

빌베리 마들렌의 품질 및 항산화 효과

신 경 옥¹ · 윤 진 아^{2*}

¹삼육대학교 식품영양학과 교수, ²강서대학교 식품영양학과 교수

Quality Characteristics and Antioxidant Effects of Madeleine Added with *Vaccinium myrtillus* L. Powder

Kyung-Ok Shin¹ and Jin A Yoon^{2*}

¹Professor, Dept. of Food and Nutrition, Sahmyook University, Seoul 01795, Republic of Korea

²Professor, Dept. of Food and Nutrition, Gangseo University, Seoul 07661, Republic of Korea

ABSTRACT

This study attempted to confirm the optimal amount of *Vaccinium myrtillus* L. (Vm) powder added when manufacturing madeleine using Vm powder as a material with excellent functionality. The product characteristics, consumer preference, and antioxidant activity were measured. Madeleine was prepared by adding 0, 5, 10, 20, or 30% of Vm powder. The weight increased, and the height decreased as the amount of madeleine added to Vm increased, but the volume remained unchanged. The baking loss rate decreased, and the dough yield increased. The moisture content increased as Vm addition was increased. On the other hand, the pH decreased, and the color was dark purple. The L (lightness) decreased as the level of Vm addition increased; the a (redness) values increased, and the b (yellowness) values decreased. The appearance decreased with Vm addition, and the flavor and texture did not affect the amount of Vm; the 10% and 20% addition groups were more preferred in terms of taste and overall acceptance. In the 30% Vm addition group, the total polyphenol and total flavonoid content were 5.42 mg GAE/g and 11.95 µg QE/g, and the DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical scavenging capacity and ABTS (2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) radical scavenging capacity were 48.51%, which increased in proportion to the level of Vm addition. Considering these results, the most appropriate mixing ratio of Vm powder in madeleine was 10~20% in terms of quality characteristics, preference, and antioxidant activity.

Key words: *Vaccinium myrtillus* L., madeleine, DPPH, ABTS, sensory evaluation

서 론

빌베리(*Vaccinium myrtillus* L.)는 진달래과(Ericaceae) *Vaccinium*(산앵두나무)속 다년생으로 30cm 정도 자라고, 주로 중북부 유럽, 북아메리카, 뉴질랜드 등에서 서식한다(Lee HJ 등 2024). 진달래과는 400여 종이 동남아시아에 서식하고 있으며, 그중 우리에게 잘 알려진 종류로는 블루베리(*Vaccinium corymbosum* L.)와 크랜베리(*Vaccinium oxycoccos* L.)가 있고, 한국에서 재배하는 베리류는 블루베리가 일반적이며 빌베리의 생산은 미미하다(Lee SO 2012; Youn JH 등 2015). 빌베리는 예로부터 발열, 기침 등의 치료에 사용하였고, 야맹증, 백내장, 녹내장 등의 안과 질환 치료에 효과가 있고(Friendrich H & Schönert J 1973), 베리류에는 지방암을 예방하는 폴리페놀을 함유하고 있으며 베리에 함유된 섬유질은 항염증 효과

가 있다(Seeram NP 2012). 빌베리는 동물실험에 의하면 대장염의 위험을 감소시키며 장의 스트레스를 억제하여 장 건강에 긍정적인 효과를 주고(Jaksevic M 등 2011), 빌베리 추출물과 비타민 E 보충식단을 급여한 OXYS rats에서 나이가 들수록 증가하는 신경퇴행성 질환의 산화적 스트레스 지표에서 긍정적인 영향을 보였다(Kolosova NG 등 2006). 심혈관 질환의 위험인자인 염증성 질환의 예방효과를 검증하기 위해 빌베리 주스를 4주 동안 마신 사람에서 C-반응성 단백질(CRP), 인터루킨(IL)-6, 인터루킨(IL)-15 및 모노카인의 혈장 농도가 감소하여 만성 염증성 질환의 예방 및 치료 효과를 확인하였다(Karlsen A 등 2010). 발효 빌베리 추출물이 근시의 시각적 결과에 미치는 영향을 임상적으로 연구한 결과 시력, 굴절, 동공 수축률, 조절 및 박시 대비 감도(CS)에서 유의미한 결과를 나타내 발효 빌베리 추출물이 근시안의 주관적 조절 및 박시 CS를 증가시키는 데 효과적임을 입증하였다(Kamiya K 등 2013).

베리류는 음료, 요거트, 젤리, 잼 등의 식품으로 널리 사용

* Corresponding author : Jin A Yoon, Tel: +82-2-2600-2598, E-mail: yoonjina@gangseo.ac.kr

될 뿐만 아니라 건강보조 식품으로도 소비되고 있으며 영양 성분으로 섬유소, 비타민, 무기질 등이 풍부한 것으로 알려져 있다(Choi EJ 2013). 빌베리 열매의 수분함량은 약 93.75%이며, 회분은 3.0% 이하이고, 안토시아닌 함량은 2.2% 이상이다(Park SM 2015). 빌베리에는 시아니딘, 델피니딘, 말비딘, 피오니딘, 페투니딘과 포도당, 갈락토스, 아라비노스 등의 단당류로 구성된 안토시아닌 배당체를 함유하고 있으며 이는 빌베리 열매를 보라색~파란색으로 보이게 한다(Piberger H 등 2011). 안토시아닌은 산성에서 붉은색, 염기성에서 파란색을 띄며 아주 높은 pH에서는 무색이 되는 항산화 물질로 빌베리에 함유된 안토시아닌은 다른 폴리페놀 플라보노이드와 달리 온전한 글리코시드 형태로 빠르게 흡수되어 대사된다(Crozier A 등 2009; Khoo HE 등 2017). 자유 라디칼은 하나 이상의 짝을 이루지 않은 전자를 포함하는 반응성이 큰 화학 물질로 산화 스트레스로 알려진 활성 산소종(reactive oxygen species; ROS) 및 반응성 질소종(reactive nitrogen species; RNS)과 반응하여 면역 체계, 세포 신호 전달 및 정상적인 신체 기능 유지에 나쁜 영향을 미친다(Leopold JA & Loscalzo J 2008). 그러나, 빌베리 추출물의 안토시아닌은 항산화 작용으로 산화 스트레스를 감소시킨다(Kolosova NG 등 2006).

이렇듯 항산화 가능성이 우수하다고 알려진 안토시아닌을 다량 함유한 빌베리를 이용하여 식품 생산에 이용한 연구는 돈육 패티에 대한 것뿐으로 빌베리에 대한 연구가 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 비교적 제조가 간편하며 많이 이용되는 제과 중 마들렌에 빌베리를 첨가하여 제조한 후 품질 특성과 항산화 활성을 확인하고 빌베리를 기능성 소재로서 제과에 사용 가능성과 적합성을 확인하고자 연구하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료 및 시약

빌베리(*Vaccinium myrtillus* L.)는 오스트리아산 분말, 박력분(Gompyo, Daehan Flour Co, Seoul, Korea), 백설탕(Samyang Co., Seoul, Korea), 앵커 무염 버터(Dongguerang Co., Daejeon, Korea), 달걀(National Agricultural Cooperative Federation, Gyeonggi-do, Korea), 베이킹파우더(Galim Food Co., Incheon, Korea), 한주 소금(Samho Co., Gyeongsangnam-do, Korea)은 인터넷에서 구매하였고, 총 폴리페놀, 총 플라보노이드 및 항산화 측정에 사용한 Folin-Ciocalteu's 페놀 시약, 갈릭산, 케르세틴, ABTS(2,2'-azino-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), DPPH(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) 등의 시약은 Sigma-Aldrich Co.(MO, USA)에서 구매하였다.

2. 마들렌 제조

마들렌의 제조 시 빌베리 분말 첨가량은 Yoon JA 등 (2024a)의 선행연구와 예비실험을 참고하여 빌베리 분말 첨가량을 0, 5, 10, 20 및 30%로 배합하였다(Table 1). 제조 방법은 반죽기(BS-201, Busung Co., Seoul, Korea)를 1단으로 교반하면서 믹싱볼에 넣은 버터를 녹인 후 3등분으로 소분한 설탕을 각각 믹싱볼에 넣어 녹이고, 달걀도 3회로 나누어 섞어주면서 1단, 2단, 3단에서 각각 1분, 2분, 3분 크럼의 형태가 되도록 교반하고, 박력분, 빌베리 분말, baking powder 및 소금과 같은 가루 재료는 체(100 mesh)에 쳐서 섞은 후 마들렌 틀에 반죽을 25 g씩 담고, 윗불(180℃)과 아랫불(170℃) 온도가 맞춰진 oven(BS-023, Busung Co., Seoul, Korea)에서 굽고(25분간), 1시간 방랭하여 실험하였다.

Table 1. Formula for the madeleines made with *Vaccinium myrtillus* L. powder

Ingredients (g)	<i>Vaccinium myrtillus</i> L. powder content (%)				
	0 ¹⁾	5	10	20	30
Soft flour	200	190	180	160	140
<i>Vaccinium myrtillus</i> L. powder	0	10	20	40	60
Sugar	200	200	200	200	200
Butter	200	200	200	200	200
Egg	200	200	200	200	200
Baking powder	4	4	4	4	4
Salt	1	1	1	1	1

¹⁾ 0%, Control (flour without *Vaccinium myrtillus* L. powder); 5%, flour with 5% *Vaccinium myrtillus* L. powder; 10%, flour with 10% *Vaccinium myrtillus* L. powder; 20%, flour with 20% *Vaccinium myrtillus* L. powder; 30%, flour with 30% *Vaccinium myrtillus* L. powder.

3. 마들렌 무게, 높이 및 부피

마들렌의 무게는 처리군 당 3개씩 3회 반복 측정하였고, 높이는 마들렌을 반으로 잘라 가장 높은 부분을 캘리퍼(150 × 0.05 mm, Eagle Co., Beijing, China)를 이용하여 측정하고, 부피는 Yoon JA(2024)의 종자치환법을 이용하여 측정하였다.

4. 굽기 손실율, 반죽 수율, 수분함량 및 pH 측정

Baking loss rate와 dough yield는 마들렌의 무게와 반죽의 무게로 다음과 같이 산출하여 평균값±표준편차로 표현하였다.

Baking loss rate (%) =

$$\frac{\text{마들렌 반죽의 무게} - \text{마들렌의 무게}}{\text{마들렌 반죽의 무게}} \times 100$$

$$\text{Dough yield (\%)} = \frac{\text{마들렌의 무게}}{\text{마들렌 반죽의 무게}} \times 100$$

마들렌의 수분함량은 AOAC(2000)법으로 측정하여 dry oven(KC0-150, Kuk Je Eng CO., Goyang, Korea) 105 °C 온도에서 향량이 되도록 건조하였고, 처리군 당 3개씩 3회 반복 측정하여 소수점 둘째 자리까지 평균값±표준편차로 표현하였으며, pH는 가루 낸 마들렌 3 g을 증류수 30 mL에 넣고 혼합하여 현탁액을 만든 후 8 µm 종이 필터로 여과하여 측정하였고, 평균값±표준편차값으로 표현하였다.

5. 마들렌 단면 색도 측정 및 내·외관 관찰

단면 색도는 마들렌의 가운데를 잘라 색차계(CR-400, Konica Minolta, Osaka, Japan)로 lightness(L값, 명도), yellowness(b값, 황색도), redness(a값, 적색도)를 각각 3회 반복 측정하였고, 백색의 calibration plate 표준값을 L값 87.5, a값 0.3145, b값 0.3209로 보정하였으며, 마들렌의 내·외관은 camera(Galaxy Z Flip 4, Samsung Co., Seoul, Korea)를 이용하여 촬영하여 관찰하였다.

6. 기호도 검사

기호도는 서울 소재 2개의 대학 식품영양학과 학부생과 대학원생으로 관능검사를 이수한 38명의 지원을 받아 5점 척도법을 실시하여 매우 싫음(1점)에서부터 매우 좋음(5점) 수준으로 검사하였으며, 관능검사에 사용한 마들렌의 크기는 가로 × 세로 × 높이 1.5 × 1.5 × 1.5 cm³로 잘라 흰 접시에 여러 개를 담아 사용하였으며, appearance, flavor, taste, texture와 overall preference의 5가지 항목을 측정하였다. 기호도 검사의 방법은 선행연구(Yoon JA 2024)의 방법에 따라 진행하였다.

7. 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량

총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량 측정을 위한 시료는 마들렌 10 g에 95% 에틸알코올 20 mL를 넣고 10,000 rpm에서 5분간 균질화하고, 3,000 rpm으로 15분간 원심분리하여 상층액을 사용하였다.

총 폴리페놀의 함량은 선행연구인 Folin O & Denis W (1912)의 방법을 이용하여 96 well plate에 sample 10 µL, 3차 증류수 90 µL, 2 N Folin-Ciocalteu's 페놀 시약(Sigma-Aldrich Co., Missouri, USA) 10 µL를 넣고 실온에서 5 min 반응시킨 후 7% 탄산나트륨(sodium carbonate) 용액 100 µL, 3차 증류수 40 µL를 첨가하고 어두운 곳에서 90 min 반응시킨 후 750 nm에서 다중 모드 마이크로플레이트 리더(MMR SPARK®, Tecan Co., Mannedorf, Switzerland)로 흡광도를 측정하였다. 갈릭산(gallic acid, Sigma-Aldrich Co.)을 표준물질로 사용하여 total polyphenolic content를 mg GAE(gallic acid equivalent)/g으로 표현하였다.

총 플라보노이드 함량은 선행연구인 Moreno MIN 등(2000)의 연구를 활용하여 96 well plate에 sample 20 µL, 3차 증류수 80 µL, 5% 아질산염(sodium nitrite) 용액을 6 µL 넣고 실온에서 5 min 반응시킨 후 10% 염화알루미늄(aluminium chloride) 용액 6 µL를 넣고 실온에서 6 min 반응한 후 1 M 수산화나트륨(sodium hydroxide) 40 µL와 3차 증류수 48 µL를 혼합하여 510 nm에서 다중 모드 마이크로플레이트 리더(MMR SPARK®, Tecan Co.)를 이용하여 흡광도를 측정하여 quercetin(Sigma-Aldrich Co.)을 표준물질로 검량선을 그려 total flavonoid content를 계산한 후 µg QE(quercetin equivalent)/g으로 표현하였다.

8. DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성

DPPH 및 ABTS 측정용 샘플은 마들렌 5 g과 95% 에틸알코올 10 mL를 섞고 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 상층액을 사용하였다. DPPH 라디칼 소거능력은 선임연구(Blois MS 1958)를 활용하여 96 well plate에 샘플 100 µL를 넣고 0.2 mM DPPH solution 100 µL를 넣어 혼합하고 빛을 차단한 상태에서 30분 동안 상온에 방치하여 반응을 유도한 후 다중 모드 마이크로플레이트 리더(MMR SPARK®, Tecan Co.)를 사용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였고, 아스코르브산(ascorbic acid; Sigma-Aldrich Co.)을 control로 하여, DPPH 라디칼 소거능을 백분율로 계산하였다.

$$\text{DPPH radical scavenging activity (\%)} = \left[1 - \frac{(S-B)}{C} \right] \times 100$$

S : Sample의 흡광도

C : Control의 흡광도

B : Blank의 흡광도

ABTS 라디칼 소거능력은 선임연구(Armao MB 등 2001)의 방법을 이용하여 7.4 mM ABTS(Sigma-Aldrich Co.)와 2.6 mM 과황산칼륨(potassium persulfate) solution을 동량 혼합하여 빛을 차단한 상태에서 24시간 상온에 방치하여 반응을 유도한 후 ABTS stock solution을 만들고, 인산완충생리식염수(phosphate buffer saline; PBS, pH 7.4)으로 희석하여 734 nm에서 흡광도가 0.70±0.02가 되도록 조정된 ABTS working solution을 사용하였다. 96 well plate에 샘플 200 µL를 넣고 ABTS working solution 800 µL를 넣어 혼합하여 빛을 차단한 상태에서 10분 동안 상온에 방치, 반응을 유도한 후 다중 모드 마이크로플레이트 리더(MMR SPARK®, Tecan Co.)로 흡광도를 734 nm에서 측정하였고, 아스코르브산(ascorbic acid; Sigma-Aldrich Co.)을 control로 하여, ABTS 라디칼 소거능을 백분율로 계산하였다.

$$\text{ABTS radical scavenging activity (\%)} = \left[1 - \frac{S}{C}\right] \times 100$$

S: Sample의 흡광도

C: Control의 흡광도

B: Blank의 흡광도

9. 통계 처리

실험결과의 통계 처리 프로그램은 IBM SPSS 22 package (SPSS Statistics, Chicago, IL, USA)를 사용하였고, 시료와 시료의 차이 검증은 분산분석(One-way Analysis of Variance)을 사용하여 검증하였으며, 실험군 간의 유의성은 유의수준 $p < 0.05$ 에서 Duncan's multiple range test를 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 마들렌 무게, 높이 및 부피

빌베리 분말을 첨가한 마들렌의 무게와 높이 및 부피 측정값은 Table 2와 같고, 무게는 빌베리 분말을 0, 5, 10, 20

및 30% 첨가군에서 각각 21.29±0.49, 21.86±0.69, 22.14±0.69, 22.43±0.53, 22.86±0.69 g으로 빌베리 분말의 첨가량이 많아짐에 따라 증가하는 경향이 나타났다($p < 0.05$). 이와 유사한 선행연구에는 굴피 분말을 첨가한 마들렌이 있는데, 시료의 첨가량 증가에 따라 마들렌의 무게도 비례하여 증가하였고(Yoon JA 2024), 깻잎 분말 첨가 마들렌에서도 깻잎 첨가량이 증가할수록 무게는 증가하였다. 반대의 경향을 보인 선행연구도 있었는데 솔잎분말을 첨가한 마들렌에서는 솔잎 첨가량이 증가할수록 무게가 감소하였고(Kim WJ 등 2014), 타트체리 첨가 마들렌에서도 타트체리 첨가량이 증가할수록 무게는 감소하였다(Yoon JA 등 2024a). 마들렌을 구울 때 무게의 변화는 첨가한 재료의 성질에 영향을 받게 되는데 재료의 수분 보유력은 제빵 후 무게의 증가를 보이게 되며 이러한 재료에는 섬유소의 함량에 큰 영향을 받는다(Yoon JA 2022). 빌베리 분말 첨가량 증가에 따라 마들렌 무게가 증가한 것은 빌베리에 함유된 섬유소의 영향으로 사료된다.

높이는 빌베리 분말을 0, 5, 10, 20 및 30% 첨가군에서 각각 25.60±0.55, 25.40±0.55, 24.20±0.46, 22.60±0.55, 20.60±0.89 mm로 마들렌의 무게와 반대로 빌베리 분말의 첨가량이 많아질수록 감소하였다($p < 0.05$). 이와 유사한 경향은 굴피 분말 첨가 마들렌(Yoon JA 2024), 깻잎 분말 첨가 마들렌(Yoon JA 등 2024b), 솔잎분말을 첨가한 마들렌(Kim WJ 등 2014), 타트체리 첨가 마들렌(Yoon JA 등 2024a)에서도 시료의 첨가량이 증가할수록 높이는 감소하였다.

마들렌의 부피는 좁쌀을 이용한 종자치환법으로 측정하였는데 그 결과는 빌베리 분말 0, 5, 10, 20 및 30% 첨가군에서 각각 50.11±2.37, 49.89±2.98, 49.44±2.01, 48.33±3.12, 47.78±2.11 mL로 빌베리 분말의 첨가량이 많아질수록 낮아지는 경향을 보인 것 같으나 유의적인 영향은 없었다. 굴피 분말 첨가 마들렌에서 굴피 첨가량이 증가할수록 마들렌의 부피는 유의적인 영향이 없어 빌베리 첨가 마들렌과 결과가 유사하였다(Yoon JA 2024). 땅콩 새싹 첨가 마들렌(Lee YK 등 2024), 깻잎 분말 첨가 마들렌(Yoon JA 등 2024b), 나한과 추

Table 2. Baking properties of madeleine with *Vaccinium myrtillus* L. powder

Property	<i>Vaccinium myrtillus</i> L. powder content (%)				
	0 ¹⁾	5	10	20	30
Weight (g)	21.29±0.49 ^{2)c3)}	21.86±0.69 ^{bc}	22.14±0.69 ^{ab}	22.43±0.53 ^{ab}	22.86±0.69 ^a
Height (mm)	25.60±0.55 ^a	25.40±0.55 ^a	24.20±0.45 ^b	22.60±0.55 ^c	20.60±0.89 ^d
Volume (mL)	50.11±2.37 ^a	49.89±2.98 ^a	49.44±2.01 ^a	48.33±3.12 ^a	47.78±2.11 ^a

¹⁾ Refer to the formula in Table 1.

²⁾ All values are mean±standard deviation (S.D.).

³⁾ Values with different letters within the same row are significantly different at $p < 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

출 분말을 첨가한 마들렌에서도 시료의 첨가량이 증가할수록 부피는 감소하였다(Shin JH & Yoon HH 2024). 밀가루의 글루텐은 baking 과정에서 부풀어 빵의 질감을 만드는 성분으로 첨가한 재료에 수분 흡수력이 강한 설탕과 같은 성분이 많으면 글루텐이 보유할 수분은 상대적으로 부족하게 되어 baking 시 부풀어 오르는 것이 감소하고 높이와 부피는 감소하게 된다(Bae JH & Jung IC 2013; Lim EJ 2023).

2. 굽기 손실율, 반죽 수율, 수분함량 및 pH

빌베리 분말을 첨가한 마들렌의 굽기 손실율과 반죽 수율, 수분함량 및 pH는 Table 3과 같고, 굽기 손실율은 빌베리 분말을 0, 5, 10, 20 및 30% 첨가군에서 각각 14.86±1.95, 12.57±2.76, 11.43±2.76, 10.29±2.14, 8.57±2.76%로 나타나 빌베리 분말을 첨가하지 않은 대조군에서 가장 높았고, 빌베리 첨가량이 증가할수록 낮아져 30% 첨가군에서 가장 낮은 값을 나타냈다($p<0.05$). 밀가루 반죽은 열을 받으면 팽창하면서 수분의 기화가 일어나 수율의 변화를 가져오게 되며(Lim EJ 2023), 빌베리 분말을 0, 5, 10, 20 및 30% 첨가군에서 각각 85.141±1.95, 87.43±2.76, 88.57±2.76, 89.71±2.14, 91.43±2.76%의 값을 보여 빌베리 분말의 첨가량이 많아짐에 반죽의 수율은 증가하였다($p<0.05$). 마들렌을 구울 때 나타나는 굽기 손실률 및 반죽 수율은 마들렌의 무게를 이용하여 계산한 값으로 빌베리 분말의 첨가량이 증가함에 따라 무게도 증가하게 되어 굽기 손실률은 감소한 반면 반죽 수율은 증가하였다. 이와 유사한 결과는 굴피 분말을 첨가한 마들렌(Yoon JA 2024), 깻잎 분말 첨가 마들렌(Yoon JA 등 2024b), 솔잎 분말 첨가한 마들렌(Kim WJ 등 2014)에서 시료의 첨가량이 증가함에 따라 굽기 손실률은 낮아졌고, 반죽 수율은 증가하였다. 이와 반대의 결과로는 타트체리(Yoon JA 등 2024a), 땅콩 새싹(Lee YK 등 2024), 복숭아즙(Lim YT 등 2012), 나한과(Shin JH & Yoon HH 2024) 첨가 마들렌에서 시료의 첨

가량 증가에 따라 굽기 손실률은 증가하는 경향을 보였다.

빌베리 분말을 첨가한 마들렌의 수분함량은 빌베리 분말을 0, 5, 10, 20 및 30% 첨가군에서 각각 11.16±0.38, 11.92±0.94, 12.16±0.74, 13.91±0.16, 14.24±0.66%로 나타나 빌베리 분말을 첨가하지 않은 대조군에서 가장 낮았고, 빌베리 첨가량이 증가할수록 높아져 30% 첨가군에서 가장 높은 값을 나타냈다($p<0.05$). 본 연구와 유사한 경향은 복숭아즙 첨가 마들렌(Lim YT 등 2012), 굴피 분말을 첨가한 마들렌(Yoon JA 2024), 나한과 추출 분말 첨가 마들렌(Shin JH & Yoon HH 2024), 땅콩 새싹 첨가 마들렌(Lee YK 등 2024), 깻잎 분말 첨가 마들렌(Yoon JA 등 2024b), 진피가루 첨가 마들렌(Kang JH & Chung CH 2020) 및 타트체리 첨가 마들렌(Yoon JA 등 2024a)은 시료의 첨가량이 많아짐에 따라 수분함량도 증가하는 양상을 보였다. 반면, 반대의 경향을 보인 연구로는 유기농 인삼 잎을 첨가한 마들렌(Kim KP 등 2016)과 레드비트 분말 첨가 마들렌(Lee YK & Lee IS 2024)이 있는데, 레드비트 분말 첨가 마들렌에서는 대조군의 수분함량은 16.62%로 가장 높았고, 30% 첨가군에서 9.05%로 낮은 수분함량을 보여 시료 첨가량이 증가할수록 수분함량은 감소하였다. 수분함량은 재료의 종류, 식이섬유 함량과 종류, 단백질 함량 등 여러 가지 요인에 영향을 받는데, 특히, 재료의 수분 친화력과 관련이 있어 물을 흡수하는 정도에 영향을 받는데, 펙틴과 같은 수용성 식이섬유소는 수분 친화력이 강해 마들렌의 수분함량을 증가시키나(Lim EJ 2023), 시료의 함량이 상대적으로 밀가루 함량에 비해 너무 많으면 오히려 글루텐 구조가 느슨해져 수분 친화력이 낮아질 수 있다(Park SH & Lim SI 2007). 결과적으로 본 연구에서 마들렌의 수분함량은 빌베리 분말의 수분 친화력이 강력하여 수분을 흡수했기 때문에 빌베리 분말 첨가량이 증가함에 비례적으로 수분함량의 증가를 보였고, 예비연구에서 빌베리 분말첨가량이 40%를 넘을 경우 글루텐의 구조가 느슨해져 마들렌이 제

Table 3. Baking loss rate, dough yield, moisture, and pH content of madeleine prepared with different level with *Vaccinium myrtillus* L. powder

Property	<i>Vaccinium myrtillus</i> L. powder content (%)				
	0 ¹⁾	5	10	20	30
Baking loss rate (%)	14.86±1.95 ^{2)a3)}	12.57±2.76 ^{ab}	11.43±2.76 ^{bc}	10.29±2.14 ^{bc}	8.57±2.76 ^c
Dough yield (%)	85.14±1.95 ^c	87.43±2.76 ^{bc}	88.57±2.76 ^{ab}	89.71±2.14 ^{ab}	91.43±2.76 ^a
Moisture (%)	11.16±0.38 ^b	11.92±0.94 ^b	12.16±0.74 ^b	13.91±0.16 ^a	14.24±0.66 ^a
pH	7.20±0.01 ^a	7.17±0.01 ^b	6.90±0.02 ^c	6.79±0.02 ^d	6.63±0.04 ^c

¹⁾ Refer to the formula in Table 1.

²⁾ All values are mean±standard deviation (S.D.).

³⁾ Values with different letters within the same row are significantly different at $p<0.05$ according to Duncan's multiple range test.

대로 형성되지 않은 것으로 사료된다.

마들렌의 pH는 빌베리 분말을 첨가하지 않은 대조군에서 7.20 ± 0.01 로 가장 높았으며, 빌베리 분말을 첨가할수록 유의적으로 낮아져 5, 10, 20 및 30% 첨가군에서 각각 7.17 ± 0.01 , 6.90 ± 0.02 , 6.79 ± 0.02 , 6.637 ± 0.04 의 값을 나타냈다($p < 0.05$). 선행연구인 Lee HJ 등(2024)의 연구에 따르면 빌베리 분말의 pH는 3.17로 측정되었다. 생강청을 첨가한 마들렌의 pH는 대조군 8.14로 가장 높았으며 20% 첨가군 7.91로 가장 낮았고(Lee HJ 등 2022), 유기농 인삼 잎 첨가 마들렌의 pH는 대조군 7.74로 가장 높았으며 7% 첨가군 6.83으로 가장 낮았고(Kim KP 등 2016), 타트체리 첨가 마들렌의 pH는 대조군 7.49로 가장 높았으며 40% 첨가군 5.57로 가장 낮았고(Yoon JA 등 2024a), 복숭아즙 첨가 마들렌의 pH는 대조군 7.88로 가장 높았으며 60% 첨가군 6.45로 가장 낮았고(Lim YT 등 2012), 레드비트 분말 첨가 마들렌의 pH는 대조군 7.74로 가장 높았으며 7% 첨가군 6.83으로 가장 낮아(Lee YK & Lee IS 2024) 본 연구와 유사하게 시료 첨가량이 증가할수록 pH는 낮아지는 경향이 나타났다. 그러나 이와 반대로 강황분말을 첨가한 마들렌의 pH는 대조군 5.37에서 20% 첨가군 6.51로 증가하였으며(Jun KS 2019), 홍게 다릿살 분말을 첨가한 마들렌에서는 대조군 pH 6.50에서 20% 첨가군 pH 7.33으로 시료 첨가량이 증가함에 따라 pH도 증가하는 경향을 보였다(Kim BM 등 2016). 마들렌의 pH는 첨가한 시료의 pH에 영향을 받아 달라지기 때문에 빌베리와 같이 pH가 낮으면 시료의 첨가량이 증가할수록 pH는 낮아지는 것이다.

3. 마들렌의 색도 및 단면 관찰

빌베리 분말을 첨가한 마들렌을 잘라 단면의 색도를 측정 한 값은 Table 4와 같이 밝기인 L값(lightness)은 빌베리 분말을 0, 5, 10, 20 및 30% 첨가군에서 각각 82.05 ± 0.71 , 73.17 ± 1.24 , 66.68 ± 0.44 , 59.23 ± 1.24 , 54.48 ± 1.18 로 대조군에서 가장 높았고, 빌베리 첨가량이 증가할수록 유의적으로 낮아져 빌베리 고유의 색이 반영되어 첨가량이 증가할수록 어두워진

것으로 보인다($p < 0.05$). 복숭아즙 마들렌의 L값은 대조군 67.29에서 60% 첨가군 54.09로 복숭아즙 첨가량이 증가할수록 감소하였고(Lim YT 등 2012), 생강청을 첨가한 마들렌의 L값은 대조군 85.28에서 20% 첨가군 79.86으로 생강청 첨가량이 증가할수록 감소하였으며(Lee HJ 등 2022), 강황분말을 첨가한 마들렌의 L값은 대조군 74.34에서 20% 첨가군 55.65로 강황 첨가량이 증가할수록 감소하였고(Jun KS 2019), 볶음 검정콩가루를 첨가한 마들렌의 L값은 대조군 77.30에서 60% 첨가군 48.41로 콩가루 첨가량이 증가할수록 감소하였다(Jeon JE & Lee IS 2022). 대부분의 연구들에서 시료의 첨가량이 증가할수록 밝기인 L값은 감소하는 경향을 보였으나 골드키위 유산균 발효물 첨가 마들렌의 L값은 대조군 42.65, 3% 첨가군 41.67로 시료의 첨가가 밝기에 유의적인 영향을 미치지 못했다(Ryu JY 등 2018).

붉은색을 나타내는 a값(redness)은 빌베리 분말을 0, 5, 10, 20 및 30% 첨가군에서 각각 -2.94 ± 0.18 , -0.48 ± 0.19 , 1.72 ± 0.15 , 3.37 ± 0.17 , 5.72 ± 0.25 로 L값과 반대 경향을 보여 대조군에서 가장 낮았고, 빌베리 첨가량이 증가할수록 유의적으로 높아져 붉은색이 진해진 것으로 보인다($p < 0.05$). 골피 분말 첨가 마들렌의 a값은 대조군 0.04, 40% 첨가군 2.49로 시료의 첨가량이 증가할수록 붉은색은 짙어져 본 연구와 유사한 경향이였다(Yoon JA 2024). 이 외에도 본연구와 유사한 경향을 나타낸 연구에는 강황분말 첨가 마들렌(Jun KS 2019), 홍게살 분말 첨가 마들렌(Kim BM 등 2016), 타트체리 분말 첨가 마들렌(Yoon JA 등 2024a), 솔잎분말 첨가 마들렌(Kim WJ 등 2014), 깻잎 분말 첨가 마들렌(Yoon JA 등 2024b), 레드비트 분말 첨가 마들렌(Lee YK & Lee IS 2024), 땅콩 새싹 분말 첨가 마들렌(Lee YK 등 2024) 등이 있다. 반면 시료의 첨가량이 증가할수록 붉은색인 a값이 감소한 경우에는 골드키위 유산균 발효물첨가 마들렌(Ryu JY 등 2018), 유기농 인삼 잎 첨가 마들렌(Kim KP 등 2016) 등의 연구가 있다.

황색을 나타내는 b값(yellowness)은 빌베리 분말을 0, 5, 10, 20 및 30% 첨가군에서 각각 35.31 ± 0.48 , 27.93 ± 0.53 ,

Table 4. Color values of madeleine prepared with different level with *Vaccinium myrtillus* L. powder

Property	<i>Vaccinium myrtillus</i> L. powder content (%)				
	0 ¹⁾	5	10	20	30
L (lightness)	$82.05 \pm 0.71^{2)a3}$	73.17 ± 1.24^b	66.68 ± 0.44^c	59.23 ± 1.24^d	54.48 ± 1.18^e
a (redness)	-2.94 ± 0.18^c	-0.48 ± 0.19^d	1.72 ± 0.15^e	3.37 ± 0.17^b	5.72 ± 0.25^a
b (yellowness)	35.31 ± 0.48^a	27.93 ± 0.53^b	19.61 ± 0.31^c	17.77 ± 0.23^d	13.92 ± 0.18^e

¹⁾ Refer to the formula in Table 1.

²⁾ All values are mean±standard deviation (S.D.).

³⁾ Values with different letters within the same row are significantly different at $p < 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

19.61±0.31, 17.77±0.23, 13.92±0.18로 L값과 유사한 경향을 보여 대조군에서 가장 높았고, 빌베리 첨가량이 증가할수록 유의적으로 낮아져 황색이 없어진 것으로 보인다($p<0.05$). 이와 유사하게 나한과 추출 분말 첨가 마들렌의 b값은 대조군 41.41에서 32g 첨가군 24.99로 나한과 첨가량이 증가할수록 낮은 값을 나타냈다(Shin JH & Yoon HH 2024). 또한, 땅콩 새싹 분말 첨가 마들렌(Lee YK 등 2024), 레드비트 분말 첨가 마들렌(Lee YK & Lee IS 2024), 볶음 검정콩을 첨가한 마들렌(Jeon JE & Lee IS 2022), 솔잎분말 첨가 마들렌(Kim WJ 등 2014), 타트체리 분말 첨가 마들렌(Yoon JA 등 2024a), 복숭아즙을 첨가한 마들렌(Lim YT 등 2012)에서도 시료의 첨가량이 증가할수록 b값은 낮아져 황색이 없어진 것으로 나타났다. 반면 꾀피 분말 첨가 마들렌의 b값은 대조군 39.68, 40% 첨가군 41.36으로 시료의 첨가량이 증가할수록 황색은 짙어져 본 연구와 대비되는 경향을 보였고(Yoon JA 2024), 이러한 경향은 강황 분말 첨가 마들렌(Jun KS 2019), 골드키위의 유산균 발효물 분말 첨가 마들렌(Ryu JY 등 2018), 홍게 다릿살 분말 첨가 마들렌(Kim BM 등 2016), 생강청 첨가 마들렌(Lee HJ 등 2022)에서도 나타나 시료의 첨가량이 증가할수록 b값은 증가하였다.

마들렌을 굽는 과정에서 재료로 사용된 당이 캐러멜화하여 갈변하고, 재료에 들어 있는 polyphenol 화합물이 polyphenol 산화효소에 의해 산화되어 갈색 색소를 형성하기도 하며, 열의 전도가 마들렌의 겉면에 전달된 후 내면으로 전도되므로 색상의 변화는 겉면이 강하고 내면은 상대적으로 겉면보다 약할 수밖에 없어 마들렌을 관찰하였을 때 겉면의 색이 내부의 색보다 진하게 된다(Lim YT 등 2012). 또한, 재료의 특성

에 의해 고유의 색이 있으며 첨가하는 재료의 색소 의해 마들렌의 색 형성도 영향을 받는데(Kim DY & Yoo SS 2017). 빌베리 분말의 첨가량이 증가할수록 명도는 증가했고, 붉은 색은 짙어졌으며, 황색은 없어졌는데, 이는 빌베리의 색소와 폴리페놀 및 당의 함량에 의한 특성 때문으로 사료된다.

빌베리 분말을 첨가한 마들렌의 사진은 윗면의 외관과 반을 자른 단면을 찍어 Fig. 1에 나타냈다. 빌베리 분말의 첨가량이 증가할수록 마들렌의 붉은색은 진하고 어두워졌고, 마들렌의 높이가 낮아졌는데, 높이의 감소는 마들렌을 만들 때 밀가루 첨가량이 감소하게 되면 gluten을 형성하는 데 필요한 수분의 양을 충족하지 못하게 되고 이는 마들렌 구조의 약화를 초래하게 되어 높이의 감소로 이어지게 된다(Lim EJ 2023). 이러한 이유로 빌베리 첨가량의 증가는 마들렌 높이의 감소를 유발하였다는 것을 Fig. 1에서 확인할 수 있었다.

4. 기호도 검사

빌베리 분말을 첨가한 마들렌의 기호도 검사는 appearance, flavor, taste, texture와 overall preference의 5가지 항목을 측정하여 Table 5와 같고, 겉모습(appearance)에 대한 선호도는 빌베리 분말을 0, 5, 10, 20 및 30% 첨가군에서 각각 4.43±0.88, 3.61±0.92, 3.64±0.95, 3.29±1.21, 2.75±1.32로 대조군의 선호도가 가장 높았으며 빌베리 첨가량이 증가할수록 마들렌의 겉모습에 대한 선호도는 감소하였다($p<0.05$). 소비자는 과거 경험을 통해 습득한 결과를 토대로 식품의 색을 보고 맛과 향을 연상하게 되고, 식품의 종류에 대한 모양과 색 및 맛과 향에 대한 기대치가 있어 이 범위를 벗어나게 되면 거부감을 느끼는데, 본 연구에서 대조군의 외관을 가장 선호한

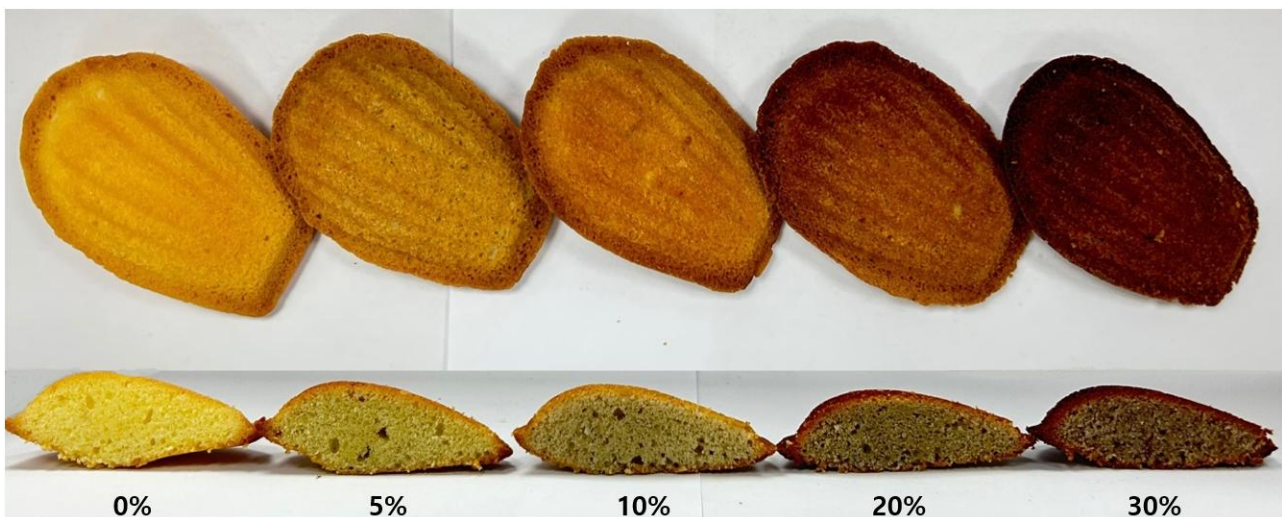


Fig. 1. Madeleine with various levels of supplemental *Vaccinium myrtillus* L. powder. 0%: Control (flour without *Vaccinium myrtillus* L. powder), 5%: Flour with 5% *Vaccinium myrtillus* L. powder, 10%: Flour with 10% *Vaccinium myrtillus* L. powder, 20%: Flour with 20% *Vaccinium myrtillus* L. powder, 30%: Flour with 30% *Vaccinium myrtillus* L. powder

것도 이러한 이유 때문으로 보이며 레드비트 분말 첨가 마들렌의 외관에 대한 기호도 역시 본 연구와 유사하게 시료의 첨가량이 증가할수록 감소하였는데(Lee YK & Lee IS 2024), 볶음 검정콩가루 첨가 마들렌(Jeon JE & Lee IS 2022), 진피 가루를 첨가한 마들렌(Kang JH & Chung CH 2020), 굴피 첨가 마들렌(Yoon JA 2024)에서도 유사한 결과를 보였다.

냄새(flavor)에 대한 선호도는 빌베리 분말을 0, 5, 10, 20 및 30% 첨가군에서 각각 3.50 ± 0.75 , 3.68 ± 0.86 , 3.93 ± 0.72 , 3.61 ± 0.96 , 3.57 ± 0.88 로 빌베리 첨가량이 영향을 미치지 못했고, 마들렌을 먹을 때의 질감인 texture도 냄새와 비슷한 경향을 보여 0, 5, 10, 20 및 30% 첨가군에서 각각 3.61 ± 1.10 , 3.46 ± 1.10 , 3.64 ± 1.16 , 3.93 ± 1.33 , 3.75 ± 1.21 로 유의적인 차이가 없었다. 이러한 경향은 타트체리 첨가 마들렌에서도 나타나 타트체리 첨가가 냄새와 질감에 영향을 미치지 못했고(Yoon JA 등 2024a), 발효 장군차 분말 첨가 마들렌에서도 같은 결과를 보였다(Choi YJ 등 2022).

마들렌의 맛(taste)에 대한 기호도는 빌베리를 첨가하지 않은 대조군 3.39 ± 0.79 와 30% 첨가군 3.39 ± 0.96 으로 비슷한 값으로 선호도가 낮았으며, 10% 첨가군 3.96 ± 0.92 와 20% 첨가군 4.07 ± 0.81 로 유의적으로 높은 선호도를 보였다($p<0.05$). 강황분말 첨가 마들렌에서는 5%와 10% 첨가군의 맛에 대한 선호도가 높았고(Jun KS 2019), 복숭아즙을 첨가한 마들렌은 20%와 40% 첨가 시 맛에 대한 선호도가 높았다(Lim YT 등 2012) 그러나 진피가루 첨가 마들렌(Kang JH & Chung CH 2020), 타트체리 첨가 마들렌(Yoon JA 등 2024a), 레드비트 분말 첨가 마들렌(Lee YK & Lee IS 2024) 및 굴피첨가 마들렌(Yoon JA 2024)에서는 시료의 첨가가 맛에 대한 기호도에 영향을 미치지 못했다.

전반적인 선호도(overall preference) 역시 맛에 대한 선호도와 유사한 경향을 보여 10% 첨가군 3.79 ± 0.83 과 20% 첨가군 4.11 ± 0.99 로 유의적으로 선호도가 높게 나타났고, 30% 첨

가군이 2.96 ± 1.14 로 가장 낮은 선호도를 보였다($p<0.05$). Choi YJ 등(2022)의 발효 장군차 분말 첨가 마들렌에서는 맛과 조직감에서 3% 첨가군에서 선호도가 가장 높았고, Kim KP 등(2016)의 유기농 인삼 잎 첨가 마들렌에서는 3%와 6% 첨가 시 건강 한 이미지, 색, 전반적인 선호도에서 우수하였으며, Kim BM 등(2016)의 홍계 다릿살 분말 첨가 마들렌에서는 외관, 색감, 맛, 향, 전반적인 만족도면에서 10% 첨가군이 가장 만족도가 높았고, Lim YT 등(2012)의 복숭아즙 첨가 마들렌에서는 맛, 색감, 향, 전반적인 만족도에서 20% 첨가군의 선호도가 높았다. 빌베리 분말을 첨가한 돈육 패티의 연구에서 5명의 관능평가원을 훈련시켜 7점 척도법으로 기호도 검사를 한 결과 다즙성, 신맛, 단맛 및 전반적인 기호도는 빌베리 첨가에 긍정적이지 못한 결과를 보였으나 색, 외관 및 풍미에서는 긍정적인 결과가 나와 이 결과를 바탕으로 반응표면분석을 하여 2.58 g이라는 빌베리의 최적 첨가량을 얻었다(Lee HJ 등 2024). 이러한 결과들을 바탕으로 빌베리 분말을 첨가하여 마들렌을 제조하는 것은 기호도 측면에서 보면 빌베리를 첨가하지 않고 마들렌을 제조하는 것보다 선호도가 높다고 판단되며, 기호도 측면에서 빌베리 분말의 최적 함량은 마들렌의 겉모습, 맛 및 종합적인 선호도에서 10% 및 20% 첨가가 우수하게 나타났다.

5. 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량

빌베리 분말 첨가 마들렌의 항산화력을 검사하기 위한 항산화 성분인 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량은 Table 6과 같이 총 폴리페놀은 빌베리 분말을 0, 5, 10, 20 및 30% 첨가군에서 각각 3.16 ± 0.06 , 4.30 ± 0.02 , 4.44 ± 0.01 , 4.62 ± 0.11 , 5.42 ± 0.07 mg GAE/g으로 대조군이 가장 낮고 빌베리 첨가량이 증가할수록 총 폴리페놀 함량도 증가하였다($p<0.05$). 폴리페놀은 식물의 대사산물로 방향족 탄화수소에 OH(하이드록시)기를 가지고 있는 구조로 수소 공여체, 활성산소 제

Table 5. Sensory evaluation of preference test of madeleines prepared with *Vaccinium myrtillus* L. powder

	<i>Vaccinium myrtillus</i> L. powder content (%)				
	0 ¹⁾	5	10	20	30
Appearance	$4.43\pm 0.88^{2(a3)}$	3.61 ± 0.92^b	3.64 ± 0.95^b	3.29 ± 1.21^{bc}	2.75 ± 1.32^c
Flavor	3.50 ± 0.75^a	3.68 ± 0.86^a	3.93 ± 0.72^a	3.61 ± 0.96^a	3.57 ± 0.88^a
Taste	3.39 ± 0.79^b	3.61 ± 0.96^{ab}	3.96 ± 0.92^a	4.07 ± 0.81^a	3.39 ± 0.96^b
Texture	3.61 ± 1.10^a	3.46 ± 1.10^a	3.64 ± 1.16^a	3.93 ± 1.33^a	3.75 ± 1.21^a
Overall acceptance	3.39 ± 0.99^{bc}	3.29 ± 0.98^{bc}	3.79 ± 0.83^{ab}	4.11 ± 0.99^a	2.96 ± 1.14^c

¹⁾ Refer to the formula in Table 1.

²⁾ All values are mean±standard deviation (S.D.). 5 Point intensity scale (1: extremely dislike, 3: moderate, 5: extremely like).

³⁾ Values with different letters within the same row are significantly different at $p<0.05$ according to Duncan's multiple range test.

Table 6. Total polyphenol and total flavonoid contents of madeleines prepared with *Vaccinium myrtillus* L. powder

Property	<i>Vaccinium myrtillus</i> L. powder content (%)				
	0 ¹⁾	5	10	20	30
Total polyphenolic content (mg GAE ⁴⁾ /g)	3.16±0.06 ²⁾³⁾	4.30±0.02 ^d	4.44±0.01 ^c	4.62±0.11 ^b	5.42±0.07 ^a
Total flavonoid content (µg QE ⁵⁾ /g)	2.76±0.09 ^e	4.38±0.51 ^d	5.49±0.33 ^c	7.97±0.47 ^b	11.95±0.86 ^a

1) Refer to the formula in Table 1.

2) All values are mean±standard deviation (S.D.).

3) Values with different letters within the same row are significantly different at $p < 0.05$ according to Duncan's multiple range test.

4) GAE: gallic acid equivalent.

5) QE: quercetin equivalent.

거 및 자유 라디칼을 제거하여 항산화 활성 등의 생리활성을 가지고 있으며 타닌, 플라보노이드 등이 폴리페놀류에 속한다(Ryu JY 등 2018; Yoon JA 2024). Lee HJ 등(2024)의 연구에 따르면 빌베리 분말의 총 폴리페놀 함량은 311.81 µg GAE/µg으로 측정되었고, Li H & Jeong JM(2015)의 연구에 의하면 베리류의 총 폴리페놀 함량은 블루베리 52.58 mg CAE(chlorogenic acid equivalent)/g, 아로니아 136.23 mg CAE/g, 아사이베리 71.59 mg CAE/g, 크랜베리 36.89 mg CAE/g 등으로 나타나 빌베리의 총 폴리페놀 함량이 높은 것으로 나타났다. 갯잎 분말을 첨가한 마들렌의 선행 연구(Yoon JA 등 2024b)에서 총 폴리페놀 함량은 대조군이 0.48 mg GAE/g으로 가장 낮았고, 40% 첨가군에서 1.52 mg GAE/g으로 가장 높은 값을 나타나 갯잎 분말 첨가량이 많아질수록 총 폴리페놀의 함량도 증가하였다. 솔잎분말 첨가 마들렌의 연구(Kim WJ 등 2014)에서는 5g 첨가군에서 총 폴리페놀 함량이 0.03 g GAE/mL로 대조군 0.02 g GAE/mL보다 높았으며, 굴피 첨가 마들렌의 연구(Yoon JA 2024)에서는 대조군 0.73±0.03 mg GAE/g, 40% 첨가군에서 3.33±0.16 mg GAE/g로 측정되었고, 골드키위의 유산균 발효물 첨가 마들렌의 연구(Ryu JY 등 2018)에서 대조군 0.14 mg GAE/g, 3% 첨가군에서 0.31 mg GAE/g로 측정되었다. 선행연구들에서도 본 연구와 유사하게 시료의 첨가량이 증가할수록 총 페놀의 함량도 증가하는 경향을 확인할 수 있었다.

식물의 대사산물로 유래한 플라보노이드는 아스코르브산, 페놀 화합물, 알칼로이드 등과 천연 항산화제로 항염, 항암, 항균 등의 활성이 보고되어 있다(Benavente-Garcia O & Castillo J 2008; Kim JH 등 2022). 본 연구에서 총 플라보노이드도 총 폴리페놀과 비슷한 경향을 보여 빌베리 분말을 0, 5, 10, 20 및 30% 첨가군에서 각각 2.76±0.09, 4.38±0.51, 5.49±0.33, 7.97±0.47, 11.95±0.86 µg QE/g으로 대조군이 가장 낮고 빌베리 첨가량이 증가할수록 총 플라보노이드 함량도 증가하였다($p < 0.05$). 빌베리 분말의 총 플라보노이드 함량은 1,110.86 µg Rutin/µg으로 측정되었고(Lee HJ 등 2024),

베리류의 총 플라보노이드 함량은 블루베리 1.98 mg QE/g, 아로니아 3.42 mg QE/g, 아사이베리 0.73 mg QE/g, 크랜베리 1.29 mg QE/g 등으로 나타났다(Li H & Jeong JM 2015). 골드키위 유산균 발효물을 첨가한 마들렌에서 대조군의 플라보노이드 함량은 0.03 mg RE(rutin equivalents)/g, 3% 첨가군에서 0.04 mg RE/g를 나타냈고(Ryu JY 등 2018), 굴피 첨가 마들렌에서는 대조군 2.97±0.31 mg QE/g, 40% 첨가군 6.67±0.28 mg QE/g으로 측정되었고(Yoon JA 2024), 솔잎분말을 첨가한 마들렌에서는 5g 첨가군에서 총 플라보노이드 함량이 0.022 g QE/mL로 대조군 0.003 g QE/mL보다 높았으며(Kim WJ 등 2014), 진피가루를 첨가한 마들렌에서 대조군 0.77 mg/g으로 가장 낮았고 10% 첨가군 1.38 mg/g으로 가장 높았다(Kang JH & Chung CH 2020). 본 연구에서 빌베리 첨가량이 증가함에 따라 총 플라보노이드 함량도 총 폴리페놀 함량과 유사하게 농도 비례적으로 증가하는 경향을 보였는데 선행연구들에서도 동일한 결과를 확인할 수 있었다.

6. DPPH 및 ABTS 라디칼 소거 활성

빌베리 분말을 첨가한 마들렌의 항산화력 검색을 위한 DPPH radical scavenging activity는 Fig. 2와 같고, 빌베리 분말을 0, 5, 10, 20 및 30% 첨가군에서 각각 23.60±0.56, 35.64±0.49, 40.11±0.87, 46.78±0.37, 48.51±0.07%로 빌베리 첨가량에 비례하여 유의하게 증가하였고, ascorbic acid는 86.28%로 측정되었다($p < 0.05$). 인체는 다양한 생화학반응에서 자유 radical을 형성하고, 형성된 자유 radical은 ATP 생성 과정에서 잔류하는 산소와 반응하여 과산화물을 형성하게 되며, 이러한 물질들은 노화와 만성질환을 유발하는데 항산화 물질은 이러한 과정을 차단하는 역할을 한다(Ryu JY 등 2018; Yoon JA 2024). DPPH radical과 ABTS radical은 자유 radical로 항산화 물질인 ascorbic acid, quercetin 및 butylated hydroxy anisole(BHA) 등과 반응하여 변색되고, 이 변색의 정도를 측정하여 항산화 활성을 계산하는데 DPPH radical scavenging activity는 보라색이 탈색되어 노란색으로 변색되

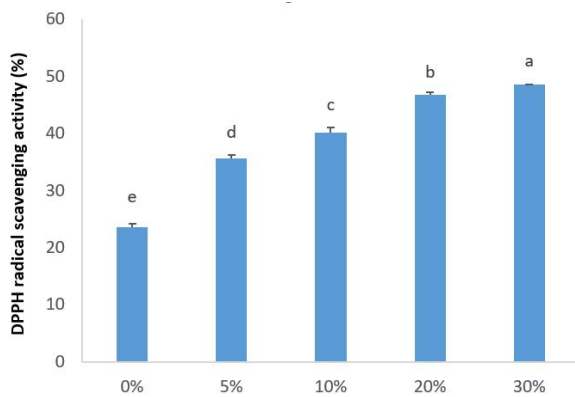


Fig. 2. DPPH radical scavenging activities in madeleine added with different level of *Vaccinium myrtillus* L. powder. All values are mean±standard deviation (S.D.). Values with different letters were significantly different at $p<0.05$ according to Duncan's multiple range test. 0%: Control (flour without *Vaccinium myrtillus* L. powder), 5%: Flour with 5% *Vaccinium myrtillus* L. powder, 10%: Flour with 10% *Vaccinium myrtillus* L. powder, 20%: Flour with 20% *Vaccinium myrtillus* L. powder, 30%: Flour with 30% *Vaccinium myrtillus* L. powder

는 정도를 측정한다(Chung HJ 등 2015; Kim YJ 등 2024). Lee HJ 등(2024)의 연구에 따르면 빌베리 분말의 DPPH 라디칼 소거능은 88.83%로 높게 나타났으며 이는 아스코르브산 86.28%보다 높은 수준이다. 타트체리를 첨가한 마들렌의 연구에서 DPPH 라디칼 소거 활성은 40% 첨가군에서 $16.94\pm 1.43\%$ 로 타트체리 첨가량이 증가할수록 증가하였으며(Yoon JA 등 2024a), 진피가루를 첨가한 마들렌의 연구에서는 10% 첨가군에서 83.43%를 나타냈으며(Kang JH & Chung CH 2020), 솔잎분말과 생즙을 첨가한 마들렌은 솔잎분말을 5% 첨가군에서 약 82% 정도의 높은 DPPH 라디칼 소거 활성을 보였고(Kim WJ 등 2014), 발효 장군차를 첨가한 마들렌의 연구에서는 농도 의존적인 활성의 증가를 보여 1 mg/mL 농도에서 71.02%를 나타냈으며(Choi YJ 등 2022), 굴피 분말을 첨가한 마들렌은 40%에서 $45.29\pm 7.42\%$ 를 보였고(Yoon JA 2024), 깻잎 분말 첨가 마들렌은 40% 첨가군에서 $49.68\pm 2.22\%$ 를 나타냈다(Yoon JA 등 2024b). 이러한 선행 연구의 결과들은 모두 농도 의존적으로 DPPH 라디칼 소거 활성의 증가를 보였으며 본 연구와 같은 결과를 보였다.

ABTS radical scavenging activity는 chain breaking 항산화제와 hydrogen donating 항산화제 측정이 가능하며 청록색이 탈색되어 하늘색으로 변색되는 정도를 측정하여 산출하는데 빌베리 분말을 첨가한 마들렌의 측정값은 Fig. 3과 같다(Chung HJ 등 2015). ABTS 라디칼 소거능은 빌베리 분말을 0, 5, 10, 20 및 30% 첨가군에서 각각 18.00 ± 0.68 , 23.17 ± 0.57 , 27.93 ± 0.62 , 34.01 ± 0.35 , $43.58\pm 0.08\%$ 로 측정되었으며, ascorbic

acid는 32.82%로 측정되어 빌베리 첨가량이 증가할수록 DPPH 라디칼 소거능과 유사한 경향을 보이며 증가하였다($p<0.05$). 선행연구의 ABTS 라디칼 소거능을 살펴보면 깻잎 분말 40% 첨가 마들렌은 $42.62\pm 0.87\%$ 의 활성을 보였고(Yoon JA 등 2024b), 굴피 분말 40% 첨가 마들렌은 74.352%였으며(Yoon JA 2024), 타트체리 분말을 40% 첨가한 마들렌은 $61.13\pm 0.05\%$ 의 활성을 보였다(Yoon JA 등 2024a). 이러한 경향은 본 연구와 유사하게 나타나 항산화 활성은 농도에 비례하게 증가하는 것을 확인 할 수 있었다.

빌베리에는 anthocyanin, ascorbic acid 등의 항산화 성분이 함유되어 있으며 시력을 개선하고 돌연변이 유발을 예방하며, 항균과 항염의 질병 예방효과가 있다(Chan SW & Tomlinson B 2020; Lee HJ 등 2024). 빌베리에 함유된 항산화 성분인 polyphenol과 flavonoids 성분이 DPPH와 ABTS 라디칼 소거 활성에 영향을 미친 것으로 사료되며, 빌베리를 식품 등에 활용하여 기능성을 지닌 제품 개발에 활용할 가능성이 있는 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 우수한 기능성을 지닌 소재로 빌베리를 활용하여 마들렌을 제조하고 제품 특성, 소비자의 기호도 및 항산화 활성을 측정하여 빌베리의 최적 첨가량을 확인하고자 빌베리 분말을 0, 5, 10, 20 및 30% 첨가하여 마들렌을 만들었다. 마들렌의 빌베리 첨가량이 증가함에 따라 무게의 증가와 높이의 감소를 보였으며, 부피는 변화가 없었고, 굽기 손실

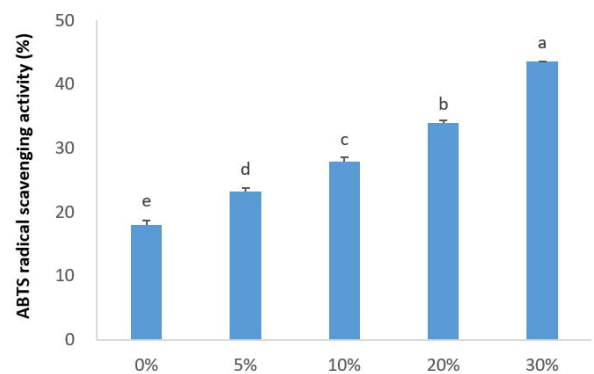


Fig. 3. ABTS radical scavenging activities in madeleine added with different level of *Vaccinium myrtillus* L. powder. All values are mean±standard deviation (S.D.). Values with different letters were significantly different at $p<0.05$ according to Duncan's multiple range test. 0%: Control (flour without *Vaccinium myrtillus* L. powder), 5%: Flour with 5% *Vaccinium myrtillus* L. powder, 10%: Flour with 10% *Vaccinium myrtillus* L. powder, 20%: Flour with 20% *Vaccinium myrtillus* L. powder, 30%: Flour with 30% *Vaccinium myrtillus* L. powder

율은 감소하였으며, 수율은 증가하였다($p<0.05$). 수분함량은 대조군 11.16%, 30% 첨가군 14.24%로 빌베리 첨가량이 증가할수록 증가하였고, pH는 반대로 대조군 7.20, 30% 첨가군 6.63으로 빌베리 첨가량이 많아질수록 감소하였다($p<0.05$). 색도는 짙은 보라색인 빌베리 첨가량이 증가할수록 L값은 낮아졌고, a값은 증가하였으며 b값은 감소하여 붉은색은 진해지고 어두워졌다($p<0.05$). 기호도는 겉모습은 빌베리 첨가량이 증가할수록 감소하였고, 냄새와 질감은 첨가량에 영향이 없었으며, 맛과 전반적인 기호에서는 10%와 20% 첨가군이 높은 선호도를 보였다($p<0.05$). 총 폴리페놀 함량은 30% 첨가군 5.42 mg GAE/g, 총 플라보노이드 함량은 30% 첨가군 11.95 μ g QE/g으로 빌베리 첨가량 증가에 비례하여 증가하였고, DPPH 라디칼 소거능은 30% 첨가군 48.51%, ABTS 라디칼 소거능은 30% 첨가군 43.58%로 빌베리 첨가량 증가에 비례하여 증가하였다($p<0.05$). 이러한 결과들을 종합하면 품질 특성 및 기호도 면에서나 항산화 활성 면에서 빌베리 분말을 첨가하여 마들렌을 제조하였을 때 가장 적합한 배합 비율은 빌베리 분말을 20% 첨가하는 것으로 판단되며, 향후 빌베리를 항산화 등의 기능성을 지닌 식품소재로써 개발하기 위한 다양한 제품 개발과 연구가 이루어져야 할 것이라고 사료된다.

REFERENCES

- AOAC (2000) Official Method of Analysis. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC. pp 33-36.
- Arao MB, Cano A, Acosta M (2001) The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chem* 73(2): 239-244.
- Bae JH, Jung IC (2013) Quality characteristics of muffin added with buckwheat powder. *J East Asian Soc Diet Life* 23(4): 430-436.
- Benavente-Garcia O, Castillo J (2008) Update on uses and properties of citrus flavonoids: New findings in anticancer, cardiovascular, and anti-inflammatory activity. *J Agric Food Chem* 56(15): 6185-6205.
- Blois MS (1958) Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature* 181(4617): 1199-1200.
- Chan SW, Tomlinson B (2020) Effects of bilberry supplementation on metabolic and cardiovascular disease risk. *Molecules* 25(7): 1653.
- Choi EJ (2013) Inhibitory effects of five different berries, bilberry, blueberry, cranberry, elderberry, and raspberry, on the activities of five UGTs in vitro and in vivo. MS Thesis Catholic University, Gyeonggi-do. pp 6-7.
- Choi YJ, Kim MH, Park MH, Mun GR, Ryu HS, Han DH, Lee B, Cho BS, Park YJ, Park SY, Park YJ, Jung KI (2022) Physiological activity of fermented *Jangguntea* and its quality characteristics in madeleine. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 51(5): 448-456.
- Chung HJ, Kim CJ, Choi YS (2015) Comparison of antioxidant and nitrite scavenging activities of different colored kiwis cultivated in Korea. *J Korean Soc Food Cult* 30(2): 220-226.
- Crozier A, Jaganath IB, Clifford MN (2009) Dietary phenolics: Chemistry, bioavailability and effects on health. *Nat Prod Rep* 26(8): 1001-1043.
- Folin O, Denis W (1912) On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J Biological Chem* 12(2): 239-243.
- Friendrich H, Schönert J (1973) Tannin-producing substances in the leaves and fruits of the bilberry. *Arch Pharm* 306(8): 611-618.
- Jakesevic M, Aaby K, Borge G, Jeppsson B, Ahmé S, Molin G (2011) Antioxidative protection of dietary bilberry, chokeberry and *Lactobacillus plantarum* HEAL19 in mice subjected to intestinal oxidative stress by ischemia-reperfusion. *BMC Complement Altern Med* 11: 8.
- Jeon JE, Lee IS (2022) Quality characteristics of madeleines made with the addition of roasted black soybean flour. *J Korean Soc Food Cult* 37(6): 529-539.
- Jun KS (2019) Quality characteristics of madeleine adding with curcuma aromatica powder. *Culi Sci & Hos Res* 25(11): 114-123.
- Kamiya K, Kobashi H, Fujiwara K, Ando W, Shimizu K (2013) Effect of fermented bilberry extracts on visual outcomes in eyes with myopia: A prospective, randomized, placebo-controlled study. *J Ocul Pharmacol Ther* 29(3): 356-359.
- Kang JH, Chung CH (2020) Quality characteristics of madeleine with added *Citrus manarin* peel powder. *Culi Sci & Hos Res* 26(1): 135-145.
- Karlsen A, Paur I, Bøhn SK, Sakhi AK, Borge GI, Serafini M, Erlund I, Laake P, Tonstad S, Blomhoff R (2010) Bilberry juice modulates plasma concentration of NF-kappaB related inflammatory markers in subjects at increased risk of CVD. *Eur J Nutr* 49(6): 345-355.

- Khoo HE, Azlan A, Tang ST, Lim SM (2017) Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food pharmaceutical ingredients and the potential health benefits. *Food Nutr Res* 61(1): 1361779.
- Kim BM, Jung MJ, Jun JY, Kim DS, Jeong IH (2016) The quality characteristics and processing of madeleine containing red snow crab *Chionoecetes japonicus* leg-meat powder. *Korean J Fish Aquat Sci* 49(3): 277-284.
- Kim DY, Yoo SS (2017) Quality characteristics and antioxidant activities of cookies added with Gochujang. *J East Asian Soc Diet Life* 27(2): 148-158.
- Kim JH, Hwang YS, Park JH, Kang MH, Oh YS, Kim JW (2022) Determination of antioxidant activities and bioactive compounds from rosa rugosa extract. *J Life Sci* 32(11): 841-846.
- Kim KP, Kim KH, Yook HS (2016) Quality characteristics of madeleine added with organic ginseng (*Panax ginseng* C. A. Meyer) leaf. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 45(5): 717-722.
- Kim WJ, Kim JM, Cheong HS, Huh YR, Shin MS (2014) Antioxidative activity and quality characteristics of rice madeleine added with pine needle powder and extract. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43(3): 446-453.
- Kim YJ, Choi JH, Kim SB, Hwang JM, Choi HY (2024) Quality characteristics and antioxidant activity of rice muffins added with *Orostachys japonicus* powder. *Food Sci Preserv* 31(4): 660-672.
- Kolosova NG, Shcheglova TV, Sergeeva SV, Loskutova LV (2006) Long-term antioxidant supplementation attenuates oxidative stress markers and cognitive deficits in senescent-accelerated OXYS rats. *Neurobiol Aging* 27(9): 1289-1297.
- Lee HJ, Kim DS, Joo NM (2024) Quality characteristics of pork patty with added bilberry powder. *Korean J Food Cook Sci* 40(4): 228-238.
- Lee HJ, Park EB, Ryu SI, Paik JK (2022) Quality and characteristics of madeleine that is helpful for hypercholesterolemia using ginger syrup. *Korean J Food Nutr* 35(4): 231-238.
- Lee SO (2012) Antioxidant and antibacterial activity of ethanol and methanol extracts from *Vaccinium corymbosum*. MS Thesis Sunchon National University, Jeollanam-do. pp 1-2.
- Lee YK, Jung YS, Cho EC, Kim DH, Shin KO (2024) Quality characteristics of madeleines prepared with the addition of peanut sprout powder. *J East Asian Soc Diet Life* 34(4): 298-309.
- Lee YK, Lee IS (2024) Effect of red beetroot powder addition on quality characteristics of madeleine. *FoodService Industry Journal* 20(5): 163-175.
- Leopold JA, Loscalzo J (2008) Oxidative mechanisms and atherothrombotic cardiovascular disease. *Drug Discov Today Ther Strateg* 5(1): 5-13.
- Li H, Jeong JM (2015) Antioxidant activities of various berries ethanolic extract. *Korean J Medicinal Crop Sci* 23(1): 49-56.
- Lim EJ (2023) Study of the quality characteristics of cookies made with the addition of *Citrus unshiu* markovich peel powder. *J East Asian Soc Diet Life* 33(6): 503-511.
- Lim YT, Kim DH, Ahn JB, Choi SH, Han GP, Kim GH, Jang KI (2012) Quality characteristics of madeleine with peach (*Prunus persica* L. Batsch) juice. *Korean J Food Nutr* 25: 664-670.
- Moreno MIN, Isla MI, Sampietro AR, Vattuone MA (2000) Comparison of the free radical-scavenging activity of propolis from several regions of Argentina. *J Ethnopharmacol* 71(1-2): 109-114.
- Park SH, Lim SI (2007) Quality characteristics of muffin added red yeast rice flour. *Korean J Food Sci Technol* 39(3): 272-275.
- Park SM (2015) Development strategy study eyes nutrients containing bilberry extract. MS Thesis Chungbuk National University, Cheongju. pp 37-42.
- Piberger H, Oehme A, Hofmann C, Dreiseitel A, Sand P, Obermeier F, Schoelmerich J, Schreier P, Krammer G, Rogler G (2011) Bilberries and their anthocyanins ameliorate experimental colitis. *Mol Nutr Food Res* 55(11): 1724-1729.
- Ryu JY, Park HJ, Lee SL, Koh SY, Lim HJ, Kim HA, Cho SK (2018) Quality characteristics of madeleine added with halla gold kiwifruit fermented by lactic acid bacteria. *Food Sci Preserv* 25(2): 205-211.
- Seeram NP (2012) Emerging research supporting the positive effects of berries on human health and disease prevention. *J Agric Food Chem* 60(23): 5685-5686.
- Shin JH, Yoon HH (2024) A study on sensory quality characteristics of madeleine sweetened with monk fruit extract powder. *Culi Sci & Hos Res* 30(7): 48-58.
- Yoon JA (2022) Quality characteristics of muffins supplemented with *Porphyra dentata* powder. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 51(10): 1066-1073.

- Yoon JA (2024) Quality characteristics and antioxidative activity of madeleine added with citrus peel powder. J East Asian Soc Diet Life 34(4): 249-261.
- Yoon JA, Jeong J, Kim DH, Shin KO (2024a) Physicochemical quality characteristics of madeleines made with the addition of *Prunus cerasus* L. powder. J East Asian Soc Diet Life 34(4): 239-248.
- Yoon JA, Park SJ, Kim DH, Lee JM, Shin KO (2024b) Quality characteristics and antioxidant effects of madeleines added with *Periplla frutescens* (L.) Britton powder. J East Asian Soc Diet Life 34(3): 143-153.
- Youn JH, Kim JM, Whang WK (2015) Comparative antioxidant activity of korean and canadian high bush blueberry fructus. Yakhak Hoeji 59(3): 107-112.
-

Date Received Nov. 12, 2025
Date Revised Dec. 2, 2025
Date Accepted Dec. 3, 2025