로 진화해 왔음을 보여준다. 즉, 가공 기술의 진보는 파로의 기능성 강화뿐만 아니라 저장 안정성 확보와 유통 형태의 다변화를 가능하게 하였으며, 이는 고대 곡물 소재의 건강식품 및 기능성 식품 산업에서의 활용 가능성을 지속적으로 확장시키는 핵심 요인으로 작용하고 있음을 시사한다.

Ⅲ. 결론

본 총설에서는 고대 곡물 중 파로(*T. dicoccum*, emmer wheat)의 성분 특성과 건강 기능성을 중심으로 가공·저장·유통 특성 및 산업적 활용 가능성을 종합적으로 고찰하였다. 파로는 약 1% 수준의 낮은 당 함량(Dhanavath와 Rao, 2017)과 높은 식이섬유 및 저항성 전분 함량을 특징으로 하는 프리바이오틱 소재이다. 따라서 장내 미생물의 발효에 의해 생성될 수 있

는 SCFAs는 혈당 조절, 항비만, 항염, 장 건강 개선 등의 중요한 생리적 기능이 기대된다. 또한 파로는 단백질과 항산화 성분을 함께 함유하고 있어 현대인의 대사 건강 관리와 노화 예방 측면에서도 유용한 곡물로 사료된다. 특히 발효 공정을 기반으로 한 파로 곡물의 기능성 향상과 캡슐화, 제형화, 리포좀화 등의 안정성 및 흡수율 증진 기술의 융합은 파로의 산업적 활용 범위를 더욱 넓힐 수 있을 것이다. 이와 같은 과학적·기술적 진보는 파로 밀을 단순한 통곡물 식재료의 범주를 넘어 고부가가치 기능성 식품 소재로 전환시키는 핵심 동력이 될 것이다. 나아가 파로 밀의 고유한 기능성 성분과 AI 기반 발효 공정을 포함한 첨단 가공·저장·유통 기술의 융합은 차별화된 건강기능식품 소재 개발과 K-효소식품 산업의 고도화를 통해 글로벌 항비만 및 대사 건강 시장 확대를 선도할 전략산업으로 기대된다.

Conflict of Interests

The authors declare no potential conflicts of interest.

ORCID

Sun Hwa Kim
https://orcid.org/0000-0002-7786-9236
Su Seok Jang
https://orcid.org/0009-0001-8959-2975
Ha Young Lee
https://orcid.org/0009-0000-1498-4301
Chang Suk Ahn
https://orcid.org/0009-0001-6478-1534
Dong Hoon Lee
https://orcid.org/0009-0008-3054-4363
Joong-Ho Kwon
https://orcid.org/0000-0002-3875-1438

참고문헌

AAchilli AL, Avci MI, Haile TA, Martínez-Peña R, Peters Haugrud AR. Genetic gains in durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) across the globe: yield, quality and adapting for variable weather patterns. Plant Breed, 145, 142-165 (2026)

Ahn CS, Lee DH, Jeong HY, Oh SY, Jeong YJ, Lee HY. Method for producing acid-resistant microcapsule powder from fermented mixture of ancient grain Farro. Korean Patent No. 10-2025-0033384 (2025e)

Ahn CS, Lee DH, Jeong HY, Oh SY, Jeong YJ. Method for producing Farro rice with enhanced flavor and mineral content from ancient grain Farro wheat. Korean Patent No. 10-2024-0196541 (2025d)

Ahn CS, Lee DH, Kang JB, Oh SY, Kim SH, Jeong YJ. Method for producing functional component-enriched fermented product of ancient grain Farro. Korean Patent No. 10-2024-0149415 (2025a)

Ahn CS, Lee DH, Kim SH, Jeong HY, Oh SY, Jeong YJ. Method for enhancing polyphenols and liposomizing using ancient grain Farro. Korean Patent No. 10-2025-0090850 (2025f)

Ahn CS, Lee DH, Oh SY, Jeong YJ. Method for producing whey beverage containing fermented Farro with antimicrobial activity. Korean Patent No. 10-2024-0149445 (2025b)

Ahn CS, Lee DH, Oh SY, Jeong YJ. Stick-type convenient food composition based on fermented product of ancient grain Farro. Korean Patent No. 10-2024-0166856 (2025c)

Ammar MK, Hanafi RS, Choucry MA, Handoussa H. Structural, functional, nutritional composition and analytical profiling of *Triticum aestivum* L. Appl Biol Chem, 66, 1-16 (2023)

Anderson JW, Hanna TJ, Peng X, Kryscio RJ. Whole grain foods and heart disease risk. J Am Coll Nutr, 19, 291S-299S (2000)

Ankita M, Yenagi NB, Kasturiba B. Designing of low glycaemic chapati of dicoccum wheat for the effective management of diabetes. Karnataka J Agric

Sci, 23, 476-479 (2010)
Arzani A. Emmer (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccum*) flour and bread. In: Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention. 2nd ed, Academic Press, Cambridge, MA, USA, p 89-98 (2019)
Aweya JJ, Sharma D, Bajwa RK, Earnest B, Krache H, Moghadasian MH. Ancient grains as functional foods: integrating traditional knowledge with contemporary nutritional science. Foods, 14, 2529 (2025)
Baldi S, Dinu M, Pagliai G, Colombini B, Gloria LD, Curini L, Pallecchi M, Ramazzotti M, Bartolucci G, Benedettelli S, Amedei A, Sofi F. Effect of ancient wheat pasta on gut microbiota composition and bacteria-derived metabolites: a randomized controlled trial. Front Nutr, 9, 971666 (2022)
Balestra F, Laghi L, Taneyo Saa D, Gianotti A, Rocculi P, Pinnavaia G. Physico-chemical and metabolomic characterization of KAMUT® Khorasan and durum wheat fermented dough. Food Chem, 187, 451-459 (2015)
Barron C, Robert P, Guillon F, Saulnier L, Rouau X. Structural heterogeneity of wheat arabinoxylans revealed by Raman spectroscopy. Carbohydr Res, 341, 1186-1191 (2006)
bdel-Aal ESM, Rabalski I. Bioactive compounds and their antioxidant capacity in selected primitive and modern wheat species. Open Agric J, 2, 7-14 (2008)
Besten GD, Eunen KB, Groen AK, Venema K, Reijngoud DJ, Bakker BM. The role of short-chain fatty acids in the interplay between diet, gut microbiota, and host energy metabolism. J Lipid Res, 54, 2325-2340 (2013)
Bettge AD, Morris CF. Relationships among grain hardness, pentosan fractions, and end-use quality of wheat. Cereal Chem, 77, 241-247 (2000)
Bhuvaneshwari G, Yenagi NB, Hanchinal RR. Carbohydrate profile of *dicoccum* wheat varieties. Karnataka J Agric Sci, 17, 781-786 (2004)
Biel W, Jaroszewska A, Stankowski S, Sobolewska M, Kępińska-Pacelik J. Comparison of yield, chemical composition and farinograph properties of common and ancient wheat grains. Eur Food Res Technol, 247, 1525-1538 (2021)
Biliaderis CG, Izydorczyk MS, Rattan O. Effect of arabinoxylans on bread-making quality of wheat flours. Food Chem, 53, 165-171 (1995)
Bordoni A, Danesi F, Di Nunzio M, Taccari A, Valli V. Ancient wheat and health: a legend or the reality? A review on KAMUT khorasan wheat. Int J Food Sci Nutr, 68, 278-286 (2017)
Carpentier S, Knaus M, Suh M. Associations between lutein, zeaxanthin, and age-related macular degeneration: an overview. Crit Rev Food Sci Nutr, 49, 313-326 (2009)
Chang NW, Huang PC. Effects of the ratio of polyunsaturated and monounsaturated fatty acid to saturated fatty acid on rat plasma and liver lipid concentrations. Lipids, 33, 481-487 (1998)
Choi JH, Kim EJ, Lee KS. Quality characteristics of sour-dough bread made with kamut sour starter. Culin Sci Hosp Res, 22, 117-133 (2016)
Corgneau M, Gaiani C, Petit J, Nikolova Y, Banon S, Ritié-Pertusa L, Le DTL, Scher J. Digestibility of common native starches with reference to starch granule size, shape and surface features towards guidelines for starch-containing food products. Int J Food Sci Technol, 54, 2132-2140 (2019)
Courtin CM, Delcour JA. Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making. J Cereal Sci, 35, 225-243 (2002)
Cummins AG, Roberts-Thomson IC. Prevalence of celiac disease in the Asia-Pacific region. J Gastroenterol Hepatol, 24, 1347-1351 (2009)
Čurna V, Lacko-Bartošová M. Chemical composition and nutritional value of emmer wheat (*Triticum dicoccon* Schrank): a review. J Cent Eur Agric, 18, 117-134 (2017)
Deyalage ST, House JD, Thandapilly SJ, Malalgoda M. Nutritional characteristics and physicochemical properties of ancient wheat species for food applications. Food Biosci, 62, 1-17 (2024)
Dhanavath S, Rao UJSP. Nutritional and nutraceutical

properties of *Triticum dicoccum* wheat and its health benefits: an overview. J Food Sci, 82, 2243-2250 (2017)

Di Loreto A, Di Silvestro R, Dinelli G, Bregola V, Stenico V, Sferrazza RE, Marotti I, Quinn R, Bosi S. Nutritional and nutraceutical aspects of KAMUT® khorasan wheat grown during the last two decades. J Agric Sci, 155, 1-12 (2017)

Fares C, Codianni P, Nigro F, Platani C, Scazzina F, Pellegrini N. Processing and cooking effects on chemical, nutritional and functional properties of pasta obtained from selected emmer genotypes. J Sci Food Agric, 88, 2435-2444 (2008)

Farooq MA, Yu JM. Recent advances in physical processing techniques to enhance the resistant starch content in foods: a review. Foods, 13, 2770 (2024)

Figueroa-Espinoza MC, Rouau X. Oxidative cross-linking of pentosans by a fungal laccase and horseradish peroxidase: mechanism of linkage between feruloylated arabinoxylan. Cereal Chem, 75, 259-265 (1998)

Galterio G, Codianni P, Giusti B, Pezzarosa B, Cannella C. Assessment of the agronomical and technological characteristics of *Triticum turgidum* ssp. *dicoccum* Schrank and T. spelta L. Nahrung Food, 47, 54-59 (2003)

Geisslitz S, Longin FH, Scherf KA, Koehler P. Comparative study on gluten protein composition of ancient (einkorn, emmer and spelt) and modern wheat species (durum and common wheat). Foods, 8, 409 (2019)

Giacintucci V, Guardeño L, Puig A, Hernando I, Sacchetti G, Pittia P. Composition, protein contents, and microstructural characterization of grains and flours of emmer wheats (*Triticum turgidum* ssp. *dicoccum*) of the central Italy type. Czech J Food Sci, 32, 115-121 (2014)

Giambanelli E, Ferioli F, Kocaoglu B, Jorjadze M, Alexieva I, Darbinyan N, D'Antuono LF. A comparative study of bioactive compounds in primitive wheat populations from Italy, Turkey, Georgia, Bulgaria and Armenia. J Sci Food Agric, 93, 3490-3501 (2013)

Hammed AM, Simsek S. Hulled wheat. A review of nutritional properties and processing methods. Cereal Chem, 91, 97-104 (2014)

Han J, Wu JR, Liu X, Shi JR, Xu JH. Physiological effects of resistant starch and its applications in food: a review. Food Prod Process Nutr, 5, 48 (2023)

Harland J, Garton LE. Whole-grain intake as a marker of healthy body weight and adiposity. Public Health Nutr, 11, 554-563 (2008)

Hejtmankova K, Lachman J, Hejtmankova A, Pivec V, Janovska D. Tocols of selected spring wheat (*Triticum aestivum* L.), einkorn wheat (*Triticum monococcum* L.) and wild emmer (*Triticum dicoccum* Schuebl[Schrank]) varieties. Food Chem, 123, 1267-1274 (2010)

Hughes SA, Shewry PR, Li L, Gibson GR, Sanz ML, Rastall RA. *In vitro* fermentation by human fecal microflora of wheat arabinoxylans. J Agric Food Chem, 55, 4589-4595 (2007)

Hussain M, Simsek S. Impact of ferulated arabinoxylans from maize bran on farinograph and pasting properties of wheat flour blends. Foods, 13, 3414 (2024)

Izydorczyk MS, Biliaderis CG. Cereal arabinoxylans: advances in structure and physicochemical properties. Carbohydr Polym, 28, 33-48 (1995)

Karl JP, Meydani M, Barnett JB, Vanegas SM, Goldin B, Kane A, Rasmussen H, Saltzman E, Vangay P, Knights D, Chen CYO, Das SK, Jonnalagadda SS, Meydani SN, Roberts SB. Substituting whole grains for refined grains in a 6-wk randomized trial favorably affects energy-balance metrics in healthy men and postmenopausal women. Am J Clin Nutr, 105, 589-599 (2017)

Kevin F. Feeding an empire: why Egyptian grains played a key role in the food provisioning of the Roman Empire. Wageningen University & Research, Wageningen, The Netherlands, p 1-45 (2021)

Kim SH, Oh SY, Jeong YJ, Kwon JH. Changes in characteristics of the ancient grain farro according to liquefaction and saccharification processes. Food Sci

Preserv, 32, 17-29 (2025)
Kim SH, Oh SY, Kang JB, Jeong YJ. Changes in total dietary fiber content and quality of brown rice bran by complex fermentation. Food Sci Preserv, 31, 879-886 (2024)
Kiszonas AM, Fuerst EP, Luthria D, Morris CF. Arabinoxylan content and characterisation throughout the bread-baking process. J Food Sci Technol, 50, 1911-1921 (2015)
Konvalina P, Capouchova I, Stehno Z, Moudry Jr J, Moudry J. Composition of essential amino acids in emmer wheat landraces and old and modern varieties of bread wheat. J Food Agric Environ, 9, 193-197 (2011)
Kwon JH, Kim YS, Kim HJ, Park GH, Park YK, Lee KT. Food Chemstry. Shinkwang Press, Seoul, Korea (2017)
Li H, Zhang L, Li J, Wu Q, Qian L, He J, Ni Y, Kovatcheva-Datchary P, Yuan R, Liu S, Shen L, Zhang M, Sheng B, Li P, Kang K, Wu L, Fang Q, Long X, Wang X, Li Y, Ye Y, Ye J, Bao Y, Zhao Y, Xu G, Liu X, Panagiotou G, Xu A, Jia W. Resistant starch intake facilitates weight loss in humans by reshaping the gut microbiota. Nat Metab, 6, 578-597 (2024)
Lu ZX, Walker KZ, Muir JG, Mascara T, O'Dea K. Arabinoxylan fiber, a byproduct of wheat flour processing, reduces the postprandial glucose response in normoglycemic subjects. Am J Clin Nutr, 71, 1123-1128 (2000)
Ma X, Tang WG, Yang Y, Zhang QL, Zheng JL, Xiang YB. Association between whole grain intake and all-cause mortality: a meta-analysis of cohort studies. Oncotarget, 7, 61996-62005 (2016)
Melese B, Satheesh N, Workneh Fanta S. Emmer wheat: an Ethiopian perspective: a short review. Ann Food Sci Technol, 20, 89-96 (2019)
Ministry of Health and Welfare, The Korean Nutrition Society. Dietary Reference Intakes for Koreans. Ministry of Health and Welfare, Sejong, Korea, p 80-105 (2020)
Mohan BH, Malleshi NG. Characteristics of native and enzymatically hydrolyzed common wheat (*Triticum aestivum*) and *dicoccum* wheat (*Triticum dicoccum*) starches. Eur Food Res Technol, 223, 355-361 (2006)
Monobe M, Maeda-Yamamoto M, Matsuoka Y, Kaneko A, Hiramoto S. Immunostimulating activity and molecular weight dependence of an arabinoxylan derived from wheat bran. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 55, 245-249 (2008)
Naczk M, Shahidi F. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: occurrence, extraction and analysis. J Pharm Biomed Anal, 41, 1523-1542 (2006)
Nadaf S. Studies on biochemical quality parameters of wheat as influenced by location. Ph D Thesis, Dharwad Agricultural Sciences University, India (2010)
Neyrinck AM, Delzenne NM. Potential interest of gut microbial changes induced by non-digestible carbohydrates of wheat in the management of obesity and related disorders. Curr Opin Clin Nutr Metab Care, 13, 722-728 (2010)
Neyrinck AN, Possemiers S, Druart C, Van de Wiele T, De Backer F, Cani PD, Larondelle Y, Delzenne NM. Prebiotic effects of wheat arabinoxylan related to the increase in bifidobacteria, roseburia and bacteroides/prevotella in diet-induced obese mice. Plos One, 6, e20944 (2011)
Okarter N, Liu RH. Health benefits of whole grain phytochemicals. Crit Rev Food Sci Nutr, 50, 193-208 (2010)
Philippe S, Saulnier L, Guillon F. Arabinoxylan and (1→3),(1→4)-β-glucan deposition in cell walls during wheat endosperm development. Planta, 224, 449-461 (2006)
Saulnier L, Sado PE, Branlard G, Charmet G, Guillon F. Wheat arabinoxylans: exploiting variation in amount and compositions to develop enhanced varieties. J Cereal Sci, 46, 261-281 (2007)
Sissons M, Palombieri S, Sestili F, Lafiandra D. Impact of variation in amylose content on durum wheat cv. Svevo technological and starch properties. Foods, 12, 4112 (2023)
Slavin J, Tucker M, Harriman C, Jonnalagadda SS. Whole

Grains: Definition, Dietary Recommendations, and Health Benefits. Cereal Food World, 58, 191-193 (2013)

Slavin JL, Jacobs D, Marquart L. Grain processing and nutrition. Crit Rev Biotechnol, 21, 49-66 (2001)

Stewart ML, Slavin JL. Particle size and fraction of wheat bran influence short-chain fatty acid production *in vitro*. Br J Nutr, 102, 1404-1407 (2009)

Suchowilska E, Wiwart M, Borejszo Z, Packa D, Kandler W, Krska R. Discriminant analysis of selected yield components and fatty acid composition of chosen *Triticum monococcum, Triticum dicoccum* and *Triticum spelta* accessions. J Cereal Sci, 49, 310-315 (2009)

Suchowilska E, Wiwart M, Kandler W, Krska R. A comparison of macro- and microelement concentrations in the whole grain of four *Triticum* species. Plant Soil Environ, 58, 141-147 (2012)

Sun Y, Li D, Zhao L, Liu X, Guan K, Ma Y, Wang R, Li Q. PYY-mediated appetite control and obesity alleviation through short-chain fatty acid-driven gut-brain axis modulation by *Lacticaseibacillus rhamnosus* HF01 isolated from Qula. J Dairy Sci, 108, 7960-7978 (2025)

Supekar DT, Patil SR, Munjal SV. Comparative study of some important aestivum, durum and dicoccum wheat cultivars for grain, flour quality and suitability for chapatti making characteristics. J Food Sci Technol, 42, 488-492 (2005)

Turner MA, Soh CHN, Ganguli NK, Sissons MJ. A survey of water-extractable arabinopolymers in bread and durum wheat and the effect of water-extractable arabinoxylan on durum dough rheology and spaghetti cooking quality. J Sci Food Agric, 88, 2551-2555 (2008)

USDA. Grain: World Markets and Trade. United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, Washington, DC, USA, p 1-39 (2025)

Van Slageren MW, Thomas P. Concepts and nomenclature of the farro wheats, with special reference to emmer, *Triticum turgidum* subsp. *dicoccum* (Poaceae). Kew Bull, 68, 477-494 (2013)

Vardakou M, Palop CN, Christakopoulos P, Faulds CB, Gasson MA, Narbad A. Evaluation of the prebiotic properties of wheat arabinoxylan fractions and induction of hydrolase activity in gut microflora. Int J Food Microbiol, 123, 166-170 (2008)

Wang M, Hamer RJ, Van Vliet T, Gruppen H, Marseille H, Weegels PL. Effect of water-unextractable solids on gluten formation and properties: mechanistic considerations. J Cereal Sci, 37, 55-64 (2003)

Wang X, Xu L. Influence factors on the formation of acrylamide in the amino acid/sugar chemical model system. J Food Nutr Res, 2, 344-348 (2014)

Yang CF, Chen Q, Zhang XB, Zhang JA, Rossi V, Du JK, Xin MM, Ni ZF, Sun QX, Yao YY. Genetic improvement of dietary fiber in wheat grains. Seed Biol, 3, 1-11 (2024)

Yenagi NB, Hanchinal RR, Patil CS, Koppikar V, Halagi M. Glycemic and lipidemic response to dicoccum wheat (*Triticum dicoccum*) in the diet of diabetic patients. Int J Diabetes Dev Ctries, 21, 153-155 (2001)

Yoon JE, Lee KY, Lee HG. Physicochemical properties of enzyme-treated dietary fibers from whole grain and the quality characteristics of cakes. Korean J Food Sci Technol, 54, 490-497 (2022)

Zhou ZK, Zhang Y, Chen XS, Zhang M, Wang ZW. Multi-scale structural and digestion properties of wheat starches with different amylose contents. Int J Food Sci Technol, 49, 2619-2627 (2014)

Zilic S, Dodig D, Basic Z, Vancetovic J, Titan P, Đuric N, Tolimir N. Free asparagine and sugars profile of cereal species: the potential of cereals for acrylamide formation in foods. Food Addit Contam Part A Chem Anal Control Expo Risk Assess, 34, 705-713 (2017)