

블랙커민 종자 분말을 첨가한 우리 밀 카스텔라의 품질 특성

김 미 정[†]

구미대학교 호텔조리제빵바리스타과 교수

Quality Characteristics of Korean Wheat Castella Supplemented with Ground Black Cumin (*Nigella sativa* L.) SeedMee-Jung Kim[†]

Professor, Dept. of Hotel Culinary Arts, Baking & Barista, Gumi University, Gumi 39213, Republic of Korea

ABSTRACT

This study examined the effects of ground black cumin (GBC) powder addition on the quality characteristics of Korean wheat (domestic wheat) castella. GBC was incorporated into castella batter at 1%–4%, and its impact on the batter properties, proximate composition, physicochemical characteristics, texture, antioxidant activity, color, and sensory attributes was evaluated. The batter density increased at higher GBC levels, with a significant rise at 4%, likely due to the reduced gluten network formation and denser air cell structures. The batter height decreased as the GBC increased, while the weight showed no significant differences. Baking loss decreased at 4% GBC, reflecting improved moisture retention. The protein content decreased slightly with GBC addition, whereas the fat and ash contents showed minor increases. The moisture content peaked at 2% GBC, suggesting that dietary fiber and fine solids in GBC stabilized the batter structure and water retention. The water activity and sweetness decreased at higher GBC contents, while the pH remained stable. The titratable acidity increased, likely due to the presence of weak acids and minerals in GBC. Color analysis suggested that the lightness and yellowness decreased as the GBC content increased, with more than 3% addition producing darker hues that may affect consumer perception. The texture parameters, including hardness, gumminess, and chewiness, increased with GBC addition, whereas the cohesiveness and springiness remained largely unchanged. The antioxidant properties, including the total polyphenol content, electron-donating ability, and catalase activity, increased at higher GBC levels. The sensory evaluation showed that 1%–2% GBC provided the best balance of color, flavor, taste, and overall acceptability, whereas 3%–4% GBC reduced the sensory scores. These results suggest that 1%–2% GBC addition optimizes the antioxidant benefits and functional properties without compromising the texture or sensory quality, providing practical guidance for developing domestic wheat-based functional baked products.

Key words: ground black cumin, Korean wheat, castella, functional properties, quality characteristics

서 론

최근 식품 분야에서는 단순한 영양 공급을 넘어, 일상적인 식품을 통해 기능성을 함께 제공하고자 하는 연구가 지속적으로 이루어지고 있다(Choi YM 등 2003; Jeong MJ 등 2013; Cheung JS & Hwang ES 2025; Kim BK & Yoon HY 2025). 이러한 흐름 속에서 천연 유래 소재의 생리활성에 대한 관심이 증가하고 있으며, 그중 블랙커민(*Nigella sativa*)은 항산화, 항염, 항균 등 다양한 생리활성이 보고된 소재로 주목받고 있다(Ali BH & Blunden G 2003; Niu Y 등 2021; Rahman AU 등 2024). 블랙커민의 주요 활성 성분인 thymoquinone과 관련된 연구는 다수 보고되고(Ali BH & Blunden G 2003; Lee SY 등 2011; Niu Y 등 2021; Rahman AU 등 2024) 있으

나, 현재까지의 활용은 주로 오일이나 추출물 형태의 건강기능식품에 집중되어 있다(Ahmad A 등 2013; Kohandel Z 등 2021). 이에 비해 분말 형태의 블랙커민을 일반 식품에 적용한 연구는 상대적으로 제한적으로 보고되고 있어, 일상적인 식품으로의 활용 가능성을 검토할 필요가 있다(Bashir KMI 등 2023; Alu'datt MH 등 2024).

한편, 국내산 밀인 우리밀은 수입밀에 비해 글루텐 함량과 반죽 강도가 낮아 제과·제빵 가공 시 품질 안정성 확보에 어려움이 있다는 물성적 한계를 지닌다(Kim SS & Chung HY 2014; Kwak HS 등 2017a; Kwak HS 등 2017b). 이러한 특성으로 인해 우리밀의 제과·제빵 활용은 제한적으로 이루어져 왔으나, 원산지에 대한 소비자 신뢰와 식량 자급률 제고 측면에서 우리밀의 활용 가치를 재조명하려는 연구가 지속되고 있다(Kim SS & Chung HY 2014; Kim JH 등 2016). 특히 글루텐 형성 의존도가 비교적 낮은 제과 제품을 중심으로 우

[†] Corresponding author : Mee-Jung Kim, Tel: +82-54-440-1358, Fax: +82-54-440-1340, E-mail: cocoa@gumi.ac.kr

리밀의 가공 적성을 검토하는 연구는, 우리밀의 물성적 특성을 고려한 현실적인 접근으로 평가될 수 있다(Chang HG & Kim JY 2004; Choi YS & Lee MH 2009; Kim JH 등 2016).

카스텔라는 반죽 내 글루텐 네트워크 형성보다는 계란 기포 구조에 의해 조직감이 형성되는 제과류(Vo TP 등 2023; Ahn JS & Yoon HH 2024)로, 밀가루의 단백질 함량 및 글루텐 강도에 대한 의존도가 상대적으로 낮다. 이러한 특성은 글루텐 함량과 반죽 강도가 낮은 우리밀을 적용하였을 때에도 제품의 기본적인 구조를 유지할 수 있는 장점으로 작용한다(Kwon MS & Lee MH 2015). 또한 카스텔라는 배합과 제조 공정이 비교적 단순하여 원료 조성 변화에 따른 이화학적 특성, 조직감 및 관능적 특성의 차이를 체계적으로 비교·분석하기에 적합한 제과 제품이다(Moiraghi M 등 2013; Kwon MS & Lee MH 2015; Vo TP 등 2023). 이에 본 연구에서는 블랙커민 파우더 첨가가 우리밀 제과제품의 품질 특성에 미치는 영향을 검토하기 위한 모델 식품으로 카스텔라를 선정하였다.

카스텔라를 적용한 선행연구로는 천연 분말 소재나 기능성 성분을 첨가하여 품질 특성을 분석한 사례가 보고되고 있으며(Park JS 등 2010; Lee SE & Lee JH 2013; Jang NH 등 2018), 양파(Jeon SS 2003), 빵잎(Choi GY 등 2007), 죽(Choi HI 2016), 흑마늘(Jung JY 등 2010), 홍삼(Seo EO 등 2015) 등 다양한 천연 분말을 1~3% 수준으로 첨가할 때 항산화 활성이 증가하고, 조직감과 풍미가 유지된다고 하였다. 그러나 블랙커민을 적용한 연구는 찾아보기 어려우며, 우리밀을 기반으로 한 연구는 매우 드문 실정이다. 블랙커민 또한 thymoquinone과 다양한 활성 성분을 포함하여 항산화, 항염, 항균 등의 기능성(Ali BH & Blunden G 2003; Niu Y 등 2021; Rahman AU 등 2024)을 기대할 수 있으나, 분말 형태를 일반 제과 제품에 적용한 연구는 거의 없으며, 특히 글루텐 함량이 낮은 우리밀 카스텔라 제조 연구는 매우 드문 실정이다.

따라서 본 연구에서는 블랙커민 파우더를 1~4% 수준으로 첨가하여 우리밀 카스텔라를 제조하고, 첨가 수준에 따른 이화학적 특성, 조직감, 색도 및 관능적 특성 변화를 평가하였다. 이를 통해 블랙커민 파우더 첨가가 우리밀 카스텔라의 품질 특성에 미치는 영향을 기초적으로 검토하고, 우리밀 제과 제품에 기능성 소재를 적용할 수 있는 가능성을 탐색하여 향후 기능성 제과류 개발을 위한 기초 자료를 제공하는 데 목적이 있다.

재료 및 방법

1. 재료

블랙커민 씨앗의 분말은 2024년에 생산된 것으로 수분 5.5%, 탄수화물 35%, 식이섬유 7%, 단백질 20%, 지방 37.5%,

회분 5%의 제품(Amazing Herbs, Buford GA, USA)을 구매하였으며, 빛의 차단과 공기접촉을 막을 수 있는 밀폐 용기에 담아 온도 4℃, 상대습도 40~60%의 어두운 곳에서 보관(Houghton PJ 등 1995; Ali BH & Blunden G 2003)하였으며 실험기간 동안 동일 조건을 유지하였다. 밀가루는 국내산 박력분(Jirisan Urimil Agri Co, Republic of Korea)을 사용하였고, 달걀은 동물복지 유정란(Pulmuone Foods Co., Ltd, Seoul, Republic of Korea)을 사용하였다. 또 백설탕(Cheil-Jedang Corporation, Republic of Korea), 우유(Seoul Dairy Cooperative, Republic of Korea), 버터(Isigny Sainte-Mère Cooperative, France), 물엿(Chung Jung One, Seoul, Republic of Korea)을 구입하여 사용하였다.

2. 카스텔라의 제조

블랙커민 씨앗 분말(ground black cumin seed; GBC)의 첨가는 밀가루 양을 기준으로 1~4% 범위, 카스텔라 제품을 기준으로 0.25~1.00%(w/w)의 범위가 되도록 1% 간격으로 첨가하여 공립법으로 제조하였다(Table 1). 블랙커민의 첨가량은 Al-Attas SA 등(2016)과 Mahmoudian A 등(2025), Huda K 등(2015)의 임상적 결과를 고려하여 결정하였다. 즉, 밀가루에 대한 GBC의 첨가율을 1~4%로 조정함으로써 구워낸 카스텔라의 GBC 함유율을 0.25~1.00%로 조정하였다. 달걀과 설탕 및 물엿을 반죽기(Vertical, NVM-16, Daeyung, Korea & Spamixer 502, Taiwan)에 넣고 2단에서 30초, 3단과 5단에서 3분간 혼합한 후 두 번 체 친 밀가루와 GBC를 넣어 잘 섞고 미리 유향한 우유와 버터를 천천히 첨가하였다. 이 반죽을 카스텔라 틀(36 × 26 × 5 cm)에 담고 5 cm 높이에서 바닥으로 2회 쳐 표면의 큰 기포를 제거한 후 160℃ 오븐(NSO-96,

Table 1. Ingredients and amounts of Korean wheat castella supplemented with ground black cumin seed

Ingredients	Addition rate of GBC against wheat flour (%)				
	0	1 (0.25) ²⁾	2 (0.51)	3 (0.76)	4 (1.00)
Wheat flour (g)	300	297	294	291	288
GBC ¹⁾ (g)	0	3	6	9	12
Egg (g)	500	500	500	500	500
Sugar (g)	250	250	250	250	250
Corn syrup (g)	100	100	100	100	100
Milk (mL)	120	120	120	120	120
Butter (g)	100	100	100	100	100

¹⁾ GBC: Ground black cumin seed.

²⁾ The parentheses indicate the GBC content rate (% w/w) per 100 g of castella applied baking loss values in Table 2.

Daeyung, Korea)에서 40분간 구웠다.

3. 비중, 높이 및 굵기 손실률의 측정

카스텔라의 비중은 Campbell AM 등(1979)의 방법에 따라 패닝 직전에 측정하였으며, 케이크 반죽의 무게를 같은 양의 물 무게로 나눈 값으로 나타내었다. 높이는 Cloke LD 등(1984)의 방법에 따라 눈금자를 이용하여 단면의 높이를 측정하였다. 굵기 손실률(%)은 완성된 카스텔라의 굵기 전의 중량과 구운 후의 중량 차이를 퍼센트(%)로 나타내었다.

4. 일반성분 함량, 수분활성도, pH, 산도, 당도 및 색도의 측정

일반성분 함량은 AOAC(1990)에 따라 수분은 110°C의 상압 가열건조법, 단백질은 질소계수 6.25를 적용한 micro-Kjeldahl 법, 지방은 petroleum ether를 용매로 하는 Soxhlet 추출법으로, 회분은 600°C의 직접 회화법으로 각각 측정하였다. 수분활성도(Aw)의 측정은 water activity measurement (Labmaster-aw, Bsfu Co., Ltd, Seoul Korea)를 사용하여 측정하였다. pH는 pH meter(Model 250; Beckman Coulter Inc, Fullerton, CA, USA)로, 적정산도는 pH 8.2에 도달할 때가 소비되는 0.1N-NaOH(f: 1.0000)의 소비량을 젖산량으로 환산하여 mg%로 나타내었다. 당도는 디지털 당도계(PR-32a, MBI, Korea)를 사용하여 측정하였다. 색도는 카스텔라 절단부 중앙 부위에 대하여 Hunter의 L*(lightness), a*(redness or greenness), b*(yellowness or blueness) 값을 Chroma meter(CR-300, Minolta Corp, Osaka, Japan)를 사용하여 측정하였다. 이때, Minolta 교정판(YCIE=94.5, XCIE=0.3160, YCIE=0.330)과 Hunter Lab 표준판(D65, L*=97.51, a*=-0.18, b*=+1.67) 및 조명으로 기기를 표준화하여 측정하였다.

5. 텍스처

카스텔라의 가운데 부분을 4 × 4 × 5 cm 크기로 자른 후 texture analyzer(TA-XT2, Stable Micro System, Haslemere, England)를 이용하여 경도(hardness), 점착성(adhesiveness), 응집성(cohesiveness), 탄력성(springiness), 점성(gumminess) 및 씹힘성(chewiness)를 각각 측정하였다. 이때 Plunger는 지름 2.0 mm의 cylindrical type을 사용하였고 test speed는 0.2 mm/sec, 변형률은 99.9%로 하였다.

6. 총 Polyphenol 함량, 전자공여능 및 Catalase 활성도 측정

총 polyphenol 함량은 Yoon SJ 등(2016)의 방법을 변형하여 카스텔라 10 g에 70% ethanol 100 mL을 가하여 80°C에서 3회 환류 냉각 추출한 후 Whatman No. 3 여과지로 여과한

다음 동일용매로 100 mL로 정용하여 측정용 시료로 사용하였으며, 추출액 각 100 µL에 2% sodium carbonate 2 mL와 50% Folin-Ciocalteu reagent(Sigma-Aldrich Corporation, St. Louis, MO, USA) 100 µL를 가한 후 720 nm에서 흡광도를 측정하였다. 다음에 무수 gallic acid(Sigma-Aldrich Corporation, St. Louis, MO, USA)를 표준물질로 한 검량선에 의하여 함량 산출하여 mg/g으로 나타내었다.

전자공여능(electron donating ability)은 Blois MS(1958)의 방법에 따라 총 polyphenol 추출액 200 µL에 0.4 mM DPPH (1,1-diphenylpicrylhydrazyl) 용액 800 µL을 가한 후 Vortex mixer로 10초간 진탕하고 10분간 방치 후 분광광도계를 사용하여 525 nm에서 흡광도를 측정, 시료의 DPPH에 대한 환원력을 측정하였으며, 계산식, 전자공여능(%) = [1 - (시료의 흡광도 / 대조구의 흡광도)] × 100에 의하여 %로 나타내었다.

Catalase의 활성은 Aebi H(1984)의 방법에 따라 카스텔라의 50 mM potassium phosphate buffer(pH 7.0) 추출물이 기질인 10 mM H₂O₂의 환원되는 정도를 파장 240 nm에서 흡광도 변화를 읽고 분자흡광계수 0.041 mM⁻¹cm⁻¹을 이용하여 활성도를 산정하였다. 효소활성 단위는 H₂O₂ µmole/mg protein/min로 나타내었다.

7. 관능검사

관능검사는 평소 제과제빵 식품을 자주 섭취하는 제과 제빵 전공 대학생(남 10명, 여 10명)을 panel로 선정하여, 본 실험의 목적과 평가 방법 및 측정 항목에 대해 잘 인지할 수 있도록 설명한 후 주 1회씩 3회에 걸쳐 시판되고 있는 카스텔라를 시료로 예비평가 훈련과 맛에 대한 특성을 교육하였다. 또 외부 자극을 최소화할 수 있는 관능검사실에서 실시하였다. 시료는 10 × 10 cm로 잘라 접시에 제공하였으며 시료에 대한 선입견을 배제하기 위하여 3자리 번호로 무작위 배열하여 제공하였다. 평가 후에는 입 안을 생수로 헹군 후 다음 시료를 평가하도록 하였다. 평가항목은 카스텔라의 겉질과 속의 색상, 맛, 향, 촉촉함, 씹힘성 및 종합적인 기호도를 5점 척도법의 매우 나쁘다(1점), 나쁘다(2점, 보통이다(3점), 좋다(4점), 매우 좋다(5점)로 평가하였다.

8. 통계처리

모든 실험은 3회 반복으로 실험하였으며, 결과는 SPSS (Ver. 12, Chicago, IL, USA)를 사용하여 분석하였다. 시료들 사이의 차이 여부는 일원 분산분석(one-way ANOVA)을 통해 검정하였으며, 유의 수준은 p<0.05로 설정하였다. 시료 간 구체적인 차이는 Duncan의 다중범위검정(Duncan's multiple test)을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 반죽의 비중, 중량, 높이 및 굽기 손실률

블랙커민의 첨가에 따른 우리밀 카스텔라 반죽의 비중, 중량, 높이 및 굽기 손실률을 측정된 결과는 Table 2와 같다. 반죽의 비중은 같은 부피의 반죽과 물에 대한 중량비로, 반죽 내 공기 포집 정도를 정량적으로 나타내는 지표로 카스텔라의 품질을 결정하는 핵심 공정 변수로 활용된다(Lee JS 등 2009; Noorlaila A 등 2017). 블랙커민 씨앗의 분말(GBC)을 밀가루에 대하여 1~4% 범위로 첨가하였을 때의 비중은 무첨가 0.58 g/mL보다 높은 0.61~0.68 g/mL로 높아지는 경향을 보였으나 1~3% 첨가는 무첨가와 차이를 보이지 않았으나 4% 첨가에서는 유의적인($p<0.05$) 차이를 보였다. 이와 같은 결과는 GBC가 반죽의 글루텐 구조를 약화하여 공기를 포집하는 힘을 떨어뜨리는 현상으로 보인다. 빵잎 분말을 첨가한 빵 반죽(Choi GY 등 2007)에서도 첨가량의 증가에 따라 글루텐 형성을 저해하여 망상구조가 불연속적이며 파열된 상태를 나타내며 가스 보유력도 약화하였다. 본 실험에서는 GBC의 첨가량에 해당하는 양만큼 밀가루 양을 줄인 것이 다소 영향을 주었다고 판단된다. 카스텔라의 무게는 GBC를 첨가한 경우가 무첨가보다 다소 높아지는 경향을 보였으나 유의성은 없었으며, 높이는 첨가율의 증가에 따라 감소하는 ($p<0.05$) 경향으로 3~4% 첨가에서는 1~2% 첨가 경우보다 낮은 값을 나타내어 GBC의 첨가로 글루텐 형성이 저해되는 것으로 판단되나 기공이 무첨가보다 치밀하였다. 첨가군의 굽기 손실률은 1~3% 첨가범위에서는 무첨가와 유의 차이를 보이지 않았으나 12.7~13.9% 범위로 무첨가 14.6%보다 낮았다. 굽기 손실은 주로 수분 증발에 의한 현상으로

GBC의 첨가에 의한 반죽의 비중 증가와도 관련이 있으며 (Kim YH & Cho NJ 2010; Lee JH 2015), GBC의 첨가로 수분 보유력은 높아지는 것으로 판단되며, 천마 분말을 첨가한 빵 반죽 특성(Kim HJ 등 2001) 및 당귀 분말을 첨가한 빵 반죽의 품질특성(Shin GM & Kim DY 2008)에서도 같은 결과를 보였다.

이상의 결과, 밀가루에 대한 GBC의 4% 첨가는 카스텔라 반죽의 글루텐 형성을 약화하나 기공은 치밀해지며, 비중과 수분보유력을 높여 굽기 손실률이 감소하나 1~3% 범위의 첨가는 비중과 굽기 손실률에서 무첨가와 유의적인 차이를 보이지 않았다.

2. 일반 성분 함량

GBC를 첨가한 카스텔라의 일반 성분함량을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 무첨가의 수분함량은 32.00%, 1~4% 첨가구는 30.82~33.80%로 첨가로 뚜렷한 경향을 보이지 않았으나 2% 첨가에서 33.80%로 다소 높았다. 이 결과는 GBC의 첨가량에 따른 수분의 거동이 단순한 수분보유력 증가로 설명되기 어렵다는 것을 말한다. 즉 GBC 1% 첨가는 반죽 내 수분과의 결합에 충분히 이바지하지 못하고 오히려 기포 안정성을 저하하여 굽기 중 수분 손실이 증가한 것이라 판단된다. 반면에 2% 첨가에서는 GBC에 함유된 식이섬유를 비롯한 미세 고형분이 반죽 내의 수분과 충분히 결합하여 자유수의 이동성을 효과적으로 제한하고 동시에 반죽 구조가 안정화되면서 수분 보유가 높아진 것으로 해석된다. GBC 3~4% 첨가에서는 반죽의 점도가 과도하게 증가하는 현상이 관찰되었다. 이는 기공의 치밀화로 인해 열전달 효율이 높아져 결과적으로 굽기 과정 중에 수분 증발이 촉진되었을 가능성

Table 2. Specific gravity, weight, height and baking loss of Korean wheat castella supplemented with ground black cumin seed

Addition rate of GBC ¹⁾ against wheat flour (%)	Specific gravity (g/mL)	Castella weight (g)	Height (cm)	Baking loss (%)
0	0.58±0.03 ^{bc3)}	1,178±12 ^{NS4)}	6.12±0.4 ^a	14.6±0.6 ^a
1 (0.25) ²⁾	0.61±0.02 ^b	1,180±10	5.90±0.3 ^a	13.9±0.6 ^{ab}
2 (0.51)	0.62±0.03 ^b	1,183±12	5.82±0.3 ^{ab}	13.6±0.5 ^{ab}
3 (0.76)	0.65±0.02 ^{ab}	1,186±24	5.30±0.2 ^b	13.4±0.5 ^{ab}
4 (1.00)	0.68±0.02 ^a	1,189±15	4.64±0.1 ^c	12.7±0.5 ^b
<i>F</i> value	8.6	-0.4	24.9	9.8
(<i>p</i> value)	(0.0049)	(0.79) ^{NS}	(<0.0001)	(0.0031)

¹⁾ GBC: Ground black cumin seed.

²⁾ The parentheses indicate the GBC content rate (% w/w) per 100 g of castella applied baking loss values in Table 2.

³⁾ Values are mean±standard deviations of triplicate determinations, and different superscripts within a column indicate significantly different.

⁴⁾ NS: Not significant.

Table 3. General ingredients of Korean wheat castella supplemented with ground black cumin seed

General ingredients	Addition rate of GBC ¹⁾ against wheat flour (%)					F value (p value)
	0	1 (0.25) ²⁾	2 (0.51)	3 (0.76)	4 (1.00)	
Moisture (%)	32.00±0.04 ^{a3)}	31.38±0.14 ^b	33.80±0.14 ^a	32.19±0.83 ^a	30.82±0.17 ^c	3.4 (0.048)
Protein (%)	8.01±0.20 ^a	7.52±0.25 ^b	7.43±0.31 ^c	7.30±0.22 ^c	7.24±0.08 ^c	22.6 (<0.0001)
Fat (%)	10.70±0.15 ^a	10.22±0.27 ^c	10.07±0.19 ^c	10.62±0.09 ^b	10.71±0.15 ^b	5.3 (0.011)
Ash (%)	0.65±0.02 ^b	0.75±0.04 ^a	0.73±0.02 ^a	0.73±0.02 ^a	0.70±0.02 ^a	8.9 (0.004)

¹⁾ GBC: Ground black cumin seed.

²⁾ The parentheses indicate the GBC content rate (% w/w) per 100 g of castella applied baking loss values in Table 2.

³⁾ Values are mean±standard deviations of triplicate determinations, and different superscripts within a column indicate significantly different.

이 크다. 따라서 GBC의 수분 보유 효과는 첨가량에 비례하지 않을 수 있으며 최적 첨가량을 초과하면 오히려 역효과가 발생할 수 있음을 보여준다.

단백질 함량은 GBC의 첨가량 증가에 따라 무첨가 8.01%에서 1~4% 첨가 7.24~7.52%로 유의하게 감소($p<0.05$)하였다. 지방 함량은 무첨가 10.70% 1~4% 첨가 10.07~10.71%, 회분 함량은 무첨가 0.65%, 1~4% 첨가 0.70~0.75%로 증가의 폭은 크지 않았으나 유의적인 변화를 보였다. 이러한 현상은 사용한 GBC의 일반성분 함량(수분 5.5%, 탄수화물 35%, 식이섬유 7%, 단백질 20%, 지방 37.5%, 회분 5%)과 해당량만큼 밀가루 양을 줄인 데서 온 결과라 생각된다. 특히, 단백질의 감소가 뚜렷한 것은 GBC의 첨가로 인한 회석효과(Kamandloo F 등 2023)로 판단되며, 또 GBC 첨가에서 회분의 함량이 다소 높은 현상은 밀가루에서보다 향신료나 식물성 증자에서 상대적으로 회분 함량이 높다는 결과(Joshi AU 등 2015; Ullah F 등 2016; Saad SS 등 2021)와 관련이 있을 것으로 보인다.

이는 GBC가 기능성을 부여하는 외에도 수분보유력과 반죽의 구조 형성 그리고 자체 지질 및 무기질 함량에 영향을 미칠 수 있다. 특히, 밀가루 대비 2% 수준의 첨가는 수분보유력 증가와 무기질 강화 측면에서 긍정적인 첨가 수준으로 판단되며, 이를 초과하면 반죽의 구조 변화로 수분함량 감소 및 성분의 균형 변화를 초래할 가능성이 있는 것으로 판단된다.

3. 수분활성도, 당도, pH, 산도

GBC의 첨가에 따른 우리밀 카스텔라의 수분활성도(Aw), 당도, pH 및 산도 변화를 측정된 결과는 Table 4와 같다. 수분활성도(Aw), 당도 및 적정산도는 GBC의 첨가 수준에 따

라 통계적으로 유의한 차이를 나타냈지만($p<0.05$), pH는 처리구 간의 유의적인 변화가 관찰되지 않았다. Aw는 무첨가구에서 0.93으로 가장 높게 나타났으며, GBC의 첨가량이 증가함에 따라 0.68까지 단계적으로 유의하게 감소($p<0.05$)하였다. 이는 GBD에 함유한 섬유소를 비롯한 성분들의 수분 결합력에 의한 효과라 생각된다(Yeom KH 등 2016). Aw의 감소는 GBC에 함유된 tyoquinone의 항미생물 효과(Agarwal R 등 1979)와 함께 카스텔라의 저장성 향상에도 긍정적인 효과가 기대된다. 당도 또한 GBC의 첨가량 증가에 따라 7.23%에서 6.20%로 유의적으로 감소하였다($p<0.05$). 이는 밀가루 대비 가용성 고형분 함량이 상대적으로 낮은 데서 온 결과라 판단된다. 반면, pH는 모든 처리에서 5.07~5.13 범위로 유지되었으며, 첨가량 증가에 따른 통계적 유의차는 나타나지 않았다. 이는 GBC 첨가가 반죽의 산-염기 평형에는 유의미한 영향을 미치지 않음을 의미하며 카스텔라 외에 미생물을 이용하는 발효에서도 긍정적인 효과를 미칠 수 있을 것으로 생각된다.

pH의 변화가 없음에도 적정산도는 첨가량 증가에 따라 16.0 mg%에서 19.5 mg%로 유의적인 증가($p<0.05$)를 보였다. 이러한 산도의 증가는 GBC에 함유한 약산과 무기질이 생성한 염류의 완충작용에 의한 영향으로 보인다(Sadler GD & Murphy PA 2010). 이상의 결과, GBC의 첨가로 Aw의 감소, 산도 증가, 당도 감소가 관찰되었으며, 이는 제품 특성의 물리화학적 균형변화를 반영한다. 특히 Aw 감소와 산도 상승은 저장성 및 안전성 측면에서 긍정적 요인으로 작용할 수 있으나, 당도의 감소는 기호도 저하의 가능성이 있다. 따라서 1~2% 수준의 첨가가 품질 특성과 보존성 간 균형을 확보할 수 있는 범위로 판단된다.

Table 4. Water activity, brix degree, pH and titratable acidity of Korean wheat castella supplemented with ground black cumin seed

Addition rate of GBC ¹⁾ against wheat flour (%)	Aw	Brix degree (%)	pH	Titratable acidity (mg%, as lactic acid)
0	0.93±0.05 ^{a3)}	7.23±0.31 ^a	5.10±0.12 ^{NS4)}	16.0±2 ^{NS}
1 (0.25) ²⁾	0.85±0.03 ^{ab}	7.13±0.63 ^a	5.07±0.09	16.2±3
2 (0.51)	0.80±0.02 ^b	6.43±0.29 ^b	5.13±0.14	18.4±4
3 (0.76)	0.75±0.02 ^c	6.33±0.23 ^b	5.08±0.10	19.3±3
4 (1.00)	0.68±0.03 ^d	6.20±0.80 ^b	5.10±0.13	19.5±2
<i>F</i> value	46.8	3.02	0.19	6.87
(<i>p</i> value)	(<0.0001)	(0.062) ^{NS}	(0.94) ^{NS}	(0.006)

¹⁾ GBC: Ground black cumin seed.

²⁾ The parentheses indicate the GBC addition rate (% w/w) per 100 g of castella applied baking loss values in Table 2.

³⁾ Values are mean±standard deviations of triplicate determinations, and different superscripts within a column indicate significantly different.

⁴⁾ NS: Not significant.

4. 색상

GBC를 첨가한 우리 밀 카스텔라의 색상을 측정된 결과는 Table 5와 같다. 명도(L*)는 첨가량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 무첨가의 L*값은 77.32이었으나 4% 첨가에서는 63.51까지 감소($p<0.05$)하여 어두운 색조가 강했다. 이는 GBC의 황갈색 색소 성분의 영향으로 보인다. 또한, 카스텔라 제조 공정 중 열처리 과정에서 일어나는 갈변반응에 의하여 일부 명도 감소에 영향을 미친 것이라 판단된다. a*값(redness)은 0~4% 첨가 모두에서 -값을 나타내었으며 첨가량 증가에 따라 절댓값이 감소하는 경향으로 녹색 기운이 점차 약해지고 적색 성분이 상대적으로 증가하는 경향이 관찰

되었다. 이는 블랙커민의 황적색 성분이 기존 반죽의 녹색 기여도를 희석하는 효과가 반영된 것으로 변화폭이 크지 않은 점을 고려할 때 소비자 시각적 인지 측면에서는 제한적일 가능성도 존재한다. 반면에 b*값(yellowness)은 무첨가 37.12, 4% 첨가 26.07로 첨가량 증가에 따라 황색도가 감소($p<0.05$)하였다. 이는 GBC 첨가로 카스텔라 고유의 황색 톤이 희석되거나 반죽 색상과의 상호작용으로 색조 균형이 변화한 결과라 판단된다. 또한 제조과정에서 Maillard 반응이 진행되더라도 GBC의 자체 고형분이 b*값의 감소에 영향을 미쳤을 가능성도 있다.

즉, GBC 첨가량이 증가할수록 카스텔라의 명도와 황색도

Table 5. Color of Korean wheat castella supplemented with ground black cumin seed

Addition rate of GBC ¹⁾ against wheat flour (%)	L* value (lightness)	a* value (redness)	b* value (yellowness)
0	77.32±0.49 ^{a3)}	-3.09±0.03 ^c	37.12±0.12 ^a
1 (0.25) ²⁾	72.09±0.40 ^b	-2.60±0.02 ^d	34.95±0.07 ^b
2 (0.51)	67.99±0.38 ^c	-2.20±0.03 ^c	30.82±0.04 ^c
3 (0.76)	66.24±0.09 ^d	-1.81±0.41 ^b	30.96±0.78 ^c
4 (1.00)	63.51±0.51 ^e	-1.16±0.00 ^a	26.07±0.16 ^d
<i>F</i> value	512.6	86.4	203.9
(<i>p</i> value)	(<0.0001)	(<0.0001)	(<0.0001)

¹⁾ GBC: Ground black cumin seed.

²⁾ The parentheses indicate the GBC addition rate (% w/w) per 100 g of castella applied baking loss values in Table 2.

³⁾ Values are mean±standard deviations of triplicate determinations, and different superscripts within a column indicate significantly different.

가 감소하며, 시각적으로는 더 짙고 둔탁한 갈색 계열의 색조를 띄었다. 이는 제품의 차별화 측면에서 긍정적 요소로 작용할 수도 있으나, 소비자 선호도 측면에서는 명도 저하가 구운 정도의 과다로 인식될 가능성이 있으므로 GBC 3% 이상의 첨가는 색도의 특성이 지나치게 어두워져 시각적 품질 저하 요인이 될 수 있으며 외관 안정성과 색도 균형 측면에서 이보다 낮은 수준의 첨가가 적정 범위로 판단된다.

5. 텍스처

GBC 첨가에 따른 우리밀 카스텔라의 텍스처 변화를 분석한 결과는 Table 6과 같다. Hardness, gumminess 및 chewiness를 중심으로 유의적인 변화가 확인되었다. Hardness는 무첨가에서 1,175 g을 나타냈지만, 첨가량 증가에 따라 유의적으로 ($p<0.05$) 상승하여 4% 첨가에서는 1,971 g으로 나타났다. 이는 GBC가 고형분 비율을 증가시켜 반죽의 구조가 조밀해지고 글루텐 결합구조가 부분적으로 방해되는 동시에 섬유질과 미세 분말이 충전재로 작용하여 반죽 내부 기공 크기가 감소하여 기계적 압축 저항이 높아졌기 때문이라 판단된다. 단단함과 응집성을 나타내는 gumminess도 첨가량 증가와 함께 608.73 g에서 1,019.65 g으로 높아지는 경향을 보였다. Cohesiveness의 변화가 크지 않음에도 gumminess 상승하는 현상은 조직이 쉽게 부서지지 않으나 내부 저항이 증가하여 씹는 과정에서 부담감을 주는 식감으로 변화했음을 의미한다.

이러한 변화는 카스텔라의 부드러운 식감과 대비되는 특성으로 기능성 부여 제품 또는 식감 변화를 용인하는 프리미엄 제품에 적합할 수 있으나 전통적 기호를 목표로 할 경우는 제한점이 될 수 있다. Chewiness 역시 hardness 및 gumminess 변화와 유사하게 첨가량 증가에 따라 증가하였다. 이는 저작 과정에서 요구되는 에너지의 증가를 의미하며, 증가한 고형분 및 밀집된 조직 구조가 저작 저항성을 높이는 결과로 해석된다. 특히, 3~4% 첨가에서 씹힘성이 급격하게 증가한 점은 기호적 식감 저하 가능성을 나타낸다. 따라서 씹힘성 측면에서도 2% 이하 첨가가 감각적 수용 범위 내에서의 적정 수준으로 판단된다. 반면, cohesiveness와 springiness는 첨가량에 따른 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 GBC 첨가가 반죽 내부의 점탄성 구조를 결정하는 글루텐 network의 결합 형태 자체를 크게 변화시키기보다는 고형분의 비율을 높임으로써 구조 밀도가 변화한 근거로 해석된다. Springiness는 반죽이 외력에 의해 변형된 후 원래 형태로 회복하는 능력으로 GBC 첨가영향이 보이지 않아 압축 저항과 저작 부담과 같은 기계적 강도를 증가시킨 것으로 볼 수 있다. Adhesiveness는 첨가 구간 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다.

텍스처 분석 결과, GBC 첨가는 카스텔라의 조직이 단단해지고 저작 부담은 증가하였다. 이러한 물성 변화는 건강 기능성 이미지를 강화한 제품 또는 기호도가 높은 목직 식감의 베이커리 제품군에 적합할 수 있다. 전통적 카스텔라의

Table 6. Textural characteristics of Korean wheat castella supplemented with ground black cumin seed

Attributes	Addition rate of GBC ¹⁾ against wheat flour (%)					F value/ p value
	0	1 (0.25) ²⁾	2 (0.51)	3 (0.76)	4 (1.00)	
Hardness (g)	1,175±152 ³⁾	965±164 ^d	1,290±178 ^c	1,612±124 ^b	1,971±109 ^a	28.7 (<0.0001)
Adhesiveness (mJ)	0.19±0.04 ^{NS4)}	0.22±0.08	0.28±0.09	0.16±0.08	0.16±0.08	0.8 (0.54) ^{NS}
Cohesiveness	0.53±0.03 ^{NS}	0.50±0.02	0.53±0.00	0.50±0.02	0.52±0.07	0.3 (0.86) ^{NS}
Springiness (mm)	8.24±0.52 ^{NS}	8.09±0.47	8.18±0.13	8.07±0.14	8.01±0.10	0.4 (0.78) ^{NS}
Gumminess (g)	608±101 ^c	678±86 ^c	682±95 ^c	811±111 ^b	1,019±174 ^a	16.9 (<0.0001)
Chewiness (mJ)	48.8±6.6 ^b	48.2±8.3 ^b	54.8±8.08 ^b	64.2±8.7 ^{ab}	77.5±13.9 ^a	5.1 (0.016)

¹⁾ GBC: Ground black cumin seed.

²⁾ The parentheses indicate the GBC addition rate (% w/w) per 100 g of castella applied baking loss values in Table 2.

³⁾ Values are mean±standard deviations of triplicate determinations, and different superscripts within a column indicate significantly different.

⁴⁾ NS: Not significant.

Table 7. DPPH scavenging capacity, total polyphenol content, and catalase activity of Korean wheat castella supplemented with ground black cumin seed

Addition rate of GBC ¹⁾ against wheat flour (%)	Total polyphenol (mg/g)	Electron donating ability (% inhibition)	Catalase activity (H ₂ O ₂ μmole/mg protein/min)
0	63.38± 1.09 ^{c3)}	41.96±1.34 ^c	0.16±0.01 ^c
1 (0.25) ²⁾	88.18±12.09 ^b	71.73±1.34 ^b	0.20±0.02 ^b
2 (0.51)	97.65± 9.99 ^b	73.75±1.99 ^b	0.24±0.02 ^b
3 (0.76)	110.63±10.56 ^b	74.46±2.03 ^{ab}	0.27±0.03 ^{ab}
4 (1.00)	139.84±12.09 ^a	77.57±1.89 ^a	0.30±0.03 ^a
<i>F</i> value (<i>p</i> value)	56.3 (<0.0001)	145.2 (<0.0001)	38.6 (<0.0001)

¹⁾ GBC: Ground black cumin seed.

²⁾ The parentheses indicate the GBC addition rate (% w/w) per 100 g of castella applied baking loss values in Table 2.

³⁾ Values are mean±standard deviations of triplicate determinations, and different superscripts within a column indicate significantly different.

부드러운 조직감을 유지하기 위해서는 첨가량 1~2% 수준이 물성 균형 측면에서 적정 범위라 생각된다.

6. 총 Polyphenol 함량, 전자공여능 및 Catalase 활성

GBC의 첨가에 따른 총 폴리페놀 함량과 전자공여능 및 catalase 활성변화를 측정한 결과는 Table 7과 같다. 총 폴리페놀 함량은 무첨가 63.38 mg/g, 1~3% 첨가 88.18~110.63 mg/g, 4% 첨가에서 139.84 mg/g으로 첨가량의 증가에 따라 높아지는 ($p<0.05$) 경향을 보였으나 1~3% 첨가에서는 상호 유의적인 차이를 보이지 않았다.

전자공여능도 무첨가에서는 41.96%로 가장 낮았으나 1~3% 첨가에서는 상호 유의적인 차이가 없이 71.73~74.46%를 보였다가 4% 첨가에서 77.57%로 가장 높았다. 이는 Kanter M 등(2006)이 블랙커민유의 항산화 실험에서도 나타난 결과와 유사하며 블랙커민유에 함유하는 flavonoid 성분을 비롯한 polyphenol 화합물과 thymoquinone과 같은 성분들의 영향이라 생각된다.

Catalase 활성도 GBC 첨가량의 증가에 따라 점진적인 증가 경향을 보였다. 1~3% 첨가에서는 무첨가 0.16 μmole/mg protein/min보다 유의적($p<0.05$)으로 높은 0.20~0.27 μmole/mg protein/min을 나타내었다. 이같이 블랙커민의 첨가는 제품 내의 항산화 성분의 함량 증대와 함께 전자공여능 및 catalase의 활성을 높임으로써 블랙커민이 다양한 성인병 예방과 치유에 효과를 나타낸다는 연구 결과(Abdelmeguid NE 등 2010; Abd-ElBaset M 등 2017)를 뒷받침한다.

7. 관능적 품질

GBC의 첨가에 따른 우리 밀 카스텔라의 색상과 수분의 정

도, 씹힘성과 맛 및 종합적 기호도를 평가한 결과는 Table 8과 같다. Crust color 및 crumb의 색상에 대한 평가는 GBC첨가 수준 증가에 따라 전반적으로 감소하는($p<0.05$) 경향을 보였으며, 특히 3%와 4% 첨가구에서 유의적으로($p<0.05$) 낮은 평가를 받았다. 이는 GBC에 포함된 색소 성분 또는 열처리 과정 중 비효소적 갈변 반응이 외관과 색도에 영향을 미쳤기 때문이라 생각된다. 특히 고농도 첨가 시 색상이 과도하게 어두워지거나 불균일해질 경우 시각적 기호도가 감소할 수 있다는 기존 연구 결과(Choi GY 등 2007; Jung JY 등 2010; Seo EO 등 2015; Choi HI 2016)와도 유사한 경향을 보였다. 향과 맛의 경우 무첨가와 1%, 2% 첨가 구에서는 비교적 유사한 점수가 나타났지만 3% 이상 첨가 시는 점수가 유의적으로 감소하는 경향을 보였다($p<0.05$). 이는 GBC를 3% 이상 첨가 시 특유의 향미성분이 제품의 기본적인 맛이나 풍미의 균형을 저해했을 가능성을 나타낸다. 반면에 1~2% 첨가 수준에서는 오히려 flavor 점수가 무첨가보다 높게 평가된 항목도 관찰되어, 적정 첨가 수준에서는 관능적 복합성이 향상될 수 있음을 알 수 있다. Moistness와 chewiness는 비교적 일관된 점수 분포를 나타냈으며, 대부분의 처리에서 통계적으로 유의한 차이가 크지 않거나 유의성을 보이지 않았다. 이는 GBC 첨가가 제품의 수분감이나 조직감에 미치는 영향은 제한적인 수준임을 의미하며, 구조적 물성 변화보다는 주로 향미 및 외관 특성에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

종합적 기호도(overall acceptance)는 1~2% 첨가에서 가장 큰 값을 나타내었으며, 3% 이상 첨가 시 급격히 감소하는 경향을 보였다($p<0.05$). 특히 4% 첨가는 모든 관능 항목에서 상대적으로 낮은 점수를 나타내었는데 고농도의 GBC 첨가는 기호도에 부정적인 영향을 미침을 알 수 있다.

Table 8. Sensory quality of Korean wheat castella supplemented with ground black cumin seed

Attributes	Addition rate of GBC ¹⁾ against wheat flour(%)					F value/ p value
	0	1 (0.25) ²⁾	2 (0.51)	3 (0.76)	4 (1.00)	
Crust color	4.45±1.05 ^{a3)}	4.12±0.31 ^b	4.21±0.32 ^b	3.21±0.29 ^c	2.85±1.05 ^d	14.2 (0.001)
Interior color	4.30±0.42 ^a	4.20±0.23 ^a	3.95±0.32 ^b	3.00±0.83 ^c	2.56±0.32 ^c	23.1 (<0.001)
Flavor	3.20±0.35 ^c	4.52±0.37 ^a	4.20±0.62 ^b	3.32±0.47 ^c	2.67±0.21 ^d	32.5 (<0.001)
Taste	4.00±0.35 ^a	4.00±0.56 ^{ab}	3.85±0.46 ^b	3.60±0.58 ^b	3.16±0.11 ^c	8.2 (0.04)
Moist level	3.85±0.52 ^{NS}	3.92±0.84	4.01±0.37	4.00±0.19	4.20±0.57	2.3 (0.12) ^{NS4)}
Chewiness	3.20±0.75	3.15±0.36	3.20±0.36	3.18±0.89	3.05±0.98	0.1 (0.98) ^{NS}
Overall preference	3.50±0.50 ^{bc}	3.82±0.42 ^a	3.72±0.14 ^b	3.28±0.56 ^{c)}	2.25±1.30 ^{d)}	1,837 (<0.001)

¹⁾ GBC: Ground black cumin seed.

²⁾ The parentheses indicate the GBC addition rate (% w/w) per 100 g of castella applied baking loss values in Table 2.

³⁾ The sensory test was rated as very bad (1 point), bad (2 points), moderate (3 points), good (4 points), and very good (5 points) by trained 20 trained sensory personnel. Values are mean±standard deviations of triplicate determinations, and different superscripts within a column indicate significantly different.

⁴⁾ NS: Not significant.

GBC는 카스텔라 반죽에 1~2% 첨가하여 최종 카스텔라 제품의 GBC 함유율을 0.25~0.51%로 조정할 경우는 관능적 품질을 유지하거나 일부 향미 특성을 개선 또는 관능적 품질을 저해하지 않으면서 제품에 적용할 가능성이 있는 잠재력을 지니지만, 3% 이상 첨가 즉, 최종제품의 GBC 함유율을 0.76~1%로 높이고자 할 경우에는 외관 및 전반적인 기호도가 감소하는 경향을 보임으로써 적정 첨가 수준의 설정이 중요하다고 판단된다. 따라서 향후 GBC를 활용한 제품 개발 시 관능적 수용성을 고려한 최적 첨가 농도에 대한 추가적인 검토가 필요할 것으로 생각된다.

요약 및 결론

블랙커민 분말(ground black cumin; GBC) 첨가 수준에 따른 우리밀 카스텔라의 품질 특성을 분석하였다. 우리밀 카스텔라 반죽에 1~4% 수준으로 첨가한 결과, 반죽의 비중은 첨가량 증가에 따라 상승하였으며, 특히 4% 첨가에서는 무첨가 대비 유의적인 증가가 나타났다. 이는 GBC가 글루텐 형성을 저해하여 반죽 내 기공 구조가 치밀해지고 공기 포집력이 감소한 결과로 해석된다. 반죽의 높이는 첨가량 증가에 따라 감소하였고, 반죽 무게는 유의한 차이를 보이지 않았다.

굽기 손실률은 1~3% 첨가 범위에서 무첨가와 차이가 없었으나 4% 첨가에서는 감소하여, 반죽의 비중 증가와 수분보유력 향상과 관련이 있는 것으로 판단된다.

단백질 함량은 첨가량 증가에 따라 유의하게 감소($p<0.05$)하였으며, 지방과 회분 함량은 다소 증가하였다. 수분함량은 2% 첨가에서 가장 높게 나타났으며, 이는 GBC에 함유된 식이섬유 및 미세 고형분이 수분과 결합하여 반죽 구조를 안정화시킨 결과로 해석된다. 수분활성도(Aw)와 당도는 첨가량 증가에 따라 유의하게 감소($p<0.05$)하였고, 산도는 첨가량 증가에 따라 상승하여($p<0.05$) GBC에 포함된 약산과 무기질의 완충 작용이 반영된 것으로 보인다. 반면 pH는 모든 처리에서 안정적으로 유지되어 첨가량 변화가 반죽의 산 염기 평형에는 영향을 미치지 않음을 나타냈다.

색상은 명도(L*)와 황색도(b*)가 첨가량 증가에 따라 감소($p<0.05$)하였고, 적색(a*)은 녹색이 감소하는 경향을 나타냈다. 첨가량이 3% 이상일 경우, 색상이 어두워져 소비자의 시각적 품질 인식에 영향을 줄 수 있으며, 색상의 균형을 고려할 때 1~2% 첨가가 적정 수준으로 평가되었다. Hardness, gumminess 및 chewiness는 첨가량 증가에 따라 상승($p<0.05$)하였으며, 3~4% 첨가에서는 씹힘성이 과도하게 증가하여 전통적 카스텔라의 부드러운 식감과 대비되는 경향을 보였다.

다. 반면 cohesiveness와 springiness는 큰 변화가 없어, 첨가로 인한 조직 밀도 변화가 주로 고형분 비율 증가와 관련됨을 시사하였다. 총 폴리페놀 함량, 전자공여능, catalase 활성 모두 첨가량 증가에 따라 상승($p<0.05$)하였으며, 특히 4% 첨가에서 가장 높은 값을 나타내어 GBC에 포함된 thymoquinone과 polyphenol 성분이 카스텔라의 항산화 활성을 향상시킨 결과로 보인다. 색상, 향, 맛, 종합적 기호도는 1~2% 첨가에서 가장 높았으며($p<0.05$), 3% 이상 첨가에서는 유의하게 감소하였다. 이는 고농도 GBC 첨가 시 특유의 향미와 색소 성분이 제품의 맛과 외관 균형을 저해한 결과로, 관능적 품질을 유지하기 위해서는 1~2% 첨가가 적정 수준이었다. 종합하면, GBC 첨가는 우리밀 카스텔라의 비중, 수분보유력, 텍스처, 항산화 활성 및 색도에 영향을 미치며, 첨가량이 증가할수록 기능성은 강화되나 관능적 품질과 조직감은 저하되는 경향을 보였다. 1~2% 수준의 첨가가 수분보유력, 산도 및 당도의 균형 측면에서 최적 범위로 판단된다. 항산화 활성 증대와 색도, 텍스처 및 관능적 품질의 균형을 유지할 수 있는 최적 첨가 범위로 평가되며, 우리밀 기반 기능성 제과류 개발 시 첨가량 설정과 품질 균형 확보를 위한 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 과제는 2025년도 교육부 및 경상북도의 재원으로 경북 RISE센터의 지원을 받아 수행된 지역혁신중심 대학지원체계(RISE)의 결과입니다(2025-RISE-15-205).

REFERENCES

- Abd-Elbaset M, Arafa ESA, El Sherbiny GA, Abdel-Bakky MS, Elgendy ANAM (2017) Thymoquinone mitigate ischemia-reperfusion-induced liver injury in rats: A pivotal role of nitric oxide signaling pathway. *Naunyn Schmiedebergs Arch Pharmacol* 390(1): 69-76.
- Abdelmeguid NE, Fakhoury R, Kamal SM, Al Wafai RJ (2010) Effects of *Nigella sativa* and thymoquinone on biochemical and subcellular changes in pancreatic β -cells of streptozotocin-induced diabetic rats. *J Diabetes* 2(4): 256-266.
- Aebi H (1984) Methods in enzymology: Oxygen radicals in biological systems. Vol 105. pp 121-126. In: *Catalase in vitro*. Academic Press, Orlando, Florida, USA.
- Agarwal R, Kharya MD, Shrivastava R (1979) Antimicrobial & anthelmintic activities of the essential oil of *Nigella sativa* Linn. *Indian J Exp Biol* 17(11): 1264-1265.
- Ahmad A, Husain A, Mujeeb M, Khan SA, Najmi AK, Siddique NA, Damanhoury ZA, Anwar F (2013) A review on therapeutic potential of *Nigella sativa*: A miracle herb. *Asian Pac J Trop Biomed* 3(5): 337-352.
- Ahn JS, Yoon HH (2024) Quality characteristics of sponge cake made with floury rice. *Culi Sci & Hos Res* 30(10): 41-51.
- Al-Attas SA, Zuhran FM, Turkstany SA (2016) *Nigella sativa* and its active constituent thymoquinone in oral health. *Saudi Med J* 37(3): 235-244.
- Ali BH, Blunden G (2003) Pharmacological and toxicological properties of *Nigella sativa*. *Phytother Res* 17(4): 299-305.
- Alu'datt MH, Rababah T, Al-U'datt DGF, Gammoh S, Alkandari S, Allafi A, Alrosan M, Kubow S, Al-Rashdan HK (2024) Designing novel industrial and functional foods using the bioactive compounds from *Nigella sativa* L. (black cummin): Biochemical and biological prospects toward health implications. *J Food Sci* 89(4): 1865-1893.
- AOAC (1990) Official Methods Analysis. 14th ed. Association of official Analytical Chemists, Washington, DC. p 30.
- Bashir KMI, Kim JW, Kim JK, Chun YS, Choi JS, Ku SK (2023) Efficacy confirmation test of black cummin (*Nigella sativa* L.) seeds extract using a high fat diet mouse model. *Metabolites* 13(4): 501.
- Blois MS (1958) Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature* 181: 1199-1200.
- Campbell AM, Penfield MP, Griswold RM (1979) The Experimental Study of Food in Evaluating Food by Objective Methods. 2nd ed. Houghton Mifflin Co, Dallas. pp 475-476.
- Chang HG, Kim JY (2004) Physicochemical characteristics and sugar snap cookie potentialities of Korean wheats. *Korean J Food Sci Technol* 36(5): 754-760.
- Cheung JS, Hwang ES (2025) Quality characteristics and antioxidant properties of cookies fortified with brewer's spent grain powder. *Food Sci Preserv* 32(5): 823-835.
- Choi GY, Bae JH, Han GJ (2007) The quality characteristics of sponge cake containing a functional and natural product (1. Mulberry leaf powder). *J East Asian Soc Diet Life* 17(5): 703-709.
- Choi HI (2016) The characteristics of sponge cake added with mugwort powder. *Culi Sci & Hos Res* 22(5): 190-199.
- Choi YM, Kim MH, Shin JJ, Park JM, Lee JS (2003) The antioxidant activities of the some commercial teas. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32(5): 723-727.
- Choi YS, Lee MH (2009) Physicochemical characteristics and

- cookie Potentialities of Korean wheat cultivars. *Culi Sci & Hos Res* 15(1): 202-208.
- Cloke LD, Davis EA, Gordon J (1984) Volume measurements calculated by several methods using cross-sectional tracings of cake. *Cereal Chem* 61(4): 375-377.
- Houghton PJ, Zarka R, Heras B, Houlst JR (1995) Fixed oil of *Nigella sativa* and derived thymoquinone inhibit eicosanoid generation in leukocytes and membrane lipid peroxidation. *Planta Med* 61(1): 33-36.
- Huda K, Abdullah OB, Ahmed B, Abdulmohsen AE, Bodour AH, Fatma L, Akram AK, Sameeh AA (2015) *Nigella sativa* improves glycemic control and ameliorates oxidative stress in patients with type 2 diabetes mellitus: Placebo controlled participant blinded clinical trial. *PLoS One* 10(2): e0113486.
- Jang NH, Roh HS, Kang ST (2018) Quality characteristics of sponge cake made with aronia powder. *Korean J Food Sci Technol* 50(1): 69-75.
- Jeon SS (2003) Development of functional sponge cakes with onion powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32(1): 62-66.
- Jeong MJ, Jeong HS, Joo NM (2013) Quality characteristics and optimization of bread with mori cortex radice powder using response surface methodology. *J Korean Soc Food Cult* 28(5): 512-524.
- Joshi AU, Liu CG, Sathe SK (2015) Functional properties of select seed flours. *LWT-Food Sci Technol* 60(1): 325-331.
- Jung JY, Jung CH, Choi JS (2010) Quality characteristics of yellow layer cake added with black garlic. *J Agric Life Sci* 44(1): 51-59.
- Kamandloo F, Miran M, Salami M (2023) Evaluation of black seed (*Nigella sativa* L) cake and its protein in muffins as a valuable potential functional source for obesity control. *Food and Functional Food Science in Obesity* 1(6): 7-25.
- Kanter M, Coskun O, Uysal H (2006) The antioxidative and antihistaminic effect of *Nigella sativa* and its major constituent, thymoquinone on ethanol-induced gastric mucosal damage. *Arch Toxicol* 80(4): 217-224.
- Kim BK, Yoon HY (2025) Quality characteristics of pan bread according to the amount of added water in Haedeulmi puree. *J East Asian Soc Diet Life* 35(4): 276-285.
- Kim HJ, Kang WW, Moon KD (2001) Quality characteristics of bread added with *Gastrodia elata* Blume powder. *Korean J Food Sci Technol* 33(4): 437-443.
- Kim JH, Pak PJ, Kim JG, Cheong YK, Kang CS, Lee NT, Chung NH (2016) Comparison of allergy inducible wheat protein contents among imported and domestic wheat flours in Korea. *J App Biol Chem* 59(1): 1-3.
- Kim SS, Chung HY (2014) Comparison of quality analyses of domestic and imported wheat flour products marketed in Korea. *Korean J Food Nutr* 27(2): 287-293.
- Kim YH, Cho NJ (2010) Effects of mulberry leaf powder on physicochemical properties of bread dough. *Korean J Food Sci Technol* 42(6): 705-713.
- Kohandel Z, Farkhondeh T, Aschner M, Samarghandian S (2021) Anti-inflammatory effects of thymoquinone and its protective effects against several diseases. *Biomed Pharmacother* 138: 111492.
- Kwak HS, Kim MJ, Kim OW, Kim SS (2017a) Quality characteristics of domestic strong wheat flour. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 46(5): 616-621.
- Kwak HS, Kim TJ, Joo EY, Cha JH, Kim AJ, Kim MJ, Kim SS (2017b) Quality variation of domestic wheat compared to imported wheat depending on harvest year. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 46(1): 146-151.
- Kwon MS, Lee MH (2015) Quality characteristics of sponge cake added with rice bran powder. *Culi Sci & Hosp Res* 21(3): 168-180.
- Lee JH (2015) Physicochemical and sensory characteristics of sponge cake with *Rubus coreanus* powder. *Prev Nutr Food Sci* 20(3): 204-209.
- Lee JS, Seong YB, Jeong BY, Yoon SJ, Lee IS, Jeong YH (2009) Quality characteristics of sponge cake with black garlic powder added. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38(9): 1222-1228.
- Lee SE, Lee JH (2013) Quality and antioxidant properties of sponge cakes incorporated with pine leaf powder. *Korean J Food Sci Technol* 45(1): 53-58.
- Lee SY, Lee SM, Kim JG, Kim YH (2011) Effect of *Nigella sativa* oil on melanogenesis. *J Soc Cosmet Sci Korea* 37(4): 319-326.
- Mahmoudian A, Ashouri A, Mohammadzadeh F, Bilandi RR, Dashti S, Bahri N (2025) Effect of *Nigella sativa*-L supplementation on glycemia in adolescent polycystic ovarian syndrome: Secondary analysis of a randomized controlled trial study. *J Ovarian Res* 18(1): 46.
- Moiraghi M, de la Hera E, Pérez GT, Gómez M (2013) Effect of wheat flour characteristics on sponge cake quality. *J Sci Food Agric* 93(3): 542-549.
- Niu Y, Wang B, Zhou L, Ma C, Waterhouse GIN, Liu Z,

- Ahmed AF, Sun-Waterhouse D, Kang W (2021) A dietary supplement as an immune modulator on the basis of bioactive components. *Front Nutr* 8: 722813.
- Noorlaila A, Hasanah HN, Yusoff A, Sarijo SH, Asmeda R (2017) Effects of xanthan gum and HPMC on physicochemical and microstructure properties of sponge cakes during storage. *J Food Sci Technol* 54(11): 3532-3542.
- Park JS, Lee YJ, Chun SS (2010) Quality characteristics of sponge cake added with banana powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 39(10): 1509-1515.
- Rahman AU, Abdullah A, Faisal S, Mansour B, Yahya G (2024) Unlocking the therapeutic potential of *Nigella sativa* extract: Phytochemical analysis and revealing antimicrobial and antioxidant marvels. *BMC Complement Med Ther* 24(1): 266.
- Saad SS, Elmabsout AA, Alshukri A, El-Mani S, Al Mesmary E, Alkuwafi I, Almabrouk O, Buhager SAM (2021) Approximate composition analysis and nutritive values of different varieties of edible seeds. *Asian Journal of Medical Sciences* 12(6): 101-108.
- Sadler GD, Murphy PA (2010) pH and titratable acidity. pp 219-238. In: *Food analysis*. Springer, Boston, MA, USA.
- Seo EO, Go SH, Jeong HC (2015) Research Quality characteristics of sponge cake depending on the amount of red ginseng powder added. *Culi Sci & Hos Res* 21(2): 130-140.
- Shin GM, Kim DY (2008) Rheological properties of white pan bread dough prepared with *Angelica gigas* Nakai powder. *Food Sci Preserv* 15(4): 542-549.
- Ullah F, Ahmad S, Wahab S, Zeb A, Khattak MK, Khan S, Kang M (2016) Quality evaluation of biscuits supplemented with alfalfa seed flour. *Foods* 5(4): 68.
- Vo TP, Tran HKL, Pham NT, Tran TN, Nguyen THN, Phan TH, Lee HJ, Nguyen DQ (2023) Application of bacterial cellulose in dietary fiber enriched castella cake production. *CYTA J Food* 1: 321-327.
- Yeom KH, Bing DJ, Kim MY, Chun SS (2016) Effects of hemicellulase on white bread added with brown rice fiber. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 45(3): 352-359.
- Yoon SJ, Rhee JK, Yoo SH, Chung MS, Lee HJ (2016) Total phenolics contents, total flavonoids contents and antioxidant capacities of commercially available Korean domestic and foreign intermediate food materials. *Microbiol Biotechnol* 44(3): 278-284.

Date Received	Jan. 12, 2026
Date Revised	Feb. 26, 2026
Date Accepted	Feb. 26, 2026