Research article
Food Eng. Prog. 2025;29(1):35-42
pISSN: 1226-4768, eISSN: 2288-1247
https://doi.org/10.13050/foodengprog.2025.29.1.35

산업식품공학
Food Engineering Progress

건조 열처리와 마이크로파 열처리에 의한 녹두 전분의 이화학적 특성과 녹두 전분 겔의 조직감 연구

이지현[1] · 손종연[1,2] · 심재용[1,2,*]

[1]한경국립대학교 식품생명화학공학부 식품생명공학전공, [2]한경국립대학교 글로벌 K푸드 연구센터

Study of physicochemical and textural properties of mung bean starch gel with dry and microwave heat treatments

Ji-Hyun Lee[1], Jong-Youn Son[1,2] and Jae-Yong Shim[1,2,*]

[1]School of Food Biotechnology & Chemical Engineering, Department of Food Science & Biotechnology, Hankyong National University, Ansung 17579, Korea
[2]Global K-Food Research Center, Hankyong National University, Ansung 17579, Korea

Abstract

This study was conducted to investigate the effects of pretreatments and soybean oil on the physicochemical properties of mung bean starch and the textural properties of gels. Dry heat and microwave heat treatments were used as pretreatments to enhance the textural and storage qualities of mung bean starch gels. Pretreatment and the addition of soybean oil increased the swelling power and solubility of starch; particularly, dry heat treatment significantly increased the solubility of starch. In the RVA test, microwave heat treatment increased pasting viscosity, whereas dry heat treatment reduced pasting viscosity over all temperature ranges. Both pretreatments increased the peak time and gelatinization temperature. Dry heat treatment significantly increased the hardness, gumminess, and chewiness of mung bean starch gels compared to microwave heat treatment, however, reduced cohesiveness and adhesiveness. The addition of soybean oil slightly increased the fracture strain. No significant difference was observed in the water-holding capacity due to pretreatment and oil addition. These results confirmed that the textural characteristics of the mung bean starch gel were affected by pre-heat treatment of the starches.

Keywords: Mung bean starch, Gel, Microwave heat treatment, Dry heat treatment, Texture profile analysis

서 론

겔(gel)상 식품은 식감이 부드럽고 씹고 삼키기가 쉬워 기호식품이나 노인식 등으로 다양하게 사용되어 왔는데 주된 재료로는 전분, 다당류, 단백질 등이 이용되었다. 특히 메밀, 녹두, 도토리 등에서 분리한 전분에 물을 넣고 가열하여 호화시킨 후 냉각하여 단단한 겔 형태로 만든 것을 묵이라 하고 우리나라 민속식품으로 오랫동안 섭취되어 왔다(Cha et al, 2008). 일반적으로 전분 유래 겔은 저칼로리 식품으로 특유의 부드러운 질감으로 인해 체중조절식이나 노약자식으로 활용되어 왔으며(Hwang & Nhuan, 2014), 제조 시 다양한 부재료를 첨가하여 맛이나 향을 향상시키거나(Chang, 2007; Kim et al., 2011), 부재료의 기능성을 부여하는 연구가 다수 진행되었다(Kim et al., 2002; Hwang & Nhuan, 2014). 전분 겔의 경우 아밀로스 함량이 높은 전분을 주로 사용하는데 제조 후 저장하면 전분의 노화로 인해 색이 변하고 쉽게 부서지는 단단한 식감을 나타내며 물이 분리되는 이수현상 등의 품질저하가 일어난다. 이러한 전분 겔의 품질 저하

Received: Nov 04, 2024 / Revised: Jan 25, 2025 / Accepted: Feb 01, 2025
Corresponding author: Jae-Yong Shim, School of Food Biotechnology & Chemical Engineering, Department of Food Science & Biotechnology, Hankyong National University, Ansung 17579, Korea
E-mail: jyshim@hknu.ac.kr

Copyright © 2025 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.

현상을 극복하기 위한 방법으로는 화학적, 물리적, 효소적 처리를 통해 전분 입자를 변화시키거나 기능성 그룹을 부여하는 방법이 수행되어 왔는데 그 중에서 안전하고 효율적인 물리적 변형을 통한 개선 방법이 선호되었다. 물리적 변형 방법 중에서 낮은 수분 조건에서 가열하는 건조 열처리(Sun et al., 2013; Su et al., 2018)와 마이크로파를 이용한 처리(Zylema et al., 1985; Lewandowicz et al., 1997)에 대한 연구가 진행되어 왔다. 건조 열처리(dry heat treastment, DHT)는 낮은 수분함량이나 전혀 수분이 없는 조건에서 전분을 고온(120~200℃)로 수 시간 동안 가열하는 처리로서 주로 변형 전분을 생산하는 방법으로 이용되었다(Su et al., 2018). 식품 산업용으로 화학적 시약을 사용하지 않아 변형 제조를 위한 안전한 방법으로 알려져 있으며(Adebowale et al., 2005), 단시간에 조작이 가능하고 공정이 용이하다는 장점을 가지고 있다(Liang et al., 2021). 마이크로파 가열(microwave heat treatment, MHT)는 식품 가공 응용의 목적으로 전분 구조와 특성을 바꾸기 위해 300 MHz에서 300 GHz 사이의 주파수 범위 내에서 전자기파를 이용하는 열 가열 방법의 일종이다(Brasoveanu & Nemtanu, 2013). 전분을 마이크로파 처리를 하면 글리코시드 결합의 절단으로 전분 분자의 재배열이 유도되며 전분 입자의 형태와 상대적 결정성에 영향을 주는 것을 알려져 있다(Nawaz et al., 2018; Zhong et al., 2019). 마이크로파 처리로 인한 전분의 변화 연구로는 감자 전분의 결정구조 변화(Lewandowicz et al., 1997), 겔의 견고성 및 아밀로펙틴의 재결정 변화(Palav & Seetharaman, 2007) 등이 있다. 전분에 유지를 첨가하면 지방은 전분과 복합체(lipid-starch complex)를 형성하여 전분 식품의 물성을 변화시키고 노화를 지연한다는 연구도 다수 진행되었다(Mun et al., 1996; Choi & Oh, 2004). 지금까지 발표된 전분 겔 또는 전분이 주성분인 식품 겔에 관련된 연구는 주로 생리활성과 약리작용을 가진 다양한 부재료를 첨가하여 부재료가 가지고 있는 기능성을 단순히 전분 겔에 부여하는 연구가 대부분이었다. 주원료인 전분에 물리적 변형을 유도하는 처리를 통해 전분 입자의 변형을 통한 전분 겔의 조직감 변화에 대한 연구는 거의 없었다. 따라서 본 연구에서는 전분 겔의 물성 변화를 목적으로 겔 형성 능력이 우수하고 겔 형성 시 높은 탄력성과 절단성 같은 독특한 물성을 보이는 녹두전분을 원료로 선정하여 건조 가열과 마이크로파 가열 처리한 전분의 이화학적 특성과 전처리 전분으로 제조한 겔의 품질특성을 비교 분석하였고 아울러 대두유 첨가에 의한 품질특성 변화도 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료

본 연구에 사용된 녹두전분(mung bean starch, 100%)은 헬로우그린(Hello Green, Seoul, Korea)에서 구입하였고 대두유(CJ, Seoul, Korea)는 마트에서 구입하여 실온에서 보관하면서 재료로 사용하였다.

건조가열(dry heat treatment, DHT)

녹두 전분을 수분 증발로 인한 무게 감소를 고려해 목적한 총 g 수보다 조금 더 넉넉히 취하여 스테인리스 접시에 각각 담아 넓게 펴주고, 알루미늄 포일로 밀봉한 후 드라이오븐에 넣고 130℃에서 예비실험(2, 3, 4시간 가열)을 통해 얻은 적정 가열시간인 3시간 동안 가열 후 꺼내서 상온에 하루 동안 냉각하여 사용하였다.

마이크로파 가열(microwave heat treatment, MHT)

도자기 그릇에 녹두 전분 50 g을 취해 마이크로웨이브 오븐(MW207ER, 700 W, LG electronics Inc., Korea)에 넣고 예비실험(30, 60, 90, 120초 가열)을 통해 얻어진 적정한 가열시간인 90초간 가열한 후 상온에 10분간 냉각시킨 후 사용하였다.

녹두 전분 겔 제조

전처리(DHT와 MHT)를 거친 녹두전분 50 g에 증류수 450 mL를 첨가한 후 강-중-약불의 순서로 총 7분간 가열하면서 실리콘 주걱으로 일정한 방향으로 저어주면서 전분 겔을 제조하였다. 가열이 끝나면 사각 틀(12 cm×12 cm×7 cm)에 넣고 2시간 동안 실온에서 굳힌 후 2 cm 큐브 형태로 잘라 사용하였다. 대두유 첨가 시료는 Choi & Oh (2011)의 연구결과를 참고하여 대두유 2 g을 첨가하여 제조하였고 대조군은 전처리하지 않은 녹두 전분을 사용하였다.

팽윤력과 용해도

팽윤력(swelling power)과 용해도(solubility)는 Schoch (1964)의 방법에 따라 측정하였다. 전분 시료 0.5 g에 증류수 30 mL을 넣어 고르게 분산시킨 후 90℃로 조절된 항온수조에서 20분간 100 rpm으로 교반하며 가열한 후 얼음물에서 냉각시켰다. 냉각시킨 원심분리 관을 30분간 3,900 rpm으로 원심분리하여 상징액은 미리 무게를 재어 놓은 삼각플라스크에 담아 105℃ 드라이 오븐에서 항량이 될 때까지 건조하여 식 (1)에 따라 용해도를 구하였고, 원심분리 후 침전물의 무게를 측정하여 식 (2)에 따라 팽윤력을 구하였다.

$$\text{용해도}(\%) = \frac{\text{상징액에서 증발되고 남은 시료의 무게}(g)}{\text{시료의 무게}(g)} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{팽윤력} = \frac{\text{침전된 시료 무게(g)}}{\text{시료 무게(g, 건량기준)} \times (100 - \text{용해도(\%)})} \times 100 \quad (2)$$

호화 특성

전처리와 대두유 첨가에 의한 녹두 전분의 호화특성은 RVA(Rapid Visco-Analyzer, RVA-3D+, Newport Scientific Ltd., NSW, Australia)를 사용하여 분석하였다. 전처리 전분 시료 3 g을 증류수 25 mL에 분산시킨 전분 현탁액을 RVA 시료로 사용하였다. 대두유 첨가 시료는 전분 현탁액에 전분시료의 4%인 0.12 g을 첨가하여 제조하였다. RVA용 알루미늄 용기에 현탁액을 넣고 플라스틱 패들과 함께 RVA에 장착한 후 처음 1분간은 50℃로 유지한 후 12℃/min의 속도로 95℃까지 가열한 다음 95℃에서 2분 30초간 유지한 다음, 다시 같은 속도로 50℃까지 냉각하고, 50℃에서 2분간 유지하면서 총 13분 동안 점도 변화를 측정하였다. 측정 중 패들의 회전 속도는 처음 10초간은 960 rpm으로 교반하였고 이후 160 rpm을 유지하였다. 점도 변화 곡선으로부터 호화 온도(pasting temperature), 최고점도(peak viscosity, P), 최저 점도(trough viscosity, T) 및 최종 점도(final viscosity, F)를 측정하였고 이들 측정값으로부터 breakdown(P-T)과 setback(F-T) 값을 구하였다.

색도

제조한 전분 겔의 색도는 색차계(Chromameter CR-400, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan)를 사용하여 겔 표면의 L*값(lightness), a*값(+red/−green) 및 b*값(+yellow/−blue)을 측정하여 비교하였다. 보정을 위해 사용된 표준 백판의 L*, a*, b*값은 각각 93.17, −0.28, 4.88이었다.

조직감

일정한 크기의 정육면체(2.0 cm×2.0 cm×2.0 cm)로 자른 겔 시료를 Texture Analyzer (CT3 10K, Brookfield, Middleboro, MA, USA)를 사용하여 부서짐 측정(fracture test)과 TPA (Texture Profile Analysis)을 실시하여 조직감을 비교하였다. 원형(10 cm dia.)의 평판 프로브를 사용하여 부서짐 특성은 변형률 80%로 1회 압축실험으로 측정하였고, TPA 특성은 1차 압축 후 형태를 유지할 수 있는 최대 변형률인 45%로 2회 압축실험으로 측정하였다. 측정 속도는 부서짐 측정은 0.5 mm/s, TPA 측정은 1 mm/s로 사용하였다. 부서짐 측정으로 시료가 부서질 때의 힘과 변형 거리를 파악하였고, TPA 분석을 통하여 각 시료의 경도(hardness), 부착성(adhesiveness), 순간 복원력(resilience), 응집성(cohesiveness), 탄력성(springiness), 검성(gumminess), 및 씹힘성(chewiness)을 각각 측정하였다.

이수율

제조한 전분 겔은 지퍼백에 담아 밀봉하여 냉장고에 넣고 1℃에서 48시간 저장 후, 시료를 꺼내 식 (3)에 의하여 이수율을 측정하였다.

$$\text{이수율(\%)} = \frac{\text{분리된 액체량(g)}}{\text{겔 무게(g)}} \times 100 \quad (3)$$

통계 처리

모든 실험 결과는 3회 이상 반복 실험으로 측정 후 평균±표준편차로 표시하였고 SPSS 통계 프로그램(SPSS Statistics 21, IBM, Armonk, NY, USA)을 사용하여 Duncan's multiple range test를 실시하여 $p<0.05$ 수준에서 각 실험군 간의 유의성을 검증하였다.

결과 및 고찰

팽윤력과 용해도

녹두 전분의 전처리와 대두유 첨가에 따른 녹두 전분의 팽윤력과 용해도 변화는 Table 1에 나타내었다. 전처리를 하지 않은 대조구의 팽윤력은 10.92로 나타났고 MHT 처리구는 11.74, DHT 처리구는 11.15로 나타나 전처리에 의해 전분 입자의 팽윤력은 유의적으로 증가하는 결과를 보였다. 대두유 첨가에 의해서도 팽윤력이 다소 증가하는 경향을 보였는데 변화의 폭은 크지 않았다. 전분에 대두유를 첨가할 때 amylose-lipid complex를 형성하지 않고 단순히 수분 중에 유화되어 있거나 전분 표면에 붙어있어 팽윤력에 미치는 영향이 적다는 연구(Mun et al., 1996)와 같은 결과를 보였다. 용해도의 경우 대조구는 4.59%, MHT 처리구는 5.67%, DHT 처리

Table 1. Swelling power and solubility of mung bean starch with pre-treatments and oil addition

	Swelling power	Solubility (%)
Control[1)]	10.92±0.20[c]	4.59±0.52[d]
Control+oil[2)]	11.34±0.29[bc]	6.27±0.94[bc]
MHT[3)]	11.74±0.26[b]	5.67±0.78[cd]
MHT+oil	12.19±0.47[a]	7.14±1.68[b]
DHT[4)]	11.15±0.59[c]	7.04±1.17[b]
DHT+oil	11.63±0.29[b]	9.58±0.78[a]

[a–d)]Values with different superscripts in a column are significantly different ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.
[1)]Control: raw mung bean starch.
[2)]+oil: addition of 4% soybean oil.
[3)]MHT: mung bean starch treated by microwave heat treatment.
[4)]DHT: mung bean starch treated by dry heat treatment.

구는 7.04%를 보여 전처리에 의해 용해도가 증가하였는데 특히 DHT 처리구에서 유의적으로 높은 값을 보였다. 대두유의 첨가는 모든 시험군에서 유의적으로 용해도가 증가하였는데 대조구는 6.27%, MHT 처리구는 7.14%, DHT 처리구는 9.58%의 값을 보여 DHT 처리와 대두유 첨가구에서 가장 높은 용해도 결과를 보였다. 이러한 결과는 첨가된 대두유가 수분속에 유화된 상태로 존재하여 용해도를 증가시킨다는 Choi & Oh (2011)의 연구결과와 같았고, DHT 처리로 인해 쌀 전분의 수용성 단쇄 아밀로스 전분이 증가하여 쌀 전분의 용해도를 증가시킨다는 연구결과(Oh et al., 2018)와도 유사하였다.

호화특성

녹두 전분의 전처리와 대두유 첨가에 따른 녹두 전분의 RVA 점도 곡선과 호화 점도 특성 값을 Fig. 1과 Table 2에 각각 나타내었다. 전처리를 하지 않은 녹두 전분과 전처리 전분 시료들 간의 온도 변화에 따른 호화 점도 변화는 유의적인 차이를 보였다. 전반적으로 MHT 처리구는 모든 온도변화 구간에서 대조구에 비해 높은 호화 점도를 나타내었고, DHT 처리구는 대조구 보다 낮은 호화 점도를 나타내었는데(Fig. 1) DHT 처리는 전분입자의 팽윤을 억제하여 호화 점도가 낮아진다는 연구결과(Sun et al., 2013)와 같았다. 전분 입자가 수분을 흡수하여 팽창하기 시작하는 호화 개시 온도는 대조구인 녹두 전분이 73.55℃로 가장 낮았고 전처리 전분은 76.7~77.53℃로 전처리에 의해 호화온도가 높아졌다. 일반적으로 호화온도는 초기 페이스트 형성 기간에 전분의 구조적 안정성을 나타내는 것으로(Ali et al., 2020) 전처리로 인해 더 작은 크기의 분자 생성으로 이는 호화하기 위해 더 많은 에너지가 필요하여 호화온도가 상승한다는 연구결과(Lima et al., 2021)와 같았다. 최고 점도의 경우 MHT 처리구가 4,671 cp로 가장 크고, 3,723 cp의 대조구 그리고 3043 cp의

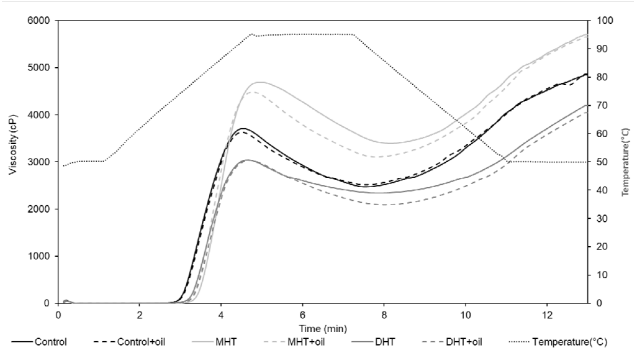

Fig. 1. RVA viscogram of mung bean starch with pre-treatments and oil addition. Control: raw mung bean starch; MHT: mung bean starch treated by microwave heat treatment; DHT: mung bean starch treated by dry heat treatment; +oil: addition of 4% soybean oil.

DHT 처리구 순으로 감소하였다. 보통 최고 점도는 가열 시 전분입자의 초기 팽윤 정도에 의해 결정되는데 대조구에 비해 높은 팽윤력을 보인 MHT 처리구는 가장 높은 최고 점도를 보여 팽윤력과 일치하는 결과를 보였다. 그러나 DHT 처리구의 경우 대조구에 비해 높은 팽윤력을 보였으나 최고 점도는 대조구에 비해 낮은 값을 보여 일치하지 않은 결과를 보였다. 이러한 결과는 팽윤력은 기계적인 전단력의 개입 없이 입자의 팽윤만으로 측정이 되었지만 RVA 측정에서는 160 rpm로 회전하는 패들의 전단력이 가해지면서 점도를 측정하게 되는데, DHT 처리된 전분 입자는 전처리 되지 않은 전분에 비해 팽윤 정도는 크지만 구조적인 변화에 의해 결합력이 약화되어 적용된 전단 충격에 의해 쉽게 손상되어 낮은 최고 점도를 보인 것으로 생각된다. 전분을 annealing 온도 이상인 60℃ 이상으로 가열 처리한 경우 전분 입자의 안정성이 감소하여 낮은 최고 점도를 나타낸다는 연구(Cha, 2017)와 전분을 효소 분해하면 전분 입자가 손상을 입어 팽윤 도중에 쉽게 터져 최대 팽윤치에 도달하지 못하여 최대 점도가

Table 2. RVA pasting properties of mung bean starch with pre-treatments and oil addition

	Peak visc. (cp)	Trough visc. (cp)	Breakdown (cp)	Final visc. (cp)	Setback (cp)	Peak time (min)	Pasting temp (℃)
Control[1)]	3,723±17.68[c]	2,496±32.53[c]	1,227±14.85[b]	4,833±22.63[b]	2,337±55.15[b]	4.57±0.05[c]	73.55±0.00[b]
Control+oil[2)]	3,623±7.78[d]	2,519±6.36[c]	1,104±14.14[c]	4,917±79.90[b]	2,398±73.54[ab]	4.53±0.00[c]	73.85±0.42[b]
MHT[3)]	4,671±22.63[a]	3,333±90.51[a]	1,338±67.88[a]	5,713±19.80[a]	2,380±110.31[b]	4.97±0.05[a]	77.53±0.11[a]
MHT+oil	4,484±2.12[b]	3,164±75.66[b]	1,320±73.54[ab]	5,719±93.34[a]	2,556±17.68[a]	4.77±0.05[b]	76.65±0.07[a]
DHT[4)]	3,043±6.36[e]	2,338±11.31[d]	705±4.95[e]	4,137±88.39[c]	1,799±77.07[d]	4.70±0.04[b]	76.70±0.99[a]
DHT+oil	3,046±24.75[e]	2,098±12.73[e]	948±12.02[d]	4,068±40.31[c]	1,970±27.58[c]	4.67±0.00[b]	76.75±0.00[a]

[a-e)]Values with different superscripts in a column are significantly different (α(0.05) by Duncan's multiple range test.
[1)]Control: raw mung bean starch.
[2)]+oil: addition of 4% soybean oil.
[3)]MHT: mung bean starch treated by microwave heat treatment.
[4)]DHT: mung bean starch treated by dry heat treatment.

감소한 결과(Ravi et al., 1999)와도 유사하였다. 이에 반해 MHT 처리는 전분 입자의 결정성을 증가시킨다는 연구(Zhang et al., 2009)의 결과와 같이 전분 입자의 결정성이 증가하여 전단 충격에 대한 손상이 적어 높은 최고 점도를 보인 것으로 생각된다. 최고 점도 이후 95℃ 온도에서 지속적인 전단력을 받으면 전분입자가 파괴되면서 가용성 polymer와 전분 분자들이 스핀들의 회전 방향으로 재배열 되면서 점도가 감소하여 최저 점도인 trough 점도에 도달하고, 최고 점도와 trough 점도와의 차이를 breakdown 점도로 나타내는데 DHT 처리구에서 이들 점도 값이 유의적으로 감소하였는데 이러한 낮은 shear-thinning 결과는 전분 입자의 팽윤 후 전단력에 의한 저항성이 감소했음을 알 수 있다. 최종 점도와 trough 점도와의 차이값인 setback 점도는 냉각 시 용출된 전분 분자의 재배열에 의해 전분의 노화 현상과 연관이 있는데(Kim et al., 2013), setback 점도의 경우 MHT 처리와 대조구는 2,337~2,380 cp의 값으로 유의적으로 차이가 없었으나 DHT 처리구는 1,799 cp로 가장 낮은 값을 나타냈다. 대조구와 모든 처리군에서 대두유 첨가는 모든 온도변화에 걸쳐 호화 점도를 다소 변화시켰으나 그 변화폭은 전처리에 의한 변화보다 훨씬 작았다. 결과적으로 녹두 전분의 전처리는 전분 입자의 호화 점도 변화를 가져올 수 있으며 대두유 첨가는 호화 점도의 변화에 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 전처리에 의한 호화 점도의 변화를 통해 호화시켜 냉각시켜 제조한 녹두 전분 겔의 조직감에도 차이가 생길 수 있음을 예상할 수 있다.

색도

녹두 전분의 전처리와 대두유 첨가에 따른 녹두 전분 겔의 색도 변화를 측정한 결과는 Table 3와 같다. 대조구의 L*값은 48.71, a*값은 −0.84, b*값은 −12.12로 나타났고, MHT 처리구에서는 유의적인 색도 변화는 없었으나 DHT 처리구에서는 L*값이 증가하였고 a*값과 b*값은 감소하였다. MHT 처리는 녹두 전분의 색도를 변화시키지 않아 결과적으로 녹두 전분 겔에서도 색도의 유의적인 변화가 없었지만, 직접 열을 가하는 DHT 처리에 의한 녹두 전분 겔의 L*값은 48.71에서 53.02로 높아져 명도가 유의적으로 증가함을 알 수 있고 a*와 b* 값은 유의적으로 낮아져 녹두 전분 겔의 색을 변화시키는 것을 알 수 있었다. 무첨가군에 비해 대두유를 첨가한 첨가군에서 L*값과 b*값은 증가하였고 a*값은 감소하는 경향을 보였다. 이러한 결과는 대두유를 4% 첨가한 10% 녹두 전분 겔의 명도가 증가한다는 연구 결과(Joo & Chun, 1991)와 같았다.

전분 겔의 조직감

녹두 전분의 전처리(MHT, DHT)와 대두유 첨가에 따른 겔의 TPA (Texture Profile Analysis)와 부서짐성 측정(fracture test)의 결과는 Table 4와 Table 5에 각각 나타내었다. 겔의 경도(hardness)는 대조구의 10.32 N에서 MHT 처리구는 11.17 N으로 다소 증가하였으나 DHT 처리구에서 21.46 N으로 2배 이상 크게 상승하였다. DHT 처리 시 전분 내 분자간 수소결합이 깨지면서 입자의 팽윤을 증가시키며 전분 분자들 간의 강한 결합을 유발한다는 연구결과(Liu et al., 2019)로 설명할 수 있다. 모든 시료에서 대두유 첨가는 겔의 경도를 다소 증가시키는 경향을 보였다. 겔 표면의 끈적거리는 정도를 나타내는 점착성(adhesiveness)은 대조구의 0.23에 비해 MHT 처리구는 0.18, DHT 처리구는 0.15로 다소 감소하였으나 유의적인 차이는 없어 전처리에 의한 겔의 표면의 끈적거림의 변화는 없는 것으로 나타났다. 응집성(cohesiveness)의 경우 대조구의 0.74와 MHT 처리구의 0.73에 비해 DHT 처리구의 경우 0.67로 유의적으로 낮은 결과를 보였다. 응집성은 겔 구조를 유지하는데 필요한 내부적 결합력을 나타내는데 전처리에 의해 응집성이 감소하는 것은 전처리에 의해 전분 겔 구조내의 분자 간 결합력이 감소되었음을 나타내는 결과이다(Kim et al., 2018). 대두유 첨가로 인한 응집성의 변화는 모든 시료에서 증가하는 경향을 보였다. 겔의 탄력성(springiness)은 전처리와 대두유 첨가에 의해 다소 증가하는 경향을 보였지만 유의적인 차이는 없었다. 검성(gumminess)과 씹힘성(chewiness)은 대조구에 비해 전처리 시 유의적으로 증가하였는데, 특히 DHT 처리구에서 가장 큰 값을 보였으며 대두유 첨가에 의해 모든 시료에서 증가하는 경향을 보였다. 결과적으로 녹두 전분의 물리적인 전처리는 겔의 조직감을 변화시킬 수 있으며 이러한 변화는 DHT 처리에 의해 더 크게 나타났으며, 대두유 첨가에 의해서도 겔의 조직감을 다소 변화시킬 수 있었으나 전처리에 의한 변화보다는 적었다. TPA 측정 시 사용된 변형률인 45%는 겔을 파괴하지 않은 범위에서 다양한 조직감 특성을 파악하였다면 fracture 측정에

Table 3. Color characteristics of mung bean starch gels with pre-treatments and oil addition

	L*	a*	b*
Control[1)]	48.71±0.65[d]	−0.84±0.04[ab]	−12.12±0.08[c]
Control+oil[2)]	50.73±0.22[c]	−0.90±0.01[c]	−11.84±0.08[b]
MHT[3)]	48.47±0.33[d]	−0.81±0.01[a]	−12.15±0.03[c]
MHT+oil	50.37±0.12[c]	−0.85±0.02[b]	−11.70±0.09[a]
DHT[4)]	53.02±0.19[b]	−1.34±0.02[d]	−12.79±0.02[d]
DHT+oil	54.33±0.39[a]	−1.32±0.03[d]	−12.19±0.03[c]

[a–d)]Values with different superscripts in a column are significantly different ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.
[1)]Control: raw mung bean starch.
[2)]+oil: addition of 4% soybean oil.
[3)]MHT: mung bean starch treated by microwave heat treatment.
[4)]DHT: mung bean starch treated by dry heat treatment.

Table 4. Textural properties of mung bean starch gels with pre-treatments and oil addition

	Hardness (N)	Adhesiveness (mJ)	Resilience	Cohesiveness	Springiness	Gumminess (N)	Chewiness (mJ)
Control[1)]	10.32±0.15[e]	0.23±0.10[a]	0.56±0.01[b]	0.74±0.01[b]	0.92±0.01[b]	7.70±0.23[d]	59.25±0.87[f]
Control+oil[2)]	11.36±0.42[d]	0.25±0.10[a]	0.58±0.01[a]	0.75±0.01[a]	0.94±0.01[c]	8.49±0.18[c]	68.90±1.24[d]
MHT[3)]	11.17±0.38[d]	0.18±0.05[a]	0.58±0.01[a]	0.73±0.01[b]	0.92±0.01[b]	8.40±0.31[c]	65.68±1.62[e]
MHT+oil	12.06±0.70[c]	0.18±0.10[a]	0.59±0.01[a]	0.75±0.01[a]	0.94±0.01[c]	8.81±0.52[c]	76.25±1.77[c]
DHT[4)]	21.46±0.61[b]	0.15±0.06[a]	0.54±0.01[c]	0.67±0.00[d]	0.94±0.01[c]	14.43±0.45[b]	112.13±2.41[b]
DHT+oil	22.78±0.33[a]	0.15±0.06[a]	0.56±0.01[b]	0.69±0.01[c]	0.94±0.01[c]	15.42±0.61[a]	129.93±1.23[a]

[a-f)]Values with different superscripts in a column are significantly different (α(0.05) by Duncan's multiple range test.
[1)]Control: raw mung bean starch.
[2)]+oil: addition of 4% soybean oil.
[3)]MHT: mung bean starch treated by microwave heat treatment.
[4)]DHT: mung bean starch treated by dry heat treatment.

Table 5. Factual properties of mung bean starch gels with pre-treatments and oil addition

Sample	Storage (h)	Fracturability (N)	Fracture strain (%)
Control[1)]	0	14.29±0.36[e]	47.93±0.61[b]
Control+oil[2)]		15.05±0.42[de]	49.30±0.95[a]
MHT[3)]		15.73±0.50[d]	48.87±0.58[ab]
MHT+oil		17.50±0.72[c]	49.30±0.70[a]
DHT[4)]		23.34±0.49[b]	45.97±0.38[c]
DHT+oil		25.09±0.40[a]	46.53±0.64[c]
Control	24	15.84±0.78[d]	35.83±0.85[c]
Control+oil		16.35±0.45[d]	36.37±0.60[bc]
MHT		18.92±0.34[c]	38.83±0.29[a]
MHT+oil		19.32±0.85[c]	36.90±0.56[b]
DHT		33.10±0.57[b]	37.00±0.26[b]
DHT+oil		34.87±0.51[a]	38.10±0.36[a]

[a-e)]Values with different superscripts in a column are significantly different (α(0.05) by Duncan's multiple range test.
[1)]Control: raw mung bean starch.
[2)]+oil: addition of 4% soybean oil.
[3)]MHT: mung bean starch treated by microwave heat treatment.
[4)]DHT: mung bean starch treated by dry heat treatment.

서는 80%까지 변형률을 높여 겔이 파괴될 때의 힘과 변화율을 측정함으로써 겔을 씹었을 때 단단함에 대한 정보와 부스러짐에 대한 정보를 각각 파악하는 지표로 사용할 수 있다. 제조 직후 겔의 부서짐성은 14.29였으나 MHT 처리구는 15.73으로 다소 증가하였고 DHT 처리구는 23.34로 큰 폭으로 증가하였다. 이러한 결과는 TPA 특성 결과의 경도와 같은 경향이었다. 부서짐 변형률의 경우 DHT 전처리 구에서 유의적으로 낮은 값을 보였는데 이는 겔이 쉽게 부서진다는 의미로 TPA 특성 결과에서 낮은 응집성과도 연관시킬 수 있다. 따라서 DHT 처리에 의해 제조된 겔은 단단한 식감과 쉽게 부서지는 식감을 가지는 것을 알 수 있다. 대두유의 첨가는 모든 시료의 부서짐성을 증가시키고 부서짐 변형율을 다소 증가시키는 경향을 보여 대두유 첨가로 인해 단단하지만, 덜 부서지는 쫀득한 겔의 제조가 가능한 것으로 보인다. 냉장고에서 24시간 저장 후 모든 시료는 부서짐성이 증가하고 부서짐 변형율이 감소하여 겔의 식감이 단단해지고 잘 부스러지는 식감을 보였다. DHT 처리구는 가장 높은 부서짐성의 증가율과 낮은 부서짐 변형율을 보였다. 따라서 낮은 온도에서 저장 시 DHT 처리 한 겔의 조직감의 변화가 가장 큰 것을 알 수 있었다. 저장 후에도 대두유 첨가는 제조 직후와 같은 결과를 보였다. TPA 결과와 부서짐성 결과를 종합해 볼 때 녹두 전분의 전처리를 통해 전혀 다른 식감의 겔을 제조할 수 있으며, 특히 DHT 전처리는 전혀 다른 식감의 녹두 전분 겔의 제조가 가능하며 대두유의 첨가는 녹두 전분 겔이 가지고 있는 부스러지는 식감을 향상시킬 수 있었다.

이수율

녹두 전분의 전처리와 대두유 첨가에 따른 녹두 전분 겔의 저장 후 이수율의 변화를 Table 6에 나타내었다. 대조군의 이수율은 9.70%로 가장 낮은 값을 나타냈고 DHT 처리구는 10.41%, MHT 처리구는 11.74%로 유의적으로 증가하였다. 또한 대두유 첨가는 대조구와 DHT 처리구에서 이수율을 다소 증가시키는 결과를 보여 대두유의 지방 분자가 전분 분자의 물과의 결합을 방해하여 이수율을 증가시킨 것으로 판단된다. 결과적으로 전분의 전처리와 대두유 첨가는 저온저장 시 발생하는 전분겔의 이수현상을 억제하지 못하는 것으로 나타났다.

Table 6. Syneresis of mung bean starch gels with pre-treatments and oil addition

	Syneresis (%)
Control[1)]	9.70±0.10[d]
Control+oil[2)]	10.96±0.43[b]
MHT[3)]	11.74±0.30[a]
MHT+oil	11.75±0.15[a]
DHT[4)]	10.41±0.27[c]
DHT+oil	12.08±0.28[a]

[a-d]Values with different superscripts in a column are significantly different ($p<0.05$) by Duncan's multiple range test.
[1)]Control: raw mung bean starch.
[2)]+oil: addition of 4% soybean oil.
[3)]MHT: mung bean starch treated by microwave heat treatment.
[4)]DHT: mung bean starch treated by dry heat treatment.

요 약

녹두 전분을 건조가열(DHT)과 마이크로파 가열(MHT)로 전처리한 전분의 용해도 및 호화특성을 조사하고 이들 전분으로 만든 녹두 전분 겔의 조직감을 비교하였다. 또한 대두유 첨가로 인한 영향도 조사하였다. 전처리와 대두유 첨가는 녹두 전분의 팽윤도와 용해도를 증가시켰으며 특히 DHT 전처리에 의해 전분의 용해도는 유의적으로 증가하였다. 겔의 색도를 측정한 결과, MHT 전처리 겔의 색도 변화는 그리 크지 않았으나 DHT 전처리 겔의 L*값은 유의적으로 증가하였고 a*값과 b*값은 감소하여 녹두 전분의 DHT 전처리는 녹두 전분 겔의 색 변화에 영향을 주는 것으로 나타났다. RVA 를 이용하여 측정한 호화 점도 특성은 MHT 처리 전분의 호화 점도가 모든 온도 범위에서 대조구에 비해 높은 값을 보였고, DHT 처리 전분은 대조구에 비해 낮은 값을 보였으나 전처리 전분 모두 peak time 과 호화온도는 유의적으로 증가하였다. 또한 대두유 첨가는 모든 점도 특성을 다소 감소시키는 경향을 보였으나 그 영향은 크지 않았다. DHT 처리한 전분으로 제조한 겔은 대조구에 비해 유의적으로 경도는 증가하였고 부착성, 응집성 및 부서짐 변화율은 감소하여 단단하고 매끄럽지만, 잘 부서지는 조직감을 보였다. MHT 처리한 겔의 조직감은 DHT 처리한 겔의 조직감 변화와 비슷한 경향을 보였지만 변화의 차이는 적었다. 모든 처리구에서 대두유 첨가에 의한 조직감의 변화는 크지 않았다. 따라서, 녹두 전분의 DHT 와 MHT 의 처리는 전분의 호화특성과 녹두 전분 겔의 색과 조직감을 변화시키며 저장 기간 중 발생하는 이수 현상을 감소시키지 못하는 것으로 확인하였다.

ORCID

Ji-Hyun Lee https://orcid.org/0009-0003-2436-8715
Jong-Youn Son https://orcid.org/0000-0002-4789-5951
Jae-Yong Shim https://orcid.org/0000-0002-8042-3243

Conflict of interests

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

Acknowledgements

This work was supported by a research grant from Hankyong National University in the year of 2023.

Data availability

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

Authorship contribution statement

Conceptualization: Son JY, Shim JY.
Data curation: Lee JH, Son JY, Shim JY.
Formal analysis: Lee JH, Shim JY.
Methodology: Son JY, Shim JY.
Validation: Shim JY.
Investigation: Lee JH.
Writing - original draft: Lee JH, Shim JY.
Writing - review & editing: Lee JH, Son JY, Shim JY.

Ethics approval

Not applicable.

References

Adebowale KO, Afolabi TA, Olu-Owolabi BI. 2005. Hydrothermal treatments of Finger millet (*Eleusine coracana*) starch. Food Hydrocolloid. 19: 974-983.

Ali NA, Dash KK, Routray W. 2020. Physicochemical characterization of modification of modified lotus seed starch obtained through acid and heat moisture treatment. Food Chem. 319: 126513.

Brasoveanu M, Nemtanu MR. 2013. Behavior of starch exposed to microwave radiation treatment. Starch-Stärke. 66:3-14.

Cha JA, Cha GH, Chung LN, Kim SY, Chung YS, Yang IS.

2008. Investigation on the history of the muck (traditional starch jelly) and its processing methods reviewed in the ancient and the modern culinary literatures. J. Korean Soc. Food Cult. 23: 73-89.

Cha YH. 2017. Effect of ohmic heating on pasting property of starches. Korean J. Food Nutr. 30: 689-695.

Chang KM. 2007. Manufacturing of functionalized color mook by addition of the color and flavor from natural foods. Food Chem. 81:249-255.

Choi EJ, Oh MS. 2004. Sensory and textural characteristics of mungbean starch gels with soybean oil and sucrose fatty acid ester during room temperature storage. J. Korean Home Eco. Asso. 42: 213-227.

Choi EJ, Oh MS. 2011. Physicochemical properties of mung bean starch and texture of cold-stored mung bean starch gels added with soy bean oil. Korean J. Food Culture. 26: 513-520.

Hwang ES, Nhuan DT. 2014. Quality characteristics and antioxidant activities of Cheongpomook added with aronia (*Aronia melanocarpa*) powder. Korean J. Food Cook. Sci. 30: 161-169.

Joo NM, Chun HJ. 1991. Effect of oil addition on texture of mungbean starch gel. Korean J. Soc. Food Sci. 7: 63-69.

Kim AJ, Joung KH, Shin SM. 2011. Quality characteristics of Chungpomook using black garlic extract. J. Korea Academia-Industrial cooperation. Society. 12: 2685-2690.

Kim AJ, Lim YH, Kim MH, Kin MW. 2002. Quality characteristics of mungbean starch gels added with green tea powder. J. East Asian Soc. Diet. Life. 12:135-140.

Kim SH, An JH, Chung KH. 2013. Physicochemical and sensory properties of mooks prepared from cowpea, mungbean and allbanggae. Food Eng. Prog. 17: 226-232.

Kim YY, Woo KS, Chung HJ. 2018. Starch characteristics of cowpea and mungbean cultivars grown in Korea. Food Chem. 263: 104-111.

Lewandowicz G, Fornal J., Walowski A. 1997. Effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of potato and tapioca starches. Carbohyd. Polym. 34: 213-220.

Liang S, Su C, Saleh AS, Wu H, Zhang B, Ge X, Li W. 2021. Repeated and continuous dry heat treatments induce changes in physicochemical and digestive properties of mung bean starch. J. Food Process Pres. 45: e15281.

Lima DC, Castanha N, Maniglia NCB, Matta Junior MD, La Fuente CIA, Augusto PED. 2021. Ozone processing of cassava starch. Ozone: Sci. & Eng. 43: 60-77.

Liu K, Hao Y, Chen Y, Gao Q. 2019. Effects of dry heat treatments on the structure and physicochemical properties of waxy potato starch. Int. J. Biol. Macromol. 132: 1044-1050.

Mun SH, Kim JO, Lee SK, Shin MS. 1996. Retrogradation of sucrose fatty acid ester and soybean oil added rice flour gels. Korean J. Food Sci. Technol. 28: 305-310.

Nawaz H, Shad MA, Saleem S, Khan MUA, Nishan U, Rasheed T, Bilale M, Iqbalf, HMN. 2018. Characteristics of starch isolation from microwave heat treatment treated lotus (N*elumbo nucifera*) seed flour. Int. J. Biol. Macromol. 113: 219-226.

Oh IK, Bae IY, Lee HG. 2018. Complexation of high amylose rice starch and hydrocolloid through dry heat treatment: physical property and in vitro starch digestibility. J. Cereal Sci. 79: 341-347.

Palav T, Seetharaman K. 2007. Impact of microwave heating on the physico-chemical properties of a starch-water model system. Carbohyd. Polym. 67:596-604.

Ravi R, Manohar RS, Rao PH. 1999. Use of rapid visco analyzer (RVA) for measuring the pasting characteristics of wheat flour as influenced by additives. J. Sci. Food Agric. 79: 1571-1576.

Schoch TJ. 1964. Method in carbohydrate chemistry by Whistler RL. Academic Press, New York, NY. Vol. 4, p. 106.

Su J, Chotineeranat S, Laoka B, Chatakanonda P, Vanichsriratana W, Sriroth K, Piyachomkwan K. 2018. Effect of dry heat treatment with xanthan gum on physicochemical properties of different amylose rice starches. Starch-Stärke. 70: 1700142.

Sun Q, Si F, Xiong L, Chu, L. 2013. Effect of dry heating with ionic gums on physicochemical properties of starch. Food Chem. 136: 1421-1425.

Zhang J, Wang ZW, Shi XM. 2009. Effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of cereal starches. Carbohyd. Polym. 42: 193-199.

Zhong Y, Liang W, Pu H, Blennow A, Liu X, Guo D. 2019. Short-time microwave treatment affects the multi-scale structure and digestive properties of high-amylose maize starch. Int. J. Biol. Macromol. 137:870-877.

Zylema, BJ, Grider JA, Gordon J, Davis EA. 1985. Model wheat starch systems heated by microwave irradiation and conduction with equalized heating times. Cereal Chem. 62: 447-453.