



백미, 현미 및 밀가루로 제조한 면의 품질 특성과 혈당반응 평가

조성민, 정예원, 이자민, 임원철, 이수용, 임태규*

세종대학교 식품생명공학과

Effects of White Rice, Brown Rice, and Wheat Flours on the Quality Characteristics and Glycemic Response of Noodles

Sungmin Cho, Yewon Jeong, Jahmin Lee, Wonchul Lim, Suyong Lee and Tae-Gyu Lim*

Department of Food Science & Biotechnology, Sejong University, Seoul 05006, Korea

Abstract

This study compared the quality characteristics and glycemic responses of noodles prepared with white rice, brown rice, and wheat flour. Noodles were prepared through mixing, kneading, sheeting, cutting, and boiling, followed by the evaluation of its textural and cooking properties. Acute glycemic responses to noodle powder were assessed in C57BL/6 mice, while the long-term dietary effects were examined in db/db mice fed an AIN-93G-based diet supplemented with 30% noodle powder. Wheat noodles exhibited the highest maximum tensile force and extensibility before and after cooking. Among the rice-based noodles, cooked brown rice noodles exhibited a higher maximum tensile force than white rice noodles, but displayed lower extensibility. White rice noodles exhibited the highest water absorption, whereas cooking loss did not differ significantly among the samples. In the acute glycemic response test, the area under the blood glucose response curve was significantly lower in the brown rice noodle group than in the white rice and wheat noodle groups. In db/db mice, the brown rice noodle diet resulted in lower fasting blood glucose levels during the later experimental period. These results suggest that brown rice holds promise for developing rice-based noodles with potential glycemic response-modulating properties.

Keywords: Brown rice noodle, White rice noodle, Wheat noodle, Glycemic response, db/db mouse

서론

면류는 주식 또는 간편식 형태로 널리 소비되는 곡류 가공식품이며, 일반적으로 밀가루를 주원료로 제조된다. 밀가루의 글루텐은 반죽 과정에서 네트워크 구조를 형성하며, 이는 면의 조직감 및 조리 품질과 관련되는 것으로 보고되었다(Cuicui et al., 2018). 또한 밀가루의 글루텐 단백질 조성 및 반죽의 유변학적 특성은 백면의 조직감 품질에 영향을 미치는 요인으로 알려져 있다(Barak et al., 2014). 반면 쌀가루는 글루텐 프리 면 제조에 활용될 수 있는 곡류 소재이나, 글루텐 부재로 인해 밀가루면과 같은 점탄성 구조 형성

에는 한계가 있으며, 쌀가루 기반 면의 제조성과 조직감 개선을 위한 다양한 배합 및 전처리 방법이 검토되고 있다.

쌀가루 기반 면의 품질을 개선하기 위해 하이드로콜로이드, 전분, 결합소재 및 전처리 쌀가루를 활용한 연구가 수행되고 있다. 호화쌀가루 첨가, 쌀가루 열수처리 및 쌀 전분의 열수처리가 쌀면의 면대 형성성, 조리 품질 및 조직감 개선에 영향을 줄 수 있음이 보고되었다(Horndok & Noomhorm, 2007; Jeong et al., 2023). 아울러, 글루텐 부재로 인한 쌀면의 조직감 개선을 위해 다양한 전분 소재가 활용되고 있는데 특히, 타피오카 전분은 쌀가루 기반 글루텐 프리 면에서 조직감과 성형성을 보완하기 위한 전분 소재로 활

Received: Jun 15, 2026 / Revised: Jul 10, 2026 / Accepted: Jul 27, 2026 / Published: Aug 27, 2026

Corresponding author: Tae-Gyu Lim, Department of Food Science & Biotechnology, Sejong University, Seoul 05006, Korea

E-mail: tglim@sejong.ac.kr

Copyright © 2026 Korean Society for Food Engineering.

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.

용될 수 있으며, 타피오카 전분 첨가가 썬면의 경도, 씹힘성 및 응집성 개선에 영향을 줄 수 있음이 보고된 바 있다(Charutigon et al., 2008; Kim, 2018).

쌀은 도정 정도에 따라 영양성분과 생리적 특성이 달라질 수 있다. 백미는 도정 과정에서 겨층과 배아가 제거되는 반면, 현미는 겨층과 배아를 포함하고 있어 식이섬유, γ -oryzanol 및 phytosterol 등 생리활성 성분을 상대적으로 많이 함유하는 것으로 알려져 있다(Cho and Lim, 2016). 이러한 조성 차이는 곡류 식품의 소화 특성과 식후 혈당반응에 영향을 줄 수 있다. 과체중 아시아인을 대상으로 한 무작위 교차시험에서는 백미를 현미로 대체할 경우 24시간 혈당 반응과 공복 인슐린 반응이 감소할 수 있는 것으로 보고되었다(Mohan et al., 2014).

현미 또는 전곡류 쌀 소재의 혈당 조절 가능성은 역학연구와 동물실험에서도 검토되어 왔다. 대규모 코호트 연구에서는 백미와 현미 섭취가 제2형 당뇨 위험과 서로 다른 관련성을 보였으며, 백미를 현미 또는 전곡류로 대체하는 식이가 당뇨 위험 감소와 관련될 수 있음이 제시되었다(Sun et al., 2010). 또한 db/db 마우스 연구에서는 현미 기반 전곡 압출물이 혈당, 내당능 및 인슐린 저항성 지표 개선과 관련되는 것으로 나타났다(Gao et al., 2019).

그러나 기존 연구는 주로 쌀가루면의 제조성, 조직감 및 조리 특성 개선 또는 쌀 섭취와 혈당반응의 관련성에 초점을 두었으며, 백미와 현미를 이용한 면의 품질 특성과 혈당반응을 함께 비교한 연구는 제한적이다. 특히 동일한 제조 공정과 성형 조건을 적용하되, 각 원료의 면대 및 면선 형성 가능성을 고려한 배합비로 백미면, 현미면 및 밀가루면을 제조하고, 이들의 조직감, 조리 특성, 급성 혈당반응 및 당뇨 동물모델에서의 공복혈당 변화를 함께 평가한 연구는 부족하다. 따라서 본 연구에서는 백미, 현미 및 밀가루를 이용하여 면을 제조하고, 이들의 조직감 및 조리 특성을 비교하였다. 또한 각 면 파우더의 급성 혈당반응과 db/db 마우스에서의 장기 급여 효과를 평가하여 현미 기반 면의 품질 특성과 혈당 조절 가능성을 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 연구에서는 백미가루(Nongshim Mills Co., Asan, Korea), 현미가루(Duksanfood, Goesan, Korea) 및 밀가루(CJ Co., Seoul, Korea)를 주원료로 사용하여 면을 제조하였다. 쌀가루 기반 면의 제조를 위해 타피오카 전분(Donga, Ulsan, Korea)과 면 제조용 개량제(NoodleEasy, FoodInPlus, Seoul, Korea)를 사용하였으며, 소금(CJ Co., Seoul, Korea)을 사용하였다.

동물실험용 식이는 AIN-93G 조성을 기준으로 제조하였으며, 실험식이군에는 백미면, 현미면 또는 밀가루면 파우더를 전체 식이 중 30% 수준으로 첨가하였다. 각 실험식은 군 간 총 열량이 동일하도록 조정하였다.

백미, 현미 및 밀가루 면의 제조

백미, 현미 및 밀가루를 이용한 면의 배합비는 Table 1에 나타내었다. 백미면은 백미가루 70.0 g, 타피오카 전분 20.0 g, 면 제조용 개량제 10.0 g, 소금 1.0 g 및 증류수 51.0 g을 사용하여 제조하였다. 현미면은 현미가루 70.0 g, 타피오카 전분 19.8 g, 면 제조용 개량제 10.0 g, 난백분말 0.2 g, 소금 1.0 g 및 증류수 51.0 g을 사용하였다. 밀가루면은 쌀가루 혼합물 대신 밀가루 100.0 g, 소금 1.0 g 및 증류수 34.0 g을 사용하여 제조하였다.

특히, 밀가루 및 글루텐 사용없이 압연공정을 통해 생면을 제조하기 위해 본 연구의 배합비는 각 원료의 면대 및 면선 성형 가능성을 기준으로 설정하였다. 백미면과 현미면은 글루텐 부재로 인한 성형성 저하를 보완하기 위해 타피오카 전분과 면 제조용 개량제를 사용하였고, 밀가루면은 자체 글루텐 네트워크 형성이 가능하므로 별도의 보조 소재를 첨가하지 않았다. 현미면의 난백분말은 면대 형성 보완 및 안정성 부여를 위한 목적으로 타피오카 전분 일부를 대체하여 첨가하였다.

먼저 백미가루 또는 현미가루를 타피오카 전분 및 면 제조용 개량제와 균일하게 혼합하였다. 이후 소금 1.0 g을 증류수 51.0 g에 용해하여 제조한 소금 용액을 첨가하였다. 모든 원료는 반죽기(KitchenAid mixer, KitchenAid, St. Joseph, MI, USA)를 이용하여 5분간 혼합한 후 수작업으로 반죽하였다. 제조된 반죽은 압연 롤러(KitchenAid, St. Joseph, MI, USA)에 통과시켰으며, 두 겹으로 접은 뒤 반복적으로 압연하여 최종 두께 2 mm의 면대를 제조하였다. 이후 면대는 절단 롤러를 이용하여 폭 2 mm의 면선으로 절단하였다.

Table 1. Formulation of noodles prepared from white rice, brown rice, and wheat flours (unit: g)

	White rice noodle	Brown rice noodle	Wheat noodle
Rice flour	70.0	-	-
Brown rice flour	-	70.0	-
Wheat flour	-	-	100.0
Tapiocastarch	20.0	19.8	-
NoodleEasy	10.0	10.0	-
Egg white powder	-	0.2	-
Salt	1.0	1.0	1.0
Distilled water	51.0	51.0	34.0

면의 조직감 특성 측정

면의 인장 특성은 Kieffer dough and gluten extensibility rig가 장착된 물성분석기(TA-XT plus, Stable Micro Systems, Surrey, UK)를 이용하여 측정하였다. 인장시험은 면 시료가 파단될 때까지 200 mm/min의 크로스헤드 속도 조건에서 수행하였다. 최대 힘은 최대 인장력(maximum tensile force, R_{max} , N)으로, 파단 시 거리는 신장성(extensibility, mm)으로 정의하였다.

조리면의 인장 특성을 평가하기 위해 면 시료 5 g을 끓는 물 150 g에서 3분간 조리한 뒤, 실온에서 10분간 냉각하였다. 이후 조리 전 면과 동일한 방법으로 인장 특성을 측정하였다.

면의 조리 특성 측정

면의 조리 특성은 수분흡수율(water absorption)과 조리손실률(cooking loss)로 평가하였다. 면 시료 5 g을 5 cm 길이로 절단한 후, 끓는 물 150 mL에서 3분간 조리하였다. 조리된 면은 체를 이용하여 5분간 물기를 제거한 뒤 무게를 측정하였다. 수분흡수율은 다음 식으로 산출하였다.

$$\text{Water absorption (\%)} = \frac{W_c - W_u}{W_u} \times 100$$

여기서 W_u 는 조리 전 면의 무게(g), W_c 는 조리 후 면의 무게(g)를 의미한다.

조리손실률은 조리 중 조리수로 용출된 고형분 함량을 이용하여 측정하였다. 조리 후 조리수 10 mL를 회수하여 105°C에서 12시간 건조한 뒤, 잔류 고형분의 무게를 측정하였다. 조리손실률은 다음 식으로 산출하였다.

$$\text{Cooking loss (\%)} = \frac{W_s}{W_u} \times 100$$

여기서 W_s 는 조리수 내 건조 고형분의 무게(g)를 의미한다.

급성 혈당반응 평가

급성 혈당반응 평가는 7주령 C57BL/6 수컷 마우스를 이용하여 수행하였다. 실험동물은 각 군당 6마리씩 배정하였으며, 온도 22±2°C, 상대습도 50±10% 및 12시간 명암주기 조건에서 사육하였다. 실험 전 사료를 제거하여 8시간 동안 공복 상태를 유지시켰다.

백미면, 현미면 및 밀가루면 파우더는 생리식염수에 현탁하여 750 mg/kg 체중의 용량으로 경구투여하였으며, 대조군에는 포도당

을 생리식염수에 용해하여 2 g/kg 체중의 용량으로 경구투여하였다. 혈당은 투여 전 0분 및 투여 후 15, 30, 60, 90 및 120분에 측정하였다. 혈액은 꼬리 끝에서 채취하였으며, 혈당은 혈당측정기(Contour, Basel, Switzerland)를 이용하여 측정하였다. 혈당반응곡선의 면적(area under the curve, AUC)을 산출하여 군 간 혈당반응을 비교하였다. 본 실험은 세종대학교 동물실험윤리위원회의 승인 하에 수행되었다(SJ-20250717-01).

당뇨 동물모델에서의 혈당 및 대사 지표 평가

장기 급여 실험은 5주령 수컷 db/db 당뇨 모델 마우스와 수컷 db/m 정상 마우스를 이용하여 수행하였다. 실험동물은 각 군당 3마리씩 배정하였으며, 온도 22±2°C, 상대습도 50±10% 및 12시간 명암주기 조건에서 사육하였다. 실험군은 정상군, 당뇨대조군, 밀가루군, 백미군 및 현미군으로 구분하였다. 정상군에는 db/m 정상 마우스를, 당뇨대조군과 실험식이군에는 db/db 당뇨 모델 마우스를 사용하였다.

실험식은 AIN-93G 조성을 기준으로 제조하였다. 밀가루군, 백미군 및 현미군에는 각각 밀가루면, 백미면 또는 현미면 파우더를 전체 식이의 30% 수준으로 첨가하였으며, 군 간 총 열량이 동일하도록 조정하였다. 식이와 물은 실험기간 동안 자유롭게 공급하였다.

공복혈당은 8시간 절식 후 측정하였다. 혈액은 꼬리 끝에서 채취하였으며, 혈당은 혈당측정기(Contour, Basel, Switzerland)를 이용하여 측정하였다. 체중, 식이섭취량 및 음수량은 실험기간 동안 주기적으로 측정하였다. 식이효율(food efficiency ratio, FER)은 다음 식으로 산출하였다.

$$\text{FER (\%)} = \frac{W_g}{F_i} \times 100$$

여기서 W_g 는 실험기간 동안의 체중증가량(g), F_i 는 총 식이섭취량(g)을 의미한다. 본 실험은 세종대학교 동물실험윤리위원회의 승인 하에 수행되었다(SJ-20250717-02).

통계처리

모든 결과는 평균±표준편차로 나타내었다. 통계분석은 GraphPad Prism 10 (GraphPad Software, Boston, MA, USA)을 이용하였다. 시료 또는 군 간 유의성은 일원분산분석(one-way analysis of variance, ANOVA) 후 Tukey's multiple comparison test로 검정하였으며, $p < 0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 있는 것으로 판단하였다. 그래프 내 서로 다른 문자는 시료 또는 군 간 유의적인 차이를 의미한다.

결과 및 고찰

백미, 현미 및 밀가루 면의 제조 특성

백미, 현미 및 밀가루를 이용한 면의 제조 공정과 외관은 Fig. 1에 제시하였다. 각 시료는 혼합, 반죽, 압연 및 절단 과정을 거쳐 면대와 면선 형태로 제조되었으며, 세 시료 모두 2 mm×2 mm 크기의 면선 형성이 가능하였다(Fig. 1A). 조리 전 면대와 면선의 외관은 원료에 따라 차이를 보였으며, 현미면은 백미면 및 밀가루면에 비해 상대적으로 어두운 색을 나타냈다. 조리 후에도 세 시료 모두 면의 형태를 유지하였다. 다만 원료의 종류에 따라 조리 후 면의 색과 조리수 탁도에는 차이가 관찰되었다(Fig. 1B).

쌀가루 기반 면은 글루텐 네트워크가 형성되지 않아 밀가루면과

같은 연속적인 점탄성 구조를 형성하는 데 제한이 있으며, 쌀가루의 조성 및 유변학적 특성은 쌀면의 품질 형성에 영향을 줄 수 있다(Wei et al., 2022). 그럼에도 본 연구의 배합 조건에서는 백미와 현미를 이용한 쌀가루 기반 면의 성형과 조리 후 형태 유지가 가능하였다. 이는 전분, 결합소재 및 수분 배합 조건이 쌀가루 기반 면의 면선 성형성과 조리 안정성에 영향을 줄 수 있음을 보여준다. 다만 세 시료는 원료 특성에 따라 서로 다른 배합비로 제조되었으므로, 본 연구에서 관찰된 품질 특성 차이는 원료 자체의 차이뿐 아니라 타피오카 전분, 면 제조용 개량제, 난백분말 및 가수량 차이의 영향을 함께 반영할 수 있다. 따라서 본 연구의 결과는 동일 조성 내 원료 치환 효과라기보다는 각 원료를 기반으로 제조 가능한 면 제형 간 비교로 해석할 필요가 있다.

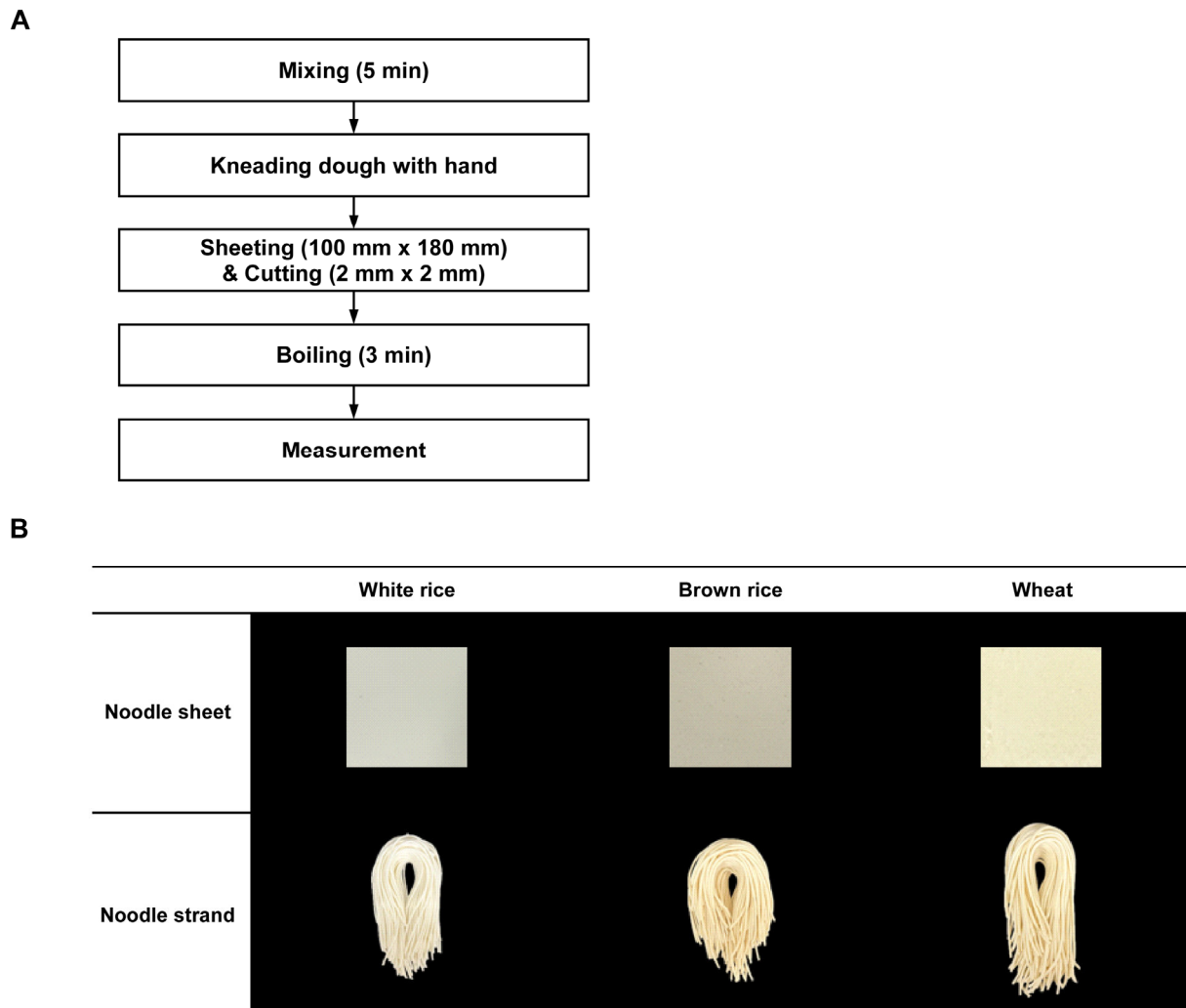


Fig. 1. Noodle preparation process and visual appearance of noodles prepared from different flours. (A) Schematic illustration of noodle preparation, including mixing for 5 min, kneading by hand, sheeting (100 mm×180 mm) and cutting (2 mm×2 mm), boiling for 3 min, and subsequent measurement. (B) Representative images of noodle sheet, noodle strand, and cooked noodles prepared with white rice, brown rice, and wheat flours.

백미, 현미 및 밀가루 면의 조직감 및 조리 특성

최대 인장력(R_{max})은 면이 파단될 때까지 인장하는 데 필요한 최대 힘을 의미하며, 신장성은 파단 시점까지 늘어난 거리를 나타내는 지표이다(Kieffer et al., 1998). 조리 전 최대 인장력(R_{max})은 밀가루 면에서 가장 높았으며, 현미면과 백미면은 밀가루면보다 낮은 값을 나타냈다(Fig. 2A). 쌀가루 기반 면 중에서는 현미면의 R_{max} 가 백미면보다 높게 나타났다. 조리 전 신장성은 밀가루면에서 가장 높았고, 백미면과 현미면은 상대적으로 낮은 값을 보였다(Fig. 2B). 이러한 차이는 밀가루면에서 형성되는 글루텐 기반 구조와 쌀가루 기반 면의 전분 중심 구조가 서로 다르기 때문으로 판단된다.

조리 후에는 모든 시료의 인장 특성이 증가하는 경향을 보였다. 이는 주로 조리 과정에서 일어나는 전분 호화에 의해 면의 구조가

강화되었기 때문으로 판단된다. 특히 글루텐 프리 쌀가루 기반 면의 인장 특성이 조리 후 뚜렷하게 증가하여, 밀가루면과의 R_{max} 및 신장성 차이가 조리 전보다 감소하였다. 조리 후 R_{max} 는 밀가루 면에서 가장 높았고, 다음으로 현미면, 백미면 순으로 나타났다(Fig. 2C). 반면 조리 후 신장성은 밀가루면에서 가장 높았으며, 현미면은 백미면보다 낮은 값을 나타냈다(Fig. 2D). 이러한 결과는 현미면이 백미면보다 조리 후 높은 인장력을 보였으나, 상대적으로 낮은 신장성을 갖는다는 것을 의미한다.

쌀면의 조직감은 쌀가루의 조성, 호화 특성 및 유변학적 특성과 관련되며, 이러한 원료 특성은 면의 조직감과 조리 품질에 영향을 줄 수 있다(Wei et al., 2022). 국내 쌀가루를 이용한 연구에서도 아밀로스 함량과 수분열처리(heat-moisture treatment)가 쌀국수의 조

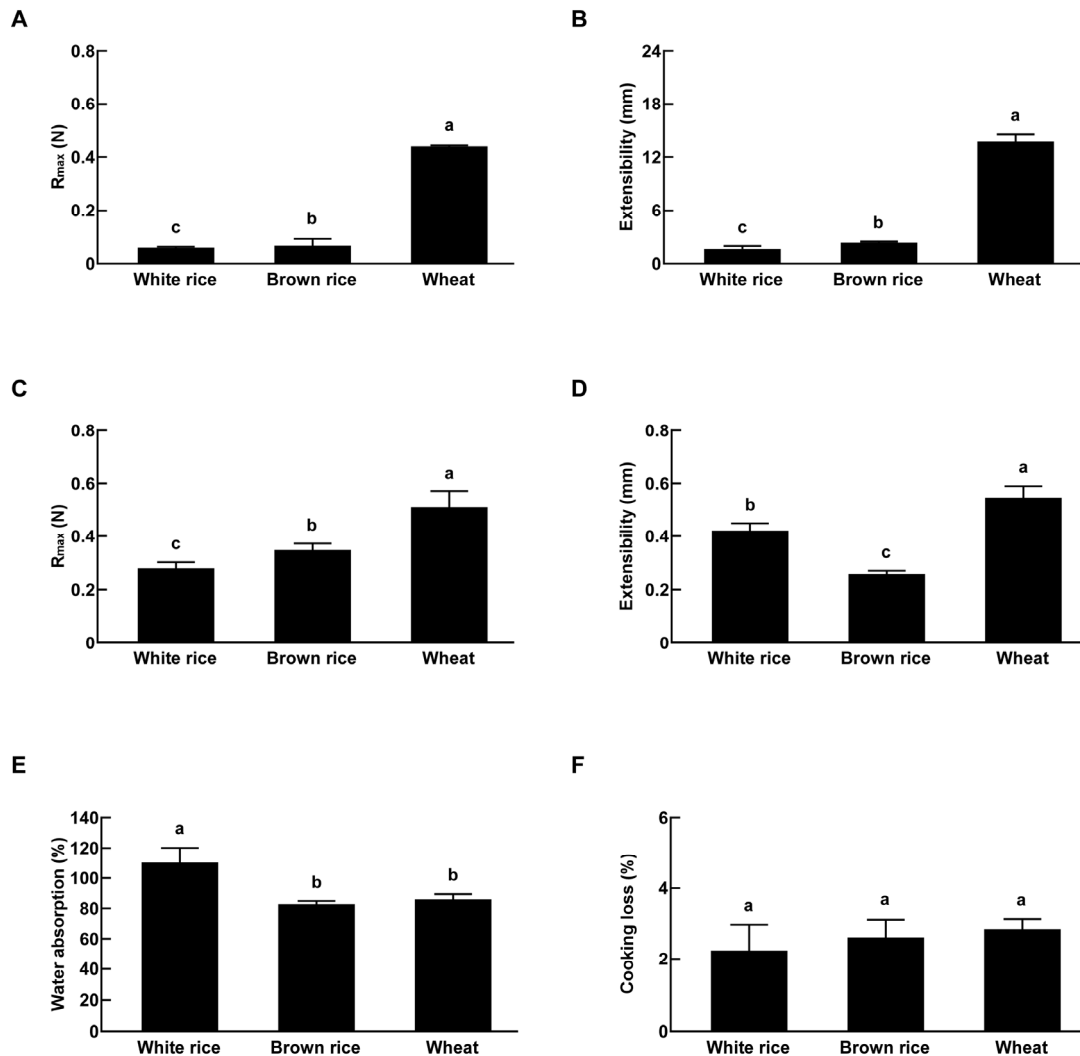


Fig. 2. Textural and cooking properties of noodles prepared with different flours. (A) Maximum tensile force (R_{max}) before cooking. (B) Extensibility before cooking. (C) Maximum tensile force (R_{max}) after cooking. (D) Extensibility after cooking. (E) Water absorption. (F) Cooking loss. Values are presented as mean $\pm$ SD. Different letters indicate significant differences among samples at $p < 0.05$.

리 및 조직감 특성에 영향을 미치는 것으로 제시된 바 있다(Seo et al., 2011). 또한 생면 형태의 쌀국수의 조직감은 쌀가루의 물리화학적 특성과 전분 미세구조에 영향을 받을 수 있으므로, 본 연구에서 관찰된 현미면과 백미면의 조직감 차이도 원료 특성 차이와 관련될 가능성이 있다(Yi et al., 2020). 또한 현미면과 백미면의 조직감 차이는 현미와 백미의 원료 특성뿐 아니라 배합 조성 차이와도 관련될 수 있다. 특히 현미면에 첨가된 소량의 난백분말과 현미 유래 식이섬유 및 비전분 성분은 전분 팽윤, 수분 이동 및 면 구조 형성에 영향을 주어 조리 후 Rmax와 신장성 차이에 일부 기여했을 가능성이 있다.

수분흡수율은 백미면에서 가장 높았으며, 현미면과 밀가루면은 백미면보다 낮은 수준을 나타냈다(Fig. 2E). 조리손실률은 조리 과정 중 조리수로 용출된 고형물의 양을 의미하며, 면의 조리 품질을 평가하는 지표로 일반적으로 사용된다(Lii & Chang, 1981). 반면 조리손실률은 백미면, 현미면 및 밀가루면 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았다(Fig. 2F). 현미 압출면 연구에서는 아밀로스 함량이 높은 현미면에서 수분흡수율, 조리손실률 및 조직감 특성이 달라지는 것으로 나타나, 본 연구에서 관찰된 백미면과 현미면의 조리 특성 차이도 원료의 전분 특성 차이와 관련될 가능성이 있다(Wu et al., 2018). 이상의 결과로부터 원료의 종류는 면의 인장 특성과 수분흡수율에는 영향을 주었으나, 조리 중 고형분 용출에는 뚜렷한 차이를 유도하지 않는 것으로 확인되었다. 쌀가루 기반 면은 밀가루면보다 조직감 특성은 낮았지만, 조리손실률 측면에서는 밀가루면과 유사한 수준을 나타냈다. 수분흡수율과 조리손실률은 원료의 전분 특성뿐 아니라 배합 내 전분, 단백질 및 결합소재 비율에 의해서도 영향을 받을 수 있다. 따라서 본 연구의 조리 특성 결과는 원료 종류의 차이와 배합 조성의 영향을 함께 고려하여 해석할 필요가 있다.

급성 혈당반응에 미치는 영향

백미면, 현미면 및 밀가루면 파우더를 경구투여한 후 혈당은 모든 군에서 투여 후 15분에 증가하였으며, 이후 시간 경과에 따라 감소하였다(Fig. 3A). 각 군의 혈당반응 곡선은 시간에 따라 서로 다른 변화 양상을 보였다. 혈당반응곡선의 면적(AUC)은 현미면군에서 대조군, 밀가루면군 및 백미면군보다 유의적으로 낮게 나타났다(Fig. 3B). 반면 대조군, 밀가루면군 및 백미면군 간에는 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

이러한 결과는 동일한 투여 조건에서 현미면 파우더가 백미면 및 밀가루면 파우더보다 급성 혈당반응을 낮출 가능성을 보여준다. 현미는 저총과 배아를 포함하고 있어 식이섬유, γ -oryzanol 및 phytosterol 등 생리활성 성분을 상대적으로 많이 함유하며(Cho & Lim, 2016), 이러한 성분은 소화효소의 전분 접근성 및 포도당 방출 속도에 영향을 줄 수 있다.

또한 전분 소화성은 RDS, SDS 및 RS로 구분되며, RDS 비율이 낮고 SDS 또는 RS 비율이 높을수록 식후 혈당 상승이 완만하게 나타날 수 있다(Englyst et al., 1992). 선행연구에서도 현미는 백미보다 소화 지속 시간이 길고 포도당 생성 속도가 낮은 것으로 보고되었으며(Huang et al., 2021), cooked brown rice는 cooked milled rice보다 in vitro starch digestibility가 낮고 RS 함량이 높은 경향을 보였다(Tuaño et al., 2021). GI 관련 문헌에서도 백미보다 현미의 평균 GI가 낮게 보고되어, 현미 기반 식품의 완만한 혈당반응 가능성을 뒷받침한다(Atkinson et al., 2021). 따라서 본 연구에서 나타난 현미면군의 낮은 AUC는 현미 유래 식이섬유 및 비전분 성분, 전분 소화 특성, 그리고 제형 조성 차이가 복합적으로 작용한 결과일 가능성이 있다.

백미와 현미의 소화 특성을 비교한 연구에서는 현미가 백미보다 소화 지속 시간이 길고 포도당 생성 속도가 낮은 것으로 보고되었

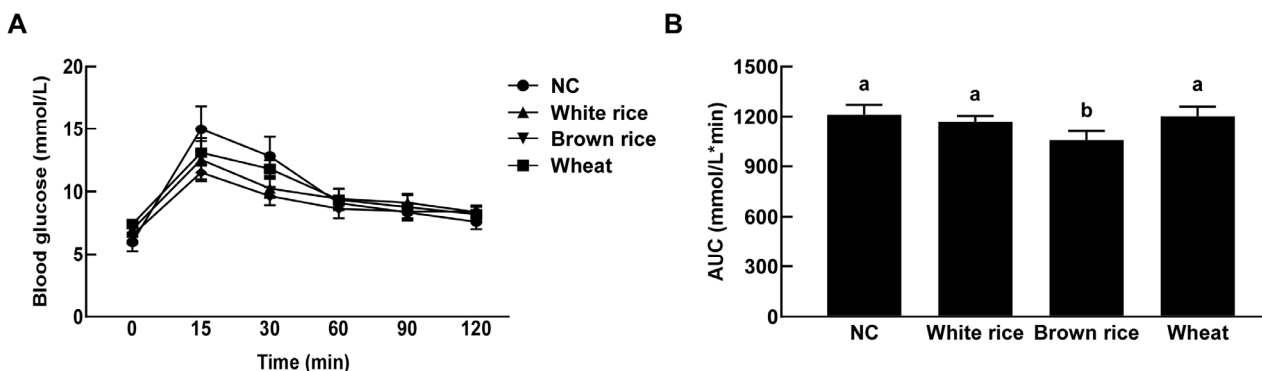


Fig. 3. Effect of noodle powders on acute glucose response in C57BL/6 mice. (A) Blood glucose response curve. (B) Area under the curve (AUC) of the blood glucose response. Samples were administered at 750 mg/kg body weight. Values are presented as mean $\pm$ SD. Different letters indicate significant differences among groups at $p < 0.05$.

으며(Huang et al., 2021),식이섬유 섭취가 제2형 당뇨 환자의 혈당 조절 및 인슐린 반응과 관련될 수 있다는 점도 현미면 파우더군의 낮은 AUC를 해석하는 데 참고할 수 있다(Mao et al., 2021).

본 실험은 면 파우더를 생리식염수에 현탁하여 경구투여한 조건에서 수행되었으므로, 실제 조리면 섭취 후 나타나는 급성 혈당 반응과 동일하게 해석하기에는 제한이 있다. 그럼에도 현미면 파우더군에서 낮은 혈당반응이 관찰된 결과는 현미 기반 면이 실제 섭취 조건에서도 급성 혈당반응 완화 가능성을 가질 수 있음을 시사한다.

당뇨 동물모델에서 혈당 및 대사 지표 변화

백미면, 현미면 및 밀가루면 파우더를 30% 수준으로 포함한 AIN-93G 기반 식이를 db/db 마우스에 급여한 결과, 정상군은 실험 기간 동안 가장 낮은 공복혈당 수준을 유지하였으며 당뇨대조군은 보다 높은 공복혈당을 나타냈다(Fig. 4A). 밀가루면군은 당뇨대조군과 유사한 수준의 공복혈당을 보였으며, 백미면군과 현미면군은 일부 측정 시점에서 당뇨대조군 및 밀가루면군보다 낮은 공복혈당을 나타냈다. 특히 현미면군은 실험 후반부에서 상대적으로 낮은 혈당 수준을 보였다.

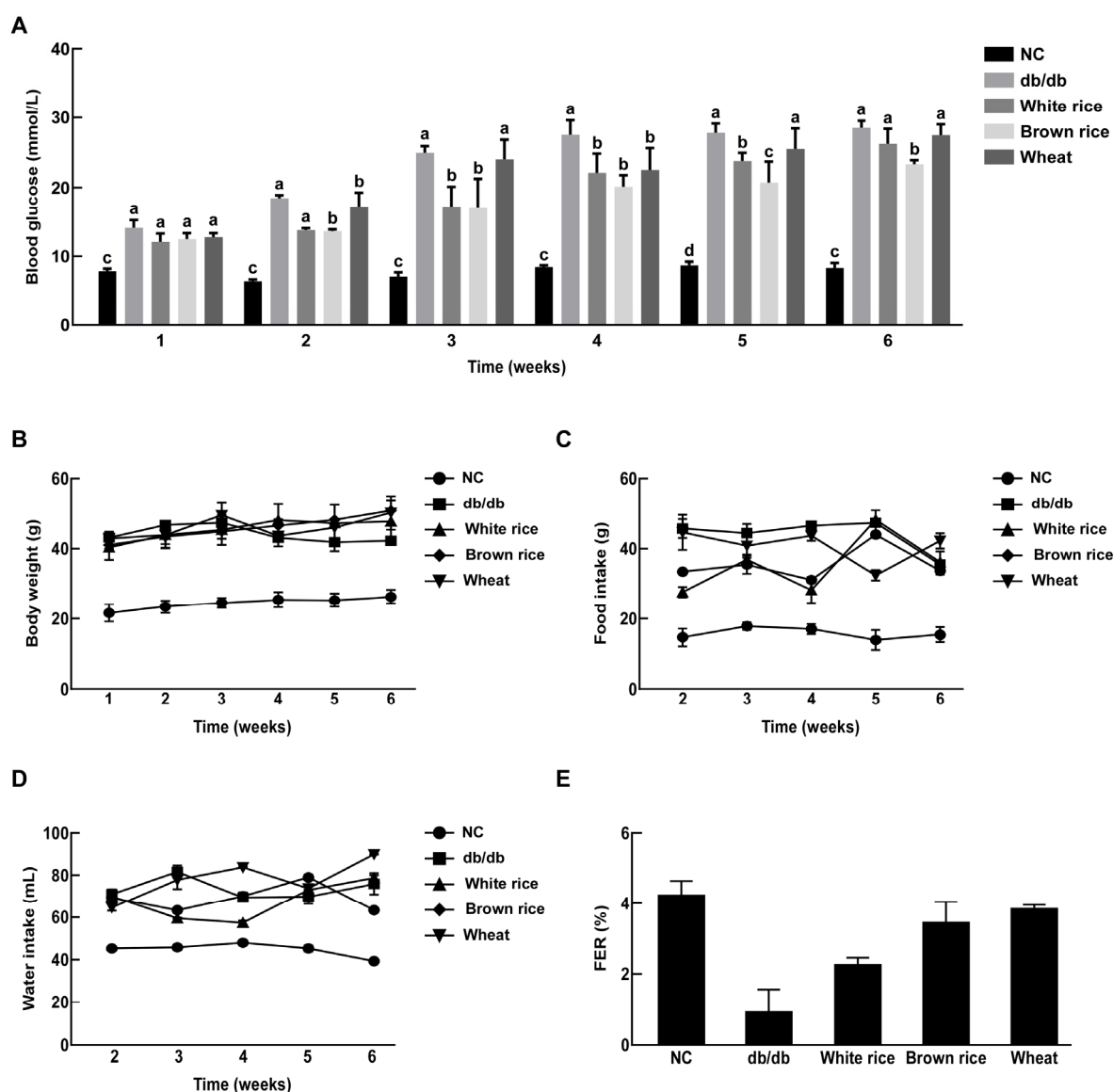


Fig. 4. Effects of noodle powder-containing diets on fasting blood glucose and metabolic parameters in db/db mice. (A) Fasting blood glucose. (B) Body weight changes. (C) Food intake. (D) Water intake. (E) Food efficiency ratio (FER). Experimental diets were based on AIN-93G containing 30% white rice noodle powder, brown rice noodle powder, or wheat noodle powder. Values are presented as mean $\pm$ SD. Different letters indicate significant differences among groups at $p < 0.05$.

체중, 식이섭취량 및 음수량은 실험기간 동안 정상군보다 당뇨대조군에서 전반적으로 높게 나타났으며, 실험식이군 간 뚜렷한 차이는 관찰되지 않았다(Fig. 4B-D). 따라서 백미면, 현미면 및 밀가루면 파우더를 30% 수준으로 포함한 식이는 db/db 마우스의 식이섭취 및 음수 섭취에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다. 식이효율은 정상군에서 가장 높고 당뇨대조군에서 가장 낮았으며, 실험식이군 간에도 차이가 관찰되었다(Fig. 4E). 그러나 FER은 섭취한 식이가 체중 증가로 전환된 정도를 나타내는 지표이므로, FER 차이만으로 혈당 조절 효과를 직접 설명하기에는 제한이 있다.

이러한 결과는 현미면 파우더 함유 식이가 db/db 마우스에서 공복혈당 상승을 일부 완화할 가능성을 시사한다. db/db 마우스 연구에서 현미 기반 전곡 압출물은 혈당, 내당능 및 인슐린 저항성 지표 개선과 관련되는 것으로 나타났다(Gao et al., 2019). 또한 전곡 식이는 db/db 마우스에서 공복혈당 및 식후혈당 조절과 관련되는 것으로 보고되어, 본 연구 결과와 일부 유사한 경향을 보인다(Kim et al., 2019). 본 연구에서도 현미면군은 실험 후반부에 상대적으로 낮은 공복혈당 수준을 나타내어, 선행연구와 유사하게 현미 기반 면 제형이 당뇨 조건에서 혈당 조절에 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 보여준다. 향후 현미면의 전분 소화 특성, 식이섬유 및 생리활성 성분 함량, 인슐린 저항성 관련 생화학 지표를 함께 분석한다면, 현미 기반 면의 혈당반응 조절 특성을 보다 구체적으로 설명할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 본 연구 결과는 현미면 파우더가 급성 혈당반응뿐 아니라 장기 급여 조건에서도 혈당 조절 가능성을 보일 수 있음을 뒷받침하며, 현미 기반 쌀가루면의 기능성 식품 소재로서의 활용 가능성을 제시한다.

요약

본 연구에서는 백미, 현미 및 밀가루를 이용하여 제조한 면의 품질 특성과 혈당반응을 비교하였다. 각 면은 혼합, 반죽, 압연, 절단 및 조리 과정을 통해 제조하였으며, 조직감 특성과 조리 특성을 평가하였다. 또한 C57BL/6 마우스에서 면 파우더의 급성 혈당반응을 평가하고, db/db 마우스에 면 파우더를 30% 수준으로 포함한 AIN-93G 기반 식이를 급여하여 공복혈당 및 대사 지표 변화를 조사하였다. 밀가루면은 조리 전후 최대 인장력과 신장성이 가장 높게 나타났다. 쌀가루 기반 면 중에서는 현미면이 백미면보다 조리 후 최대 인장력이 높았으나, 신장성은 낮았다. 수분흡수율은 백미면에서 가장 높았으며, 조리손실률은 시료 간 유의적인 차이를 보이지 않았다. 급성 혈당반응 평가에서는 현미면 파우더군의 혈당반응곡선 면적이 백미면 및 밀가루면 파우더군보다 유의적으로 낮았

다. db/db 마우스 장기 급여 실험에서는 현미면군이 실험 후반부에 상대적으로 낮은 공복혈당 수준을 나타냈다. 이상의 결과는 현미가 혈당반응 조절 가능성을 갖는 쌀가루 기반 면 소재로 활용될 수 있음을 시사한다.

ORCID

Suyong Lee

<https://orcid.org/0000-0003-1284-211X>

Tae-Gyu Lim

<https://orcid.org/0000-0001-6930-9565>

Conflict of interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

Not applicable.

Data availability

Upon reasonable request, the datasets of this study can be available from the corresponding author.

Authorship contribution statement

Conceptualization: Lim W, Lee S, Lim TG.

Data curation: Cho S, Jeong Y, Lee J.

Formal analysis: Cho S, Jeong Y, Lee J.

Methodology: Cho S, Lee J.

Validation: Cho S, Jeong Y, Lee J.

Investigation: Cho S, Lee J.

Writing - original draft: Jeong Y.

Writing - review & editing: Cho S, Jeong Y, Lee J, Lim W, Lee S, Lim TG.

Ethics approval

All animal experiments were approved by the Animal Experimentation Committee of Sejong University (Approval No. SJ-20250717-01, SJ-20250717-02) and were conducted in accordance with institutional guidelines.

References

Atkinson FS, Brand-Miller JC, Foster-Powell K, Buyken AE, Goletzke J. 2021. International tables of glycemic index and

- glycemic load values 2021: a systematic review. *Am. J. Clin. Nutr.* 114: 1625-1632.
- Barak S, Mudgil D, Khatkar BS. 2014. Effect of compositional variation of gluten proteins and rheological characteristics of wheat flour on the textural quality of white salted noodles. *Int. J. Food Properties* 17: 731-740.
- Charutigon C, Jitpupakdree J, Namsree P, Rungsardthong V. 2008. Effects of processing conditions and the use of modified starch and monoglyceride on some properties of extruded rice vermicelli. *LWT-Food Sci. Technol.* 41: 642-651.
- Cho DH, Lim ST. 2016. Germinated brown rice and its bio-functional compounds. *Food Chem.* 196: 259-271.
- Cuicui L, Qiyu L, Liu Z, Yan H. 2018. Effects of the addition of gluten with different disulfide bonds and sulfhydryl concentrations on Chinese white noodle quality. *Czech J. Food Sci.* 36: 246-254.
- Englyst HN, Kingman SM, Cummings JH. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46 Suppl 2: S33-50.
- Gao Y, Zhang M, Zhang R, You L, Li T, Liu RH. 2019. Whole grain brown rice extrudate ameliorates the symptoms of diabetes by activating the IRS1/PI3K/AKT insulin pathway in db/db mice. *J. Agric Food Chem.* 67: 11657-11664.
- Hormdok R, Noomhorm A. 2007. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. *LWT-Food Sci. Technol.* 40: 1723-1731.
- Huang M, Li X, Hu L, Xiao Z, Chen J, Cao F. 2021. Comparing texture and digestion properties between white and brown rice of indica cultivars preferred by Chinese consumers. *Sci. Rep.* 11: 19054.
- Jeong GA, Chae R, Lee CJ. 2023. Production and quality characteristics of gluten-free noodles made with pregelatinized rice flour. *Food Eng. Prog.* 27: 180-186.
- Kieffer R, Wieser H, Henderson MH, Graveland A. 1998. Correlations of the breadmaking performance of wheat flour with rheological measurements on a micro-scale. *J. Cereal Sci.* 27: 53-60.
- Kim C, Lee J, Kim MB, Hwang JK. 2019. Hypoglycemic effect of whole grain diet in C57BL/KsJ-db/db mice by activating PI3K/Akt and AMPK pathways. *Food Sci. Biotechnol.* 28: 895-905.
- Kim HA. 2018. Quality investigation of rice noodles safe from gluten. *Protection Convergence* 3: 1-5.
- Lii CY, Chang SM. 1981. Characterization of red bean (*Phaseolus radiatus* var. *Aurea*) starch and its noodle quality. *J. Food Sci.* 46: 78-81.
- Mao T, Huang F, Zhu X, Wei D, Chen L. 2021. Effects of dietary fiber on glycemic control and insulin sensitivity in patients with type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *J. Funct. Foods* 82: 104500.
- Mohan V, Spiegelman D, Sudha V, Gayathri R, Hong B, Praseena K, Anjana RM, Wedick NM, Arumugam K, Malik V, Ramachandran S, Bai MR, Henry JK, Hu FB, Willett W, Krishnaswamy K. 2014. Effect of brown rice, white rice, and brown rice with legumes on blood glucose and insulin responses in overweight Asian Indians: a randomized controlled trial. *Diabetes Technol. Ther.* 16: 317-325.
- Seo HI, Ryu BM, Kim CS. 2011. Effect of heat-moisture treatment of domestic rice flours containing different amylose contents on rice noodle quality. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 40: 1597-1603.
- Sun Q, Spiegelman D, van Dam RM, Holmes MD, Malik VS, Willett WC, Hu FB. 2010. White rice, brown rice, and risk of type 2 diabetes in US men and women. *Arch. Intern. Med.* 170: 961-969.
- Tuaño APP, Barcellano ECG, Rodriguez MS. 2021. Resistant starch levels and *in vitro* starch digestibility of selected cooked Philippine brown and milled rices varying in apparent amylose content and glycemic index. *Food Chem. Mol. Sci.* 2: 100010.
- Wei P, Fang F, Liu G, Zhang Y, Wei L, Zhou K, You X, Li M, Wang Y, Sun J, Deng S. 2022. Effects of composition, thermal, and rheological properties of rice raw material on rice noodle quality. *Front. Nutr.* 9:1003657.
- Wu NN, Tan B, Li SS, Zhang M, Tian XH, Zhai XT, Liu M, Liu YX, Wang LP, Gao K. 2018. Quality characteristics of extruded brown rice noodles with different amylose contents. *Food Sci. Technol. Res.* 24: 311-319.
- Yi C, Zhu H, Bao J, Quan K, Yang R. 2020. The texture of fresh rice noodles as affected by the physicochemical properties and starch fine structure of aged paddy. *LWT-Food Sci. Technol.* 130: 109610.