



전분 분리 방법에 따른 베타원 보리 전분의 물리화학적 특성

윤영미¹ · 정경아² · 박슬기¹ · 박진천¹ · 허은숙¹ · 채린² · 이창주^{2,*}¹농촌진흥청 국립식량과학원 작물육종과, ²원광대학교 식품생명공학과

Physicochemical properties of Betaone barley starch depending on starch isolation methods

Young-Mi Yoon¹, Gyeong-A Jeong², Seul-Gi Park¹, Jin-Cheon Park¹, On-Sook Hur¹, Rin Chae² and Chang Joo Lee^{2,*}¹Crop Breeding Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration²Department of Food Science and Biotechnology, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

Abstract

This study investigated the properties of starch isolated from Betaone barley (high β -glucan content of 11.32%), waxy-type Hwanggeumchal barley, and non-waxy type Hyeayang barley using water or 0.2% NaOH. Starch isolated with NaOH contained 4.79% damaged starch, 0.17% protein, 0.01% β -glucan, and 0.20% crude fat, while starch isolated with water contained 2.95%, 1.91%, 0.10%, and 0.31%, respectively. The starch granule were oval in shape, with particle sizes ordered as follows: Betaone (4.9 μ m), Hwanggeumchal (8.9 μ m), and Hyeayang (13.6 μ m). Thermal properties revealed, that gelatinization onset, peak, and end temperatures increased with particle size. NaOH isolation was found to be more effective than water isolation in removing proteins, but resulted in higher levels of damaged starch and partially disrupted the crystalline structure.

Keywords: Betaone barley, Barley starch, Starch isolation method, Starch properties

서론

보리는 옥수수, 밀, 쌀 다음으로 4대 주요 작물 중 하나이며, 전분이 65~70%, 11%의 단백질과 5% 내외의 β -glucan 및 그 외 기타 성분 20%로 이루어져 있다(Asare et al., 2011). 보리는 곡물의 껍질 유무에 따라 겉보리와 쌀보리로 분류되며(Li et al., 2014), 아밀로스 함량에 따라 찰성 보리와 메성 보리로 구분된다(Delcours & Hoseney, 2010; Chen et al., 2020). 메성 보리는 보리 전분의 17~24% 아밀로스를 함유하며, 찰성 보리는 0~10%까지 다양하다(Chen et al., 2020). 일반적으로 보리 배유부 외층의 구성 물질은 β -glucan

(70~75%), arabinoxylan (20~35%) 등이 겹겹이 쌓여 있는 매트릭스(matrix) 형태를 형성하고 있으며(Fincher, 1975), 배유부 내에서 전분 입자들은 단백질에 불규칙한 형태로 둘러 쌓여 있는 단백질 middle-lamella를 형성하고 있다(Lazaridou et al., 2008). 따라서 전분을 분리를 위해서는 배유부 외층의 β -glucan, arabinoxylan을 제거한 다음 배유부 내 단백질인 middle-lamella에 감싸여 있는 전분을 분리해야 되는 난점이 있다(Jeong et al., 2013). 보리 전분을 분리하기 위해 습식 분쇄법(De Hass & Goering, 1972), 온수 분리법(Šubarić et al., 2011), Autoclave 법(Xie et al., 2023), Alkali 처리법(Martén Å, 2014), Perchloric acid 처리법(Šubarić et al., 2011) 등

Received: Nov 05, 2024 / Revised: Nov 11, 2024 / Accepted: Nov 13, 2024

Corresponding author: Chang Joo Lee, Department of Food Science and Biotechnology, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea

E-mail: cjlee@wku.ac.kr

Copyright © 2024 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.

다양한 방법이 연구되어 왔다. 아밀로스와 아밀로펙틴으로 구성된 보리 전분은 아밀로스 함량의 1%만 변화해도 전분의 gelatinization, pasting, gelation properties에 상당한 영향을 미치며(Li et al., 2014), 전분 과립의 물리 화학적 특성도 다르다고 보고되어 있다(Sun et al., 2022). 국내에서는 보리에서 분리한 전분 입자 크기별 이화학적 성질(Oh et al., 1992)과 보리의 영양성분 함량(Jung et al., 1987) 등이 보고되어 있다. 그러나 베타글루칸 함량이 높은(10% 이상) 보리에 대한 전분 분리 방법에 대한 연구는 보고되어 있지 않다. 따라서 본 연구는 베타글루칸 함량이 높은 베타원 보리 품종을 포함한 보리에 증류수(H₂O)와 NaOH를 이용하여 전분을 분리하고 이에 따른 보리 전분의 물리화학적 특성을 조사하였다.

재료 및 방법

실험 재료

전분 분리 방법에 따른 전분 특성을 분석하기 위하여 국내 보리 3품종을 사용하였으며, 보리 품종은 2022년 국립식량과학원 전작 포장에서 농촌진흥청 표준재배법(RDA, 2012)에 준하여 재배되었다. 재료는 베타글루칸 함량이 높은 찰성 쌀보리 베타원(Betaone, hull-less, 6 rows, waxy), 메성 겉보리 혜양(Hyeyang, hulled, 6 rows, non-waxy), 찰성 겉보리 황금찰(Hwanggeumchal, hulled, 6 rows, waxy)이다. 수확한 종자는 13% 이하로 건조 후 시험 도정기 TM-05 (Satake Co., Hiroshima, Japan)을 이용하여 증량 대비 겉보리는 67%, 쌀보리는 77%로 정맥하였다. 정맥된 시료는 0.5 mm 체가 장착된 cyclone sample mill (ZM-300, Retch, Germany)에서 분쇄되어 실험에 이용하였다. 분쇄된 보릿가루는 W-(whole hulled barley flour)로 표시하여 각 품종에 맞게 W-Hyeyang, W-Hwanggeumchal, W-Betaone으로 표기하였다.

증류수(H₂O)를 이용한 전분 분리

H₂O를 이용한 보리 전분 분리는 Park & Baik (2004) 방법을 변형하여 다음과 같이 수행하였다. 보릿가루 50 g과 증류수 500 mL를 혼합기(Tefal BL813DKR, Rumilly, France)에 넣고 최고 속도로 5분간 혼합한 후 1,500×g에서 20분간 원심 분리하였다. 상등액을 제거하고 증류수 첨가 후 53 μm 금속체(ASM270, CISA, Barcelona, Spain)로 여과 후 여과액을 20분간 원심 분리하여 상등액을 제거하였다. 증류수 250 mL를 추가하여 5분간 혼합, 1,500×g에서 20분간 원심분리 후 갈색 물질을 제거하고, ethanol로 세척한 뒤 40℃ 건조기에서 수분함량 10% 이하로 건조하였다. 건조한 전분은 분쇄 후 75 μm 체(ASM200, CISA, Barcelona, Spain)에 통과시킨 후 실험에 사용하였다. 증류수(H₂O)로부터 분리된 전분은 H-(H₂O-isolated

barley starch)로 표시하여 각 품종에 맞게 H-Hyeyang, H-Hwanggeumchal, H-Betaone으로 표기하였다. 증류수로 추출한 전분의 수율은 H-Hyeyang, H-Hwanggeumchal, H-Betaone 각각 70.1%, 62.3%, 52.8%이었다(data not shown).

NaOH를 이용한 전분 분리

NaOH를 이용한 보리 전분 분리는 Andersson et al. (2001)와 Bae et al. (2012) 방법을 변형하여 이루어졌다. 보릿가루 50 g에 증류수 30 mL 첨가 후 반죽하고, 혼합기에 반죽과 500 mL 0.2% NaOH를 넣어 최고속 도로 5분간 혼합한 뒤 24시간 침지하였다. 상등액을 버리고 침전물에 증류수를 넣어 5회 세척하였다. 세척 시료를 1,500×g에서 20분간 원심분리한 뒤 상등액을 제거하고, 증류수 첨가 후 53 μm 금속체로 여과, 원심분리(1,500×g, 20분)하였다. 상등액 제거 후의 과정은 H₂O 분리와 같은 방법으로 수행되었다. NaOH로부터 분리된 전분은 N-(NaOH-isolated barley starch)으로 표시하여 각 품종에 맞게 N-Hyeyang, N-Hwanggeumchal, N-Betaone으로 표기하였다. NaOH로 추출한 전분의 수율은 N-Hyeyang, N-Hwanggeumchal, N-Betaone 각각 51.2%, 59.8%, 56.9%이었다(data not shown).

보리 및 전분의 일반성분

보리 시료의 일반성분은 AOAC 방법(AOAC, 2000)을 이용하였으며, 단백질은 원소분석기(Vario MAX N, Elementar, Germany)를 이용하여 질소함량을 분석한 후 환산계수(6.25)를 곱하여 계산하였다. 조지방은 Soxhlet 추출법(Soxtex System HT 1043 extraction unit, Foss Tecator, Hoganas, Sweden)으로 분석하였다. 회분은 직접 회화법으로 회화로(DS-DMF-14, LAB24, Japan)를 이용하여 700℃에서 8시간 동안 회화시킨 후 측정하였다. 아밀로스 함량과 손상전분 함량은 효소 정량 키트(Megazyme Ltd., Bray, Ireland)를 이용하여 분석하였다. 보리 전분의 총 β-glucan 함량은 McCleary 방법(McCleary & Glennie-Holmes, 1985)으로 β-glucan assay kit (Megazyme Ltd., Ireland)와 UV/Vis spectrophotometer (U-2800, Hitachi, Japan)을 이용하여 흡광도 510 nm에서 측정하였다. 총 전분 함량은 Megazyme kit (Megazyme Ltd., Ireland)를 이용하여 AACC법(AACC, 2000)에 따라 측정하였다.

입자형태 및 크기분포

정맥된 보릿가루 및 전분의 입자 형태는 시료를 금박 코팅한 후 진공 상태의 10 kV의 가속전압에서 주사전자현미경(SEM, Phenom Pro-X, Phenom-World, Netherland, Europe)을 이용하여 입자 형태를 관찰하였다. 전분 입자 크기 분포도는 레이저 입도분석기(LS 13

320, Beckman Coulter, Inc., Fullerton, CA, USA)를 이용하여 전분 입자의 평균 사이즈를 측정하였다.

보리 전분의 회절도 분석

X-선 회절도 분석은 X선 분석기(MiniFlex-600, Rigaku, Tokyo, Japan)를 이용하여 회절각도(2θ) 3-30°, Target: Cu-Kα, filter: CuK α, voltage: 40 kV, current: 15 mA, step time: 2 s로 회절도를 분석하였다.

보리 전분의 호화 및 점도특성

정맥된 보릿가루 및 전분의 호화 특성은 시차주사열량계(DSC 4000, Perkin-Elmer, Waltham, MA, USA)를 이용하여 분석하였다. 전분과 증류수를 1(10 mg): 4(40 mg)의 비율로 팬에 넣고, 30°C에서 130°C까지 5°C/min의 속도로 온도를 증가시켜 가열하였다. 이때 얻은 흡열 곡선부터 호화 개시 온도(To: onset temperature), 피크온도(Tp: maximum peak temperature), 종결온도(Tc: conclusion temperature)와 호화 엔탈피(ΔH: crystal melting enthalpy)를 구하였다.

점도 특성은 rapid visco analyser (RVA-4500, Perten Instruments, Kungens, Sweden)을 이용하여 측정하였다. 알루미늄 용기에 전분 2.5 g과 증류수 25 mL을 넣은 다음, AACC (AACC, 2000) 방법에 따라 13분간 측정하여 이에 따른 호화 개시 온도(pasting temperature) 및 최종점도(final viscosity), 강하점도(breakdown), 치반점도(setback)을 구하였다.

통계분석

모든 실험의 결과는 3회 반복 측정값으로 평균값±표준편차 (Mean±SD)로 표시하였다. 유의성 검증은 R studio 4.1.0을 이용하여 분산분석(ANOVA) 후 Duncan's multiple range test를 실시하였다. 각 실험값 사이의 유의적인 차이는 p<0.05 수준에서 검증하였다.

결과 및 고찰

보리 및 전분의 일반성분

보리 시료의 일반 성분 분석 결과를 Table 1에 나타냈다. 정맥(겉보리 67%, 쌀보리 77%)한 보리 품종들의 단백질은 평균 12.4%, 전분 63.79%, 베타글루칸 8.32%, 조지방 1.85%, 손상전분 6.56%로 나타났다. 일반적으로 보리는 단백질 5~12%, 전분 70%, 베타글루칸 5~10%, 조지방 2~3%라고 보고되어 있으며(Sullivan et al., 2013), 이들 성분들은 유전적, 환경적 영향을 받는다고 알려져 있다(Aman & Newman, 1986). 본 연구에서 정맥한 보리의 베타글루칸 함량은 메성 보리인 W-Hyeyang (7.18%), 찰성 보리인 W-Hwanggeumchal (6.47%), W-Betaon (11.3%)로 나타났다. 베타원은 2015년 국립식량과학원에서 개발된 쌀보리 품종으로 일반 찰성 보리보다 베타글루칸이 1.6~1.8배 높다고 보고되었으며(Ham et al., 2021), 본 연구에서 11.3%로 가장 높게 나타났다. W-Betaone의 아밀로스 함량은 메성인 W-Hyeyang (20.7%)과 찰성인 W-Hwanggeumchal (6.02%)보다 낮은 3.61%를 보였다. W-Betaone의 전분 함량은 58.0%로

Table 1. Chemical compositions of barley whole and starch granules according to isolation method

Sample	Varieties ¹⁾	Ash (%) ²⁾	Protein (%)	Total starch (%)	β-glucan (%)	Lipids (%)	Amylose (%)	Damaged starch (%)
Whole flour	W-Betaone	1.01±0.02 ^a	12.0±0.15 ^b	58.0±0.19 ^c	11.3±0.04 ^a	2.59±0.01 ^a	3.61±0.32 ^c	7.93±0.07 ^a
	W-Hyeyang	0.77±0.01 ^c	11.6±0.27 ^c	67.1±0.30 ^a	7.18±0.01 ^b	1.44±0.03 ^c	20.7±0.31 ^a	4.98±0.16 ^c
	W-Hwanggeumchal	0.82±0.02 ^b	13.6±0.04 ^a	66.3±0.59 ^b	6.47±0.01 ^c	1.54±0.02 ^b	6.02±0.27 ^b	6.76±0.23 ^b
	Average	0.87	12.4	63.8	8.32	1.85	10.1	6.56
Starch (H ₂ O)	H-Betaone	0.17±0.03 ^c	2.68±0.14 ^a	95.1±1.04 ^a	0.16±0.01 ^a	0.22±0.07 ^b	6.51±0.04 ^c	3.71±0.05 ^a
	H-Hyeyang	0.37±0.02 ^a	1.43±0.10 ^b	96.5±1.37 ^a	0.12±0.00 ^b	0.34±0.01 ^a	35.5±0.16 ^a	1.96±0.05 ^c
	H-Hwanggeumchal	0.23±0.02 ^b	1.62±0.11 ^b	95.9±0.53 ^a	0.01±0.00 ^c	0.37±0.01 ^a	9.45±0.13 ^b	3.17±0.08 ^b
	Average	0.26	1.91	95.9	0.10	0.31	17.1	2.95
Starch (NaOH)	N-Betaone	0.26±0.02 ^a	0.20±0.01 ^a	96.2±1.42 ^a	0.014±0.00 ^a	0.16±0.01 ^c	7.11±0.06 ^c	4.67±0.07 ^b
	N-Hyeyang	0.29±0.03 ^a	0.14±0.02 ^b	93.0±0.35 ^b	0.005±0.00 ^b	0.24±0.02 ^a	36.9±0.04 ^a	6.27±0.11 ^a
	N-Hwanggeumchal	0.16±0.02 ^b	0.16±0.01 ^b	95.4±0.46 ^a	0.016±0.01 ^a	0.21±0.01 ^b	10.4±0.08 ^b	3.42±0.05 ^c
	Average	0.24	0.17	94.9	0.01	0.20	18.1	4.79

¹⁾W-(Whole hulled barley flour), H-(H₂O-Isolated Barley Starch), N-(NaOH-Isolated barley starch).

²⁾The values with different superscripts within a column are significantly different by Duncan's multiple range test (α<0.05).

W-Hyeyang (67.1%)과 W-Hwanggeumchal (66.3%)보다 낮았으며, Islam et al. (2021)이 보고한 베타원 조곡 베타글루칸(10.5%), 총전분(58.0%) 함량과 유사하게 나타났다. 정맥한 보릿가루의 지질 함량은 W-Betaone이 2.59%로 가장 높았고, W-Hwanggeumchal 1.54%, W-Hyeyang 1.44% 순으로 낮아졌다. 이는 재배 지역, 온도 등 다양한 환경요인뿐만 아니라 품종 간의 특성에 의한 것으로 보인다.

H₂O로 분리한 보리 전분의 평균 단백질은 1.91%, 전분 95.9%, 베타글루칸 0.10%, 조지방 0.31%, 손상전분 2.95%로 나타났으며, 0.2% NaOH 처리한 전분의 평균 단백질은 0.17%, 전분 94.9%, 베타글루칸 0.01%, 조지방 0.20%, 손상전분 4.79%로 나타났다(Table 1). 전분 분리과정에서 손상 전분은 NaOH 처리시 평균 2.95%에서 4.79%로 증가하였으나 H₂O로 분리한 것보다 NaOH 처리시 단백질과 베타글루칸 등의 제거가 더 효과적으로 나타났다. NaOH를 이용한 보리 전분의 분리는 전분 주변의 단백질이 분해되거나 느슨해지고, 단백질과-전분 결합이 약화되어 단백질이 용해되어 고순도의 전분을 얻을 수 있다고 보고되었다(Xie et al., 2023). Yang et al. (2021)은 보리와 NaOH를 1:8 비율로 30°C에서 8시간 분리했을 때 99.0%의 순수한 전분을 얻을 수 있었다고 보고하였다. Karim et al. (2008)의 연구에 따르면 정곡의 분쇄 및 분리 등의 과정에서 물리적 또는 화학적으로 전분은 손상을 입기 때문에 전분 분리 방법에 따라 서로 다른 결과를 나타낸 것으로 보인다.

보리 및 전분의 입자형태 및 크기분포

보리 시료의 입자형태는 Fig. 1에 나타났다. 정곡으로부터 정맥된 보릿가루 W-Betaone, W-Hyeyang, W-Hwanggeumchal의 입자형태는 타원형의 전분 과립과 섬유질 및 기타 잔해 물질이 무질서하게 분포되어 있는 모습을 가지고 있다. Bae et al. (2012)에 따르면 보리 전분은 둥근 형태의 타원형 입자를 가지고 있으며, 전분의 형태는 식물 자원의 종류 및 품종에 따라 다양한 과립 형태와 사이즈를 가지고 있다고 보고되었다(Jeong et al., 2022). 정맥한 보릿가루에서 전분을 분리하기 위하여 H₂O (H-Betaone, H-Hyeyang, H-Hwanggeumchal)와 NaOH (N-Betaone, N-Hyeyang, N-Hwanggeumchal)로 단백질 등을 제거하였을 때 섬유질과 같은 잔해 물질이 제거된 것으로 보이며, 육안 상으로 전분 입자 파괴를 확인할 수 없었다. 또한 동일한 배율에서 관찰한 보리 전분의 입자 크기는 베타원, 황금찰, 혜양 순으로 크게 나타났다.

정맥한 보리 분쇄물과 전분(H₂O, NaOH)의 입도 분석결과는 Table 2와 Fig. 2에 나타났다. W-Betaone, W-Hyeyang, W-Hwanggeumchal 정맥 분쇄물의 평균 입도는 각각 223.9 μm, 173.8 μm, 131.9 μm로 나타났다. H-Betaone, H-Hyeyang, H-Hwanggeumchal 전분의 평균 크기는 H₂O을 이용한 분리가 각각 13.6 μm, 18.7 μm,

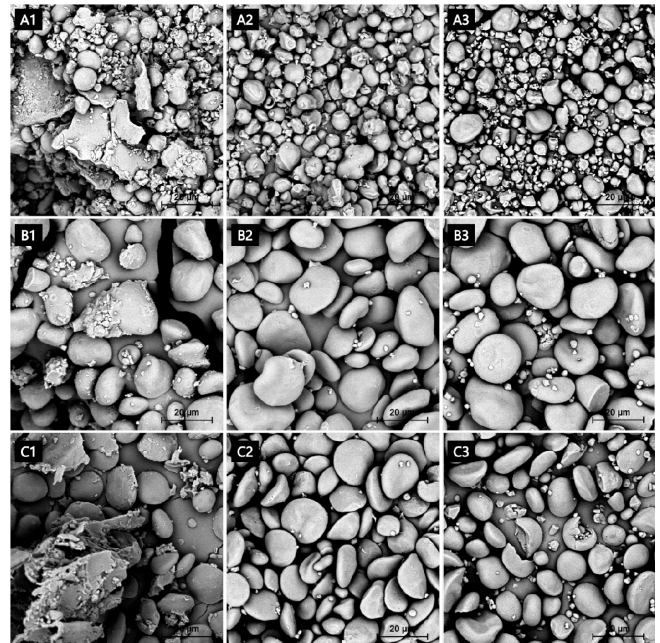


Fig. 1. Scanning electron microscopy of barley whole and starch granules according to isolation method: (A) Betaone: A1 (W-Betaone), A2 (H-Betaone), A3 (N-Betaone), (B) Hyeyang: B1 (W-Hyeyang), B2 (H-Hyeyang), B3 (N-Hyeyang), (C) Hwanggeumchal: C1 (W-Hwanggeumchal), C2 (H-Hwanggeumchal), C3 (N-Hwanggeumchal).

14.7 μm이었으며, NaOH 분리에서는 각각 8.0 μm, 15.2 μm, 11.1 μm로 나타났다. 분석된 시료의 평균입자크기는 주사전자현미경을 통해 관찰된 전분 입자크기와 동일하게 베타원, 황금찰, 혜양 순으로 입자크기가 크게 나타났다. Aman & Newman (1986)에 따르면 보리전분은 품종별, 전분 분리방법, 아밀로스-아밀로펙틴 함량별, 지역재배위치별 등에 의해 다양하게 나타난다고 보고하였다. 보리 정맥 분쇄물은 단백질과 전분의 매트릭스, 베타글루칸, 아라비노자일란 등의 세포벽 구성물질들에 의해 30~1,130 μm의 넓은 범위를 가졌지만 분쇄 보리의 H₂O, NaOH 처리시 단백질, 베타글루칸 등이 제거된 순수 전분을 얻을 수 있으며, 단백질과 지질 등의 함량이 낮은 NaOH 처리가 효과적인 것으로 보인다.

전분의 회절도 분석

보리 시료의 X-ray 회절도는 Fig. 3에 나타났다. Xie et al. (2023)은 전형적인 A-type으로 13°, 17~18° double-peak, 20°, 23° 회절 각도에서 peak를 나타낸다. 본 연구에서는 정맥된 보릿가루와 H₂O, NaOH로부터 분리된 보리 전분에서 동일한 peak를 확인하였으나, 전분 분리가 이루어지면서 17~18° double-peak가 보릿가루에 비해 peak가 조금 붕괴된 것으로 나타났다. NaOH에 의한 N-Betaone, N-Hyeyang, N-Hwanggeumchal은 H₂O 분리 시료군 보다 낮은 peak 강도가 나타나 전분이 미세하게 붕괴된 것으로 보인다. NaOH 처리

Table 2. Average particle size of barley whole and starch granules according to isolation method

Sample	Barley varieties	PSD (Particle size distribution) ¹⁾				
		Mean (μm)	Median (μm)	D ₁₀ (μm)	D ₅₀ (μm)	D ₉₀ (μm)
Whole flour	W-Betaone	223.9±5.8 ^a	156.9±5.1 ^a	6.0±0.0 ^b	156.9±5.1 ^a	566.2±8.8 ^a
	W-Hyeyang	173.8±4.6 ^b	105.3±3.3 ^b	7.0±0.1 ^a	105.3±3.3 ^b	463.2±3.8 ^b
	W-Hwanggeumchal	131.9±0.9 ^c	54.9±2.4 ^c	4.9±0.1 ^c	54.9±2.4 ^b	351.6±2.7 ^c
Starch (H ₂ O)	H-Betaone	13.6±0.2 ^b	9.1±0.1 ^c	2.7±0.2 ^b	9.1±0.1 ^c	31.4±0.7 ^{ab}
	H-Hyeyang	18.7±1.3 ^a	14.4±0.5 ^a	3.0±0.2 ^a	14.4±0.5 ^a	37.1±9.4 ^a
	H-Hwanggeumchal	14.7±0.2 ^b	11.6±0.0 ^b	2.2±0.0 ^c	11.6±0.0 ^b	25.6±0.6 ^b
Starch (NaOH)	N-Betaone	8.0±0.0 ^c	8.2±0.0 ^c	1.2±0.1 ^c	8.2±0.0 ^c	13.1±0.1 ^c
	N-Hyeyang	15.2±0.1 ^a	15.2±0.1 ^a	9.7±0.2 ^a	15.2±0.1 ^a	21.4±0.3 ^a
	N-Hwanggeumchal	11.1±0.0 ^b	11.4 ±0.0 ^b	1.9±0.0 ^b	11.4±0.0 ^b	17.4±0.2 ^b

¹⁾D₁₀, D₅₀, and D₉₀: granule size at which 10%, 50%, and 90% of all the granules by volume are smaller.

²⁾The values with different superscripts within a column are significantly different by Duncan's multiple range test (α 0.05).

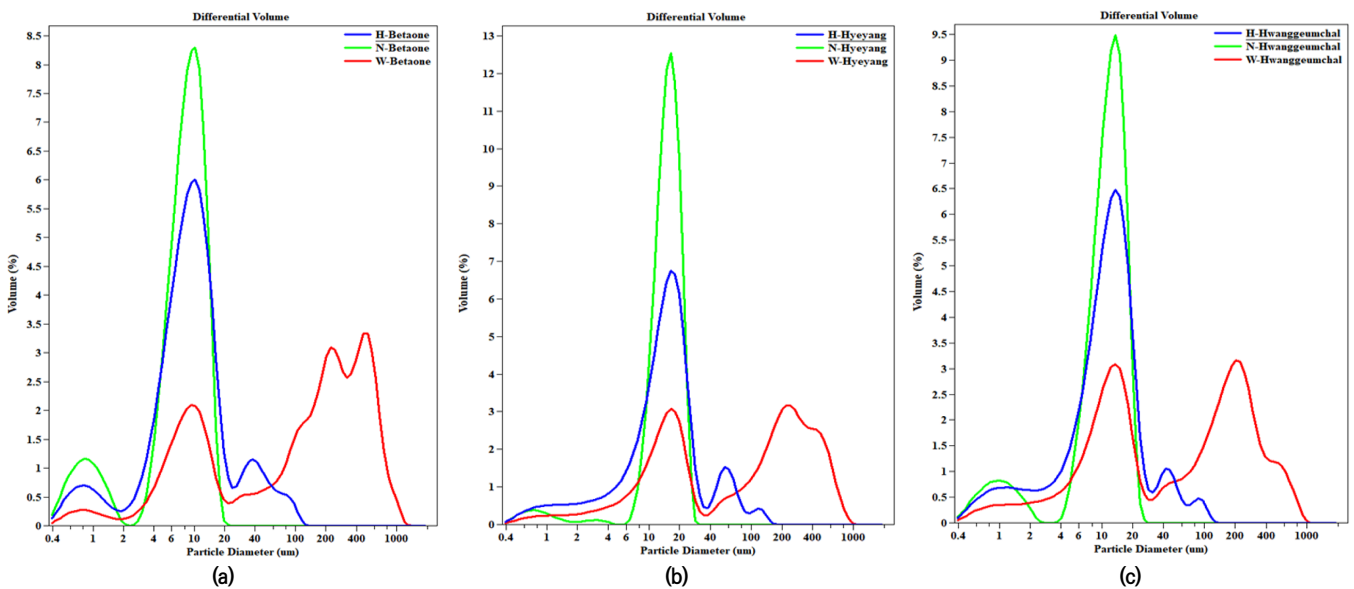


Fig. 2. Particle size distribution of barley varieties: (A) Betaone, (B) Hyeyang, (C) Hwanggeumchal, W-(Whole hulled barley flour), H-(H₂O-Isolated barley starch), N-(NaOH-Isolated barley starch).

는 H₂O 처리에 비해 전분 손상이 증가하지만, 단백질 등과 같은 성분을 제거하기 위해서는 NaOH 처리가 효과적인 것으로 판단된다.

보리 전분의 호화 특성

보리 전분의 분리 방법에 따른 시료의 호화 특성은 Table 3에 나타내었다. Nie et al. (2022)에 따르면 호화 특성은 전분의 과립 형태와 크기 분포에 의해 젤라틴화 및 노화, 팽윤력 등 다양한 물리화학적 특성이 달라진다고 보고하였다. 보리 전분을 분리하기 전 보릿가루의 호

화개시온도는 W-Betaone (72.3°C), W-Hyeyang (58.7°C), W-Hwanggeumchal (66.4°C)로 나타났으며, 추출용매(H₂O, NaOH)로부터 분리한 전분의 경우 전반적으로 보릿가루에 비해 낮은 온도를 나타냈다. 또한 H₂O에 비해 NaOH로 분리한 보리 전분의 호화개시온도, 최고점도, 종결 온도, 호화엔탈피가 높게 나타났다. 이는 알칼리제가 일부 천연 전분의 페이스트 특성 및 이화학적 특성에 영향을 미친 것으로 보인다(Karim et al., 2008; Lai et al., 2004). Xie et al. (2023)에 따르면 전분에 작은 입자의 함량이 높으면 호화 개시온도, 최고온도, 종료 온도가 높다고 보고하였다. 이는 본 연구결과와 동일하게 평균 입자가

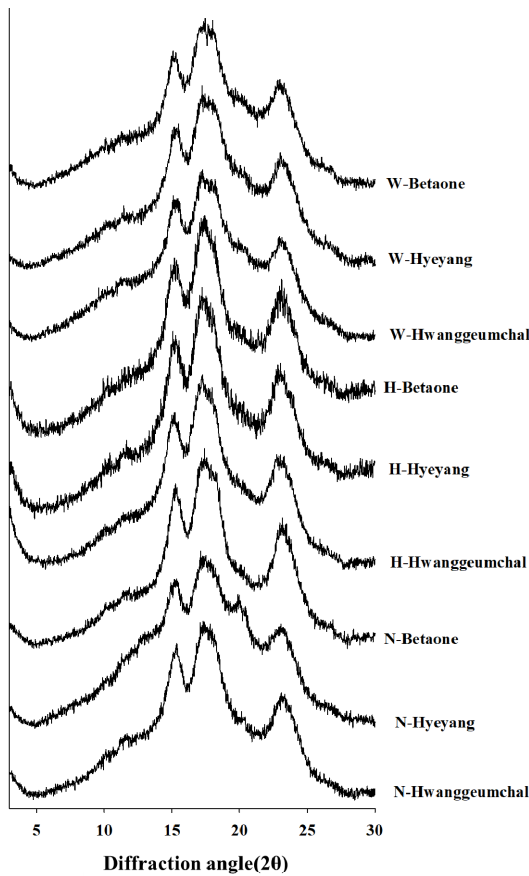


Fig. 3. XRD patterns of barley whole and starch granules according to isolation method: W-(Whole hulled barley flour), H-(H₂O-Isolated barley starch), N-(NaOH-Isolated barley starch).

N-Betaone (8.0 μm), N-Hwanggeumchal (11.1 μm), N-Hyeyang (15.2 μm) 순으로 높아짐에 따라 T_o , T_p , T_c 또한 낮게 나타났다. 전분 분리 방법은 전분의 호화 특성에 영향을 미치며, 특히 보리 품종 및 전분

입자 크기에 의해 호화 특성 변화가 크게 나타났다. T_c-T_o 는 gelatinization range로, Zhang 등(2024)에 따르면 NaOH의 농도가 증가할수록 gelatinization range는 water보다 넓은 온도를 나타내 본 연구결과와 동일하게 나타났다. 이는 전분 분리 과정 중 알칼리제가 전분의 이중 나선 구조를 붕괴시키고 재배열 되었기 때문으로 보인다. 그러나 헤양에서는 NaOH 처리보다 H₂O 처리 전분에서 gelatinization range과 호화엔탈피가 높게 나타났다. 이는 전분 과립 크기가 작을수록 화학적 변형에 더 취약하며, 전분 과립이 클수록 알칼리에 노출되어도 표면적 대 부피 비율이 낮아 NaOH 용액에 덜 반응하기 때문이다(Xu et al., 2018). 이에 따라 전분의 이중 나선 구조를 파괴하는데 필요한 열량 호화엔탈피가 H₂O 처리 대비 NaOH처리 전분에서 보다 높은 값을 나타냈다(Jeong et al., 2019).

보리의 점도 특성

보리시료의 점도 특성은 Fig. 4에 나타났다. 보리는 찰성과 메성으로 구분이 되며 찰성을 가지는 보리는 최고점도와, 최저 점도가 유의적으로 높게 나타난다는 보고와 동일하게 찰성인 황금찰에서 높게 나타났으며, 다음으로 베타원, 헤양 순으로 나타났다(Chen et al., 2020). 보리 점도는 전분의 순도, 과립의 크기, 아밀로스/아밀로 펙틴의 함량과 비율, 과립내 이중 나선 등에 영향을 받는다고 보고하였으며(Xie et al., 2023), 정맥된 보릿가루와 분리 방법에 따라 점도 특성이 다르게 나타났지만 점도 경향성은 유사하게 나타났다. 그러나 헤양의 경우 알칼리 처리 전분에서 점도의 pasting temperature가 다르게 나타났다. 이는 Lai et al. (2004)의 보고에 따르면 NaOH가 전분의 페이스팅과 같은 기타 성분에 영향을 미친다고 하였다. 보릿가루와 전분 분리 방법에 따른 최고 점도 분석 결과 헤양과 황금찰은 NaOH, H₂O, 정곡 순으로 점도가 높게 나타났으나 베타원에서는 H₂O, 정곡,

Table 3. Gelatinization parameters of barley whole and starch granules according to isolation method

Sample	Varieties	$T_o^{1)}$ (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	T_c-T_o (°C)	ΔH (J/g)
Whole flour	W-Betaone	72.3±0.36 ^c	79.6±0.13 ^c	89.1±1.42 ^c	16.7±1.43 ^b	4.75±0.20 ^b
	W-Hyeyang	58.7±0.12 ^a	64.3±0.08 ^a	76.1±0.51 ^a	17.3±0.48 ^b	4.72±0.26 ^b
	W-Hwanggeumchal	66.4±0.20 ^b	70.7±0.24 ^b	79.0±1.06 ^b	12.7±0.94 ^a	2.88±0.18 ^a
Starch (H ₂ O)	H-Betaone	69.8±0.39 ^c	76.2±0.31 ^c	84.4±0.79 ^b	14.6±1.10 ^b	6.08±0.38 ^b
	H-Hyeyang	57.9±0.10 ^a	62.8±0.23 ^a	73.6±0.41 ^a	15.6±0.32 ^b	8.33±0.58 ^b
	H-Hwanggeumchal	63.3±0.35 ^b	67.5±0.29 ^b	73.3±0.47 ^a	10.0±0.35 ^a	3.25±0.61 ^a
Starch (NaOH)	N-Betaone	69.7±0.49 ^c	81.3±0.52 ^c	94.7±1.24 ^c	25.0±1.14 ^b	9.72±0.35 ^b
	N-Hyeyang	59.6±0.15 ^a	64.9±0.31 ^a	74.0±0.29 ^a	14.3±0.46 ^a	7.20±0.15 ^a
	N-Hwanggeumchal	64.1±0.45 ^b	70.0±0.25 ^b	81.0±2.03 ^b	16.9±2.06 ^a	6.64±1.12 ^a

¹⁾The values with different superscripts within a column are significantly different by Duncan's multiple range test (α 0.05).

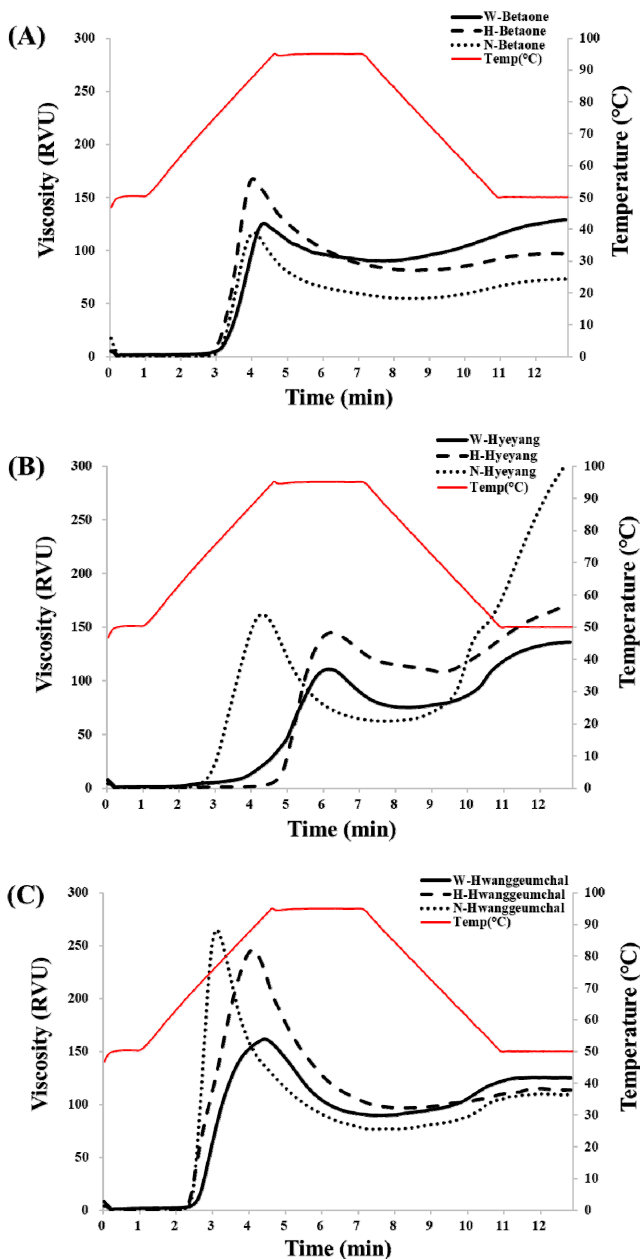


Fig. 4. Pasting properties of barley whole and starch granules according to isolation method measured with a rapid visco analyzer: (A) Betaone, (B) Hyeyang, (C) Hwanggeumchal, W-(Whole hulled barley flour), H-(H₂O-Isolated barley starch), N-(NaOH-Isolated barley starch).

NaOH 순으로 나타났다. 이는 베타원이 다른 보리 전분과 다르게 입자 크기가 작아 알칼리에 큰 영향을 받은 것으로 보인다. 이와 같이 베타글루칸의 함량이 높은 베타원의 분리방법으로는 H₂O가 적절한 것으로 보이지만 일반 성분 분석에서 total starch의 함량이 NaOH 처리에서 높으며, Lipids, Protein의 함량이 작게 나타나 순도 높은 전분을 얻기 위해서는 NaOH 처리 방법이 적절한 것으로 판단된다. 또한 Fan et al. (2019)에 따르면 물을 통한 전분 분리보다 알칼리를 이용한

방법에서 보다 쉽게 전분을 얻을 수 있으며, 전분 특성 연구에 이용되기 좋다고 보고하였다. 이에 따라 보리 전분을 분리하기 위해서는 알칼리 NaOH를 이용하는 것이 바람직한 것으로 보인다.

요약

보리의 전분은 아밀로스과 아밀로펙틴 구성비, 과립형태에 따라 물리 화학적 특성이 달라진다. 보리 전분의 물리화학적 특성을 분석하기 위해서는 단백질, 지방, 베타글루칸의 제거가 필요하며, 추출 용매로 H₂O와 NaOH가 사용된다. 본 연구에서는 베타글루칸 함량이 10% 이상으로 높은 베타원을 포함한 3가지 품종 보리에 0.2% NaOH와 H₂O를 이용하여 전분을 분리하고 이에 따른 보리 전분의 물리화학적 특성을 조사하였다. NaOH로 분리한 전분의 평균 손상 전분, 단백질, 베타글루칸, 조지방은 각각 4.79%, 0.17%, 0.01%, 0.20%이었으며, H₂O 처리시 각각 2.95%, 1.91%, 0.10%, 0.31%로 NaOH 분리가 손상전분은 증가하였지만 단백질 등의 제거는 더 효과적이었다. 전분 입자 크기에 의해 호화 특성 및 점도가 다르게 나타났으며, 입자가 커질수록 T_o , T_p , T_c 가 낮게 나타났다. X-선 회절에서는 전형적인 A-type 형태를 나타냈으며, H₂O 대비 NaOH 피크강도가 감소하여 결정성이 미량 파괴된 것으로 보인다. 그러나 알칼리 사용시 전분 분리가 쉬워질 뿐만 아니라 순도 높은 전분을 얻어 전분 특성 연구에 이용되기 좋다. 따라서, 보리 전분을 분리하기 위해서는 NaOH를 사용하여 분리하는 것이 효과적인 것으로 보인다.

ORCID

- | | |
|----------------|---|
| Young-Mi Yoon | https://orcid.org/0000-0003-4237-5380 |
| Gyeong-A Jeong | https://orcid.org/0000-0003-0391-1427 |
| Seul-Gi Park | https://orcid.org/0000-0003-2649-4734 |
| Jin-Cheon Park | https://orcid.org/0000-0002-4701-8174 |
| Rin Chae | https://orcid.org/0009-0007-2202-2226 |
| Chang Joo Lee | https://orcid.org/0000-0003-2212-252X |

Conflict of interests

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

Acknowledgements

This research was supported by the "Development of molecular marker with B-glucan and disease resistance for improving barley breeding efficiency. Project No.: PJ01 5004062024)" RDA, Republic of Korea.

Data availability

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

Authorship contribution statement

Conceptualization: Lee CJ.

Data curation: Yoon YM, Park SG, Chae R.

Formal analysis: Yoon YM, Park SG, Chae R.

Methodology: Yoon YM, Jeong GA, Park SG.

Validation: Yoon YM.

Investigation: Park SG.

Writing - original draft: Jeong GA, Lee CJ.

Writing - review & editing: Yoon YM, Jeong GA, Park SG, Park JC, Hur OS, Chae R, Lee CJ.

Ethics approval

Not applicable.

References

- AACC. 2000. Approved Method of the AACC. 10th ed. Method 44-15A, 46-12, 30-10, 08-01, and 76-13. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
- Åman P, Newman CW. 1986. Chemical composition of some different types of barley grown in Montana, USA. *J. Cereal Sci.* 4: 133-141.
- Andersson AAM, Andersson R, Åman P. 2001. Starch and by-products from a laboratory-scale barley starch isolation procedure. *Cereal Chem.* 78: 507-513.
- AOAC. Official Methods of Analysis. 2000. 17th ed. Association of Official Analytical Communities. MD, USA. 1-26.
- Asare EK, Båga M, Rossnagel BG, Chibbar RN. 2011. Polymorphism in the barley granule bound starch synthase 1 (Gbs1) gene associated with grain starch variant amylose concentration. *J. Agr. Food Chem.* 60: 10082-10092.
- Bae JS, Jeong YS, Kim JW, Lee ES, Lee MJ, Hong ST. 2012. β -Glucanase-assisted extraction of starch from glutinous barley. *Korean J. Agric. Sci.* 39: 387-393.
- Chen X, Shao S, Chen M, Hou C, Yu X, Xiong F. 2020. Morphology and physicochemical properties of starch from waxy and non-waxy barley. *Starch-Starke.* 72: 1900206.
- De Haas BW, Goering KJ. 1972. Chemical structure of barley starches. I. A study of the properties of the amylose and amylopectin from barley starches showing a wide variation in brabender cooking viscosity curves. *Starch-Starke.* 24: 145-149.
- Delcour JA, Hosney RC. 2010. Principles of cereal science and technology 3rd edition, AACC International Inc. St. Paul, MN, USA. pp. 25-30, 35-42.
- Fan X, Zhu J, Dong W, Sun Y, Lv C, Guo B, Xu R. 2019. Comparison of pasting properties measured from the whole grain flour and extracted starch in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plos One.* 14: e0216978.
- Fincher GB. 1975. Morphology and chemical composition of barley endosperm cell walls. *J. I. Brewing.* 81: 116-122.
- Ham JR, Lee HI, Lee YJ, Lee HJ, Kim HY, Son YJ, Lee MK, Lee MJ. 2021. Dual beneficial effects of naked barley "Beta-one" extract on high-fat diet/streptozotocin-induced hyperglycemia and hepatosteatosis in mice. *J. Cereal Sci.* 102: 1-8.
- Islam MZ, An HG, Kang SJ, Lee YT. 2021. Physicochemical and bioactive properties of high β -glucan barley variety 'Betaone' affected by germination processing. *Int. J. Biol. Macromol.* 177: 129-134.
- Jung EY, Yum CA, Kim SK, Jung MS. 1987. The chemical composition of pearled, cutted and pressed barleys. *Korean J. Food Sci. Technol.* 19: 290-294.
- Jeong YS, Bae JS, Kim JW, Lee ES, Lee KT, Lee MJ, Hong ST. 2013. Optimization of β -glucanase-assisted extraction of starch from domestic waxy barley and its physicochemical properties. *J. East Asian Soc. Diet. Life.* 23: 789-798.
- Jeong GA, Park JH, Kim KH, Lee CJ. 2022. Comparison of physicochemical properties of Australian standard white wheat starch and Korean wheat starch. *Korean J. Food Sci. Technol.* 54: 561-567.
- Jeong D, Lee SJ, Chung HJ. 2019. Effect of molecular and crystalline structure on phase transition behaviors of rice starches. *Korean J. Food Sci. Technol.* 51: 432-437.
- Karim AA, Nadiha MZ, Chen FK, Phuah YP, Chui YM, Fazilah A. 2008. Pasting and retrogradation properties of alkali-treated sago (*Metroxylon sagu*) starch. *Food Hydrocolloids.* 22: 1044-1053.
- Lai LN, Karim AA, Norziah MH, Seow CC. 2004. Effects of Na₂CO₃ and NaOH on pasting properties of selected native cereal starches. *J. Food Sci.* 69: 249-256.
- Lazaridou A, Vaikousi H, Biliaderis CG. 2008. Impact of mixed-linkage (1 \rightarrow 3, 1 \rightarrow 4) β -glucans on physical properties of acid-set skim milk gels. *Int. Dairy J.* 18: 312-322.
- Li W, Xiao X, Zhang W, Zheng J, Luo Q, Ouyang S, Zhang G. 2014. Compositional, morphological, structural and physicochemical properties of starches from seven naked barley

- cultivars grown in China. *Food Res. Int.* 58: 7-14.
- McCleary BV, Glennie-Holmes M. 1985. Enzymatic quantification of (1-3), (1-4) β -D-glucan in barley and malt. *J. I. Brewing.* 91: 285-295.
- Martén Å. 2014. Establishment and evaluation of a Barley starch isolation method with focus on representability.
- Nie M, Piao C, Li J, He Y, Xi H, Chen Z, Lili W, Liya L, Yatao H, Fengzhong W, Tong L. 2022. Effects of different extraction methods on the gelatinization and retrogradation properties of highland barley starch. *Molecules.* 27: 6524.
- Oh KS, Kang KJ, Kim K, Kim SK. 1992. Physicochemical properties of large and small granules of naked barley starches. *Appl. Biol. Chem.* 35: 10-13.
- Park CS, Baik BK. 2004. Cooking time of white salted noodles and its relationship with protein and amylose contents of wheat. *Cereal Chem.* 81: 165-171.
- RDA. 2012. Rural Development Administration. Guideline of Agricultural Practices.
- Šubarić D, Babić J, Lalić A, Ačkar Đ, Kopjar M. 2011. Isolation and characterisation of starch from different barley and oat varieties. *Czech J. Food Sci.* 29: 354-360.
- Sullivan O, Arendt E, Gallagher E. 2013. The increasing use of barley and barley by-products in the production of healthier baked goods. *Trends Food Sci. Technol.* 29: 124-134.
- Sun L, Ma M, Chen X, Xu Z, Zhang C, Huang W, Sui Z, Corke H. 2022. Physicochemical properties of A-and B-type granules isolated from waxy and normal hull-less barley starch. *Int. J. Biol. Macromol.* 213: 456-464.
- Xu A, Guo K, Liu T, Bian X, Zhang L, Wei C. 2018. Effects of different isolation media on structural and functional properties of starches from root tubers of purple, yellow and white sweet potatoes. *Molecules.* 23: 2135.
- Xie J, Hong Y, Gu Z, Cheng L, Li Z, Li C, Ban X. 2023. Highland barley starch: Structures, properties, and applications. *Foods.* 12: 387.
- Yang YY, Jiao AQ, Zhao SN, Liu Q, Fu X, Jin ZY. 2021. Effect of removal of endogenous non-starch components on the structural, physicochemical properties, and *in vitro* digestibility of highland barley starch. *Food Hydrocolloids.* 117: 106698.
- Zhang RY, Chen PX, Liu AB, Zhu WX, Jiang MM, Wang XD, Liu HM. 2024. Effects of different isolation methods on the structure and functional properties of starch from tiger nut (*Cyperus esculentus* L.) meal. *LWT-Food Sci. Technol.* 196: 115853.