

아사이베리 농축액 함유 나노캡슐을 첨가한 머핀의 항산화 활성 및 품질 특성

박재범¹ · 이광연¹ · 이현규^{1,*}

¹한양대학교 식품영양학과

Physicochemical and antioxidant properties of muffins with acai berry concentrate-loaded nanocapsules

Jae Bum Park¹, Kwang Yeon Lee¹, and Hyeon Gyu Lee^{1,*}

¹Department of Food and Nutrition, Hanyang University

Abstract In this study, the physical characteristics, antioxidant activity, and stability of muffins prepared with acai berry concentrate-loaded nanocapsules were evaluated. The size of the acai berry nanocapsules significantly increased with higher chitosan and lower Arabic gum concentrations. Based on the total phenolic content and antioxidant activity, the free acai berry concentrate showed significantly stronger antioxidant activity than that of the acai berry concentrate-loaded nanocapsules using chitosan and Arabic gum because of the entrapment of encapsulated acai berry. The physicochemical and textural properties of the muffin prepared with acai berry concentrate-loaded nanocapsules did not show notable differences compared with the control muffin. However, the stability of acai berry concentrate in terms of total phenolic content and antioxidant activity was effectively enhanced by nanoencapsulation while baking the muffin. This study suggested that acai berry concentrate-loaded nanocapsules are potential ingredients for bakery products.

Keywords: nanoencapsulation, acai berry, muffin, antioxidant activity, heat stability

서 론

우리나라의 식생활 형태 변화로 인해 간편함 위주의 식단으로 바뀌고, 간단하게 식사를 해결하고자 하는 소비자들의 요구가 증가됨에 따라 다양한 제과·제빵류의 소비가 증대되고 있다. 그 중에서도 머핀은 간단한 식사와 간식 대용으로 많이 소비되고 있으며, 다른 부재료의 첨가가 용이하여 다양한 제품으로 제조할 수 있어 시중에서도 재료에 따라 호두머핀, 블루베리 머핀, 바나나 머핀, 초콜릿 머핀 등을 쉽게 접할 수 있다(Heo 등, 2010; Park, 2016).

한편, 풍요로워진 식생활로 인하여 비만, 당뇨, 고혈압, 심장병 등의 성인병이 증가함에 따라 최근에는 자연에서 얻을 수 있는 식물의 기능성과 다양한 생리적 효과에 대한 많은 관심이 증대되고 있어 제과·제빵류에도 건강기능성 소재의 개발과 제품 연구가 활발히 진행되고 있다(Kwon과 Lee, 2015; Lee, 2015). 그 중에서도 베리류(berry)는 폴리페놀, α -토코페롤 등이 다량 포함되어 있어 생리활성 및 항산화 기능작용에 뛰어나다는 보고에 따라, 블루 베리(*Vaccinium* spp.), 딸기(*Fragaria* spp.), 복분자(*Rubus coreanus*)와 같은 베리류에 대한 관심이 크게 증가하고 있다(Kim과 Yoo, 2016; Spada 등, 2009). 이러한 항산화 성분은 노화방지 뿐만 아니라 심장질환의 위험을 줄여주고 시력회복이나 신장 기능회복, 혈류개선 이외에 다이어트 효과, 콜레스테롤 수치 감소

효과까지 가지고 있다(Hertog 등, 1997). 그러나 베리류의 높은 항산화 활성에도 불구하고 주요 영양성분인 폴리페놀은 낮은 안정성으로 이용효율이 떨어지고 식품적용에 제한적이어서 이를 보완하기 위해 폴리페놀을 캡슐화하여 안정성을 증진시키는 연구가 활발히 진행되고 있다(Fang과 Bhandari, 2010; Han 등, 2015).

캡슐화(encapsulation)는 외부환경에 민감한 식품 구성성분들을 열, 수분, pH에 대하여 보호하고 적절한 상황에 방출될 수 있도록 하는데, 나노 캡슐화(nanoencapsulation)는 마이크로 캡슐화(microcapsulation)와 비교하여 높은 용해도와 생체이용률 장점이 있으며, 캡슐크기를 쉽게 조절할 수 있는 특징이 있다(Augustin과 Hemar, 2009; Fang과 Bhandari, 2010). 그러나 나노캡슐화를 예민한(Jafari 등, 2008) 및 음료(Krasaekoopt 등, 2003; Given, 2009)에 적용한 연구는 많이 진행되어 왔지만, 베이커리 제품에 적용하여 나노캡슐에 의한 항산화 안정성 및 품질특성 변화를 본 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 식용 베리 중 항산화 우수성이 입증되고 있는 아사이베리 농축액을 함유한 나노캡슐의 물리적 특성 및 항산화 활성을 분석한 후, 이를 머핀에 적용하여 품질특성 및 베이킹에 따른 나노캡슐의 항산화 안정성을 확인하는 것이다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용한 박력분(CJ, Seoul, Korea), 설탕(Samyang, Seoul, Korea), 소금(CJ, Seoul, Korea), 마가린(Samyang, Seoul, Korea), 베이킹파우더(Samyang, Seoul, Korea), 계란(Join, Yongin, Korea)은 시중에서 구입하여 사용하였다. 아사이베리 농축액은 Dongwon F&B (Seoul, Korea)에서 제공받아 사용하였다.

*Corresponding author: Hyeon Gyu Lee, Department of Food and Nutrition, Hanyang University,
Tel: +82-2-2220-1202
Fax: +82-2-2281-8285
E-mail: hyeonlee@hanyang.ac.kr
Received December 29, 2020; revised January 29, 2021;
accepted February 13, 2021

아사이베리 농축액 일반 성분 분석

수분함량은 시료 0.5 g을 적외선 수분측정기(ML-50, A&D Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 당도 측정은 당도계(HI 96801, Hanna Instruments, Woonsocket, RI, USA)를 이용하여 3회 반복 측정하여 그 평균값을 구하였고, Brix %로 표시하였다. pH 측정은 아사이베리 농축액을 pH meter기(Orion 3-Star, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)를 이용하여 3회 반복 측정하고 그 평균값을 나타내었다.

아사이베리 농축액 함유 나노캡슐 제조

아사이베리 농축액 함유 나노캡슐은 키토산과 아라비아 검을 이용하여 이온젤화(ionic gelation)를 통하여 제조하였다(Chopra 등, 2014). 각각 0.75-1.25, 1.50-2.50 mg/mL 농도로 용해한 키토산 및 아라비아 검 용액을 30분 동안 교반기(600 rpm, WiseStir MS-MP8, Wids Laboratory Instruments, Wertheim, Germany)를 이용하여 제조한 후 키토산 용액을 교반(1,000 rpm)하면서 피펫을 이용하여 아사이베리 농축액을 떨어뜨린 다음, 아라비아 검을 일정한 속도로 떨어뜨려 나노캡슐을 제조하였다.

나노캡슐 물리적 특성

다양한 조건에서 제조된 나노캡슐 분산액을 DTS 1060C clear disposable zeta cell에 넣은 후 Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments Ltd., Worcestershire, UK)를 이용하여 나노캡슐의 크기 및 PDI (polydispersity index)와 DCR (derived count rate)을 측정하였다.

총 페놀함량

총 페놀 함량은 Folin-Ciocalteu phenol reagent 발색법을 이용하여 측정되었다(Lee 등, 2014). 시료 20 µL과 10배로 희석한 Folin-Ciocalteu's phenol reagent 100 µL을 혼합 후 5분 동안 반응시킨 후에 추가로 7.5% (w/v) Na₂CO₃ 80 µL 혼합하여 1시간 동안 반응시킨 후에 spectrophotometer (Biomate 3S, Thermo Fisher Scientific)를 이용하여 750 nm에서 흡광도를 측정하였다. Gallic acid를 표준물질로 검량선을 작성하였고 시료 1 mL당 µg gallic acid equivalent (µg GAE/mL)로 결과를 나타내었다.

DPPH 라디칼 소거능

DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 라디칼 소거활성은 Chaillou와 Nazareno (2006) 방법으로 측정하였다. 시료 20 µL와 0.2 mM DPPH 용액 180 µL를 혼합하여 45분 동안 반응시킨 뒤 spectrophotometer (Thermo Fisher Scientific)를 이용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이들 측정값을 다음 식에 대입하여 시료의 DPPH 라디칼 소거능을 계산하였다.

$$\text{DPPH radical 소거능(\%)} = \frac{(\text{absorbance of control}) - (\text{absorbance of sample})}{(\text{absorbance of control})} \times 100$$

FRAP 환원능

FRAP (ferric reducing ability of plasma) 환원능은 Garzón 등 (2009)의 방법을 이용하여 측정하였다. 시료 50 µL와 FRAP reagent 150 µL 혼합하여 4분 동안 반응시킨 뒤 spectrophotometer (Thermo Fisher Scientific)를 이용하여 595 nm에서 흡광도를 측정하였다. 추출물의 FRAP 측정은 ferric sulfate (mmol/mL) 표준곡선을 이용하여 나타내었다.

머핀의 제조

시료의 배합비율은 Lee와 Choi (2011)의 방법을 이용하였으며, 배합비는 Table 1과 같다. 머핀의 반죽은 반죽기(5KSM150, Kitchen Aid, Benton Harbor MI, USA)를 이용하여 실온에서 2시간 방치한 마가린을 2분간 속도 8에서 크림상태가 되도록 하고 설탕, 소금을 넣어 2분간 속도 6으로 혼합하였다. 계란을 3회로 나눠서 넣으면서 3분간 속도 8에서 혼합한 후, 밀가루와 베이킹 파우더를 섞은 후에 나노캡슐을 넣고 속도 6에서 2분간 반죽하였다. 완성한 반죽을 머핀컵에 65 g씩 취하여 예열된 오븐에 170°C로 40분간 구워낸 후 실온에서 2시간 동안 방냉시킨 후에 실험에 사용하였다.

머핀의 물리적 특성

머핀의 높이(cm), 부피(mL), 비체적(mL/g)은 Volscan Profiler (VSP 600, Stable Micro System Ltd., Godalming, UK)을 이용하여 측정하였으며, 무게(g)는 전자저울을 이용하여 3회 반복하여 측정한 후에 그 평균값을 구하였다. 수분 함량은 시료 0.5 g을 적

Table 1. Formulation of muffin with acai berry concentrate-loaded nanocapsules

Ingredient	Sample			Percentage
	Control	Free muffin	NC muffin	
Wheat flour (g)	200	200	200	33.1
Distilled water (mL)	100	-	-	16.6
Free acai berry concentrate (mL)	-	100	-	16.6
Acai berry concentrate NC (mL)	-	-	100	16.6
Margarine (g)	100	100	100	16.6
Sugar (g)	100	100	100	16.6
Egg (g)	100	100	100	16.6
Salt (g)	1	1	1	0.2
Baking powder (g)	3	3	3	0.5
Total	604	604	604	100.0

NC: Nanocapsules

Free, NC: Acai berry concentration 3.75% (Flour comparison)

외선 수분측정기를 이용하여 3회 반복하여 측정 후 그 평균값을 구하였다. 머핀의 pH 측정은 50 mesh체를 이용하여 머핀을 가루로 만든 다음에 시료 3 g과 증류수 30 g을 넣어 교반기(200 rpm)를 이용하여 5분간 섞어 현탁액을 만든 후에 pH meter기(Thermo Fisher Scientific)를 이용하여 3회 반복하여 측정 후 그 평균값을 구하였다. Crumb 색도는 머핀의 위쪽과 아래쪽을 제거한 후에 중간부분을 잘라서 50 mesh 체를 이용하여 머핀을 가루로 만들어 12 well plate에 수평으로 펴서 넣은 다음에 단면을 색차계(DP-400, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan)를 이용하여 L* (Lightness), a* (redness to greenness), b* (yellowness to blueness)를 3회 반복측정한 후에 그 평균값을 구하였다. 이때, 표준편차의 값은 L* 값이 96.08, a* 값이 0.19, b* 값이 2.01이었다.

머핀의 조직감 특성

머핀의 조직감은 2.0×2.0×2.0 cm의 크기로 잘라서 Texture analyzer (TA-XT2, Stable Micro System Ltd., Godalming, UK)를 이용하여 TPA (Texture Profile Analysis)를 측정하였다. 직경 35 mm 원형 probe를 이용하였으며, 측정 시 조건은 pre-test speed 2.0 mm/s, test speed 1.0 mm/s, post-test speed 1.0 mm/s로 하여 경도(hardness), 탄력성(springness), 응집성(cohesiveness), 씹힘성(chewiness)을 측정하였다.

머핀의 베이킹 시간에 따른 항산화 활성

170°C에서 베이킹 시간에 따라 시료별로 각각 0, 20, 40분 제조 후에 -70°C 초저온 냉동고에서 24시간 냉각시킨 뒤에 동결건조하여 35 mesh 체에 걸러서 분말로 만들었다. 머핀 분말 1 g을 에탄올 10 mL에 넣고 교반기(350 rpm)로 2시간 동안 추출하였다. 추출물은 원심분리기(3000 rpm, Combi-408, Hanil science industrial Co., Ltd., Gimpo, Korea)를 이용하여 상층액을 얻은 후 여과지(Whatman No. 1)에 걸러 항산화 측정에 사용하였다.

통계분석

모든 실험결과는 SPSS 21.0 (Statistical Package for the Social Science, SPCC Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 일원배치분산분석(one-way ANOVA)으로 비교분석하였으며 각 측정 평균값 간의 유의성은 $p < 0.05$ 수준으로 Duncan's multiple range test를 사용하여 검증하였다. 모든 실험결과는 3회 실시하여 얻어진 평균값과 표준편차로 나타내었다.

결과 및 고찰

아사이베리 농축액 함유 나노캡슐의 물리적 특성

아사이베리 농축액의 일반성분을 분석한 결과, 고형분 함량은 7.31%, 수분함량은 92.69%, pH는 3.18, 당도는 8.78%로 나타났다(data not shown). 피복물질인 키토산과 아라비아 검 농도를 달리 하여 제조한 아사이베리 농축액 함유 나노캡슐의 물리적 특성을 측정된 결과, 캡슐크기 범위는 350-450 nm로, 키토산 농도가 증가하고 아라비아 검의 농도가 감소할수록 캡슐크기는 증가하는 경향을 나타내었다(Table 2). 또한 키토산 농도 0.75 mg/mL를 제외하고, 1.0 mg/mL와 1.25 mg/mL에서 아라비아 검 농도가 증가할수록 나노캡슐에 의해 산란되어 나오는 빛의 양인 DCR이 증가하는 경향을 나타내어, 아라비아 검 농도가 증가할수록 형성되는 나노캡슐의 수가 증가됨을 확인하였다(Gonçalves 등, 2011). 또한, 아사이베리 농축액 함유 나노캡슐의 균일한 정도를 나타내는 지표인 다분산지수(PDI)는 0.22-0.34 범위에서 균일하게 제조되었다(Hu 등, 2008). 따라서 크기가 가장 작고, 다분산지수가 0.3 미만이며 키토산과 아라비아 검의 농도가 높은 키토산 1.0 mg/mL, 아라비아 검 2.5 mg/mL 농도에서 나노캡슐을 제조하여 실험에 적용하였다.

아사이베리 농축액 함유 나노캡슐의 항산화 활성

아사이베리 농축액 함유 나노캡슐의 총 페놀함량, DPPH 라디칼 소거능, 및 FRAP 환원능을 측정된 결과는 Fig. 1과 같다. 총 페놀 함량은 캡슐화 하지 않은 아사이베리 농축액(free acai berry concentrate)이 216.14 µg GAE (gallic acid equivalent)/mL으로 나타났으며, 캡슐화한 아사이베리 농축액(acai berry concentrate NC)은 167.61 µg GAE/mL로 나타났다(Fig. 1A). DPPH 라디칼 소거능의 경우, 캡슐화 하지 않은 아사이베리 농축액은 72.10%와 캡슐화한 아사이베리 농축액 62.51%로 나타났으며(Fig. 1B), FRAP 환원능은 캡슐화 하지 않은 아사이베리 농축액은 0.951 mmol/mL와 캡슐화한 아사이베리 농축액은 0.907 mmol/mL로 나타났다(Fig. 1C). 각 측정항목 모두 캡슐화하지 않은 아사이베리 농축액이 캡슐화한 농축액보다 유의적으로 높은 동일한 경향성을 나타내었는데($p < 0.05$), 이러한 결과는 캡슐화한 아사이베리가 캡슐내부에 포집되어 충분한 활성을 내지 못하기 때문에 캡슐화 하지 않은 아사이베리가 더 높은 것으로 판단되며, 본 실험 결과는 대추 추출액을 캡슐화하여 항산화 활성을 측정된 결과와 유사하였다(Han 등, 2015).

Table 2. Physicochemical properties of Chitosan/Arabic gum nanoparticles with different preparation condition

Chitosan (mg/mL)	Arabic gum (mg/mL)	Size (nm)	PDI (polydispersity index)	DCR (derived count rate) (kcps)
0.75	1.5	350.27±10.67 ^f	0.27±0.01 ^{cd}	190,313±17,351 ^{bc}
	2.0	356.20±4.63 ^{ef}	0.22±0.04 ^e	186,821±29,724 ^{bc}
	2.5	N/A	N/A	N/A
1.00	1.5	398.17±8.08 ^c	0.28±0.01 ^{bcd}	185,928±8,829 ^b
	2.0	361.18±3.06 ^e	0.27±0.02 ^{cd}	191,832±13,763 ^{bc}
	2.5	341.79±9.42 ^e	0.26±0.04 ^d	200,723±19,768 ^{bc}
1.25	1.5	452.94±10.81 ^a	0.30±0.02 ^b	149,246±4,602 ^c
	2.0	407.28±10.89 ^b	0.34±0.03 ^a	188,094±9,067 ^b
	2.5	372.52±4.67 ^d	0.30±0.02 ^{bc}	203,993±25,500 ^a

^{a-e}Means with different letters are significantly different at $p < 0.05$.
N/A: not applicable

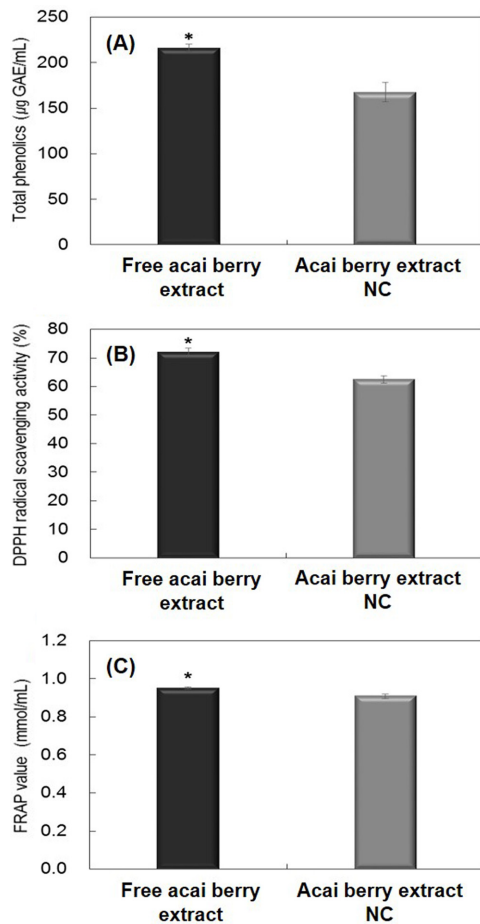


Fig. 1. Effect of nanoencapsulation on total phenolic content (A), DPPH radical scavenging activities (B), and FRAP assay (C) of acai berry concentrate. *Means with different letters are significantly different at $p < 0.05$. GAE: gallic acid equivalent

머핀의 물리적 특성

아사이베리 농축액 함유 나노캡슐을 첨가한 머핀의 중량, 높이, 부피 그리고 비체적을 측정 한 결과는 Table 3에 나타내었다. 모든 측정항목에서 대조군과 Free 머핀 및 NC 머핀 모두 유의적

으로 차이가 나타나지 않았다. 이는 농축액 첨가에 따라 부피와 비체적이 감소하는 블루베리 첨가 머핀 연구와는 다른 경향성이 나타났는데(Hwang과 Ko, 2010), 이는 본 실험에서 배합비에 따른 밀가루 대비 첨가물 함량의 차이가 적은 것이 원인으로 판단된다. 아사이베리 농축액 함유 나노캡슐 첨가 머핀의 수분함량 측정결과 대조군과 비교하여 농축액 또는 나노캡슐 첨가에 따라 유의적인 차이가 나타나지 않았다(Table 3). 머핀의 pH는 대조군이 7.57로 가장 높은 값이 나타났고, NC 머핀 7.17, Free 머핀 7.16 순으로, 대조군과 비교하여 Free 머핀과 NC 머핀은 유의적으로 감소하는 경향이 나타났는데($p < 0.05$), 이는 아사이베리 농축액의 pH에 기인한 것으로 생각되며 이는 오디 농축액 첨가에 따라 pH가 감소하는 오디 농축액을 첨가한 머핀 연구결과와 일치하였다(Lee와 Choi, 2011). 한편 농축액과 나노캡슐 첨가에 따른 유의적 차이는 나타나지 않아, 나노캡슐에 의한 pH 변화는 나타나지 않는 것으로 판단된다. 머핀의 색도 결과를 보면 명도를 뜻하는 L* (lightness) 값과 황색도를 뜻하는 b* (yellowness) 값 모두 Free 머핀, NC 머핀이 대조군에 비교하여 유의적으로 감소하였고, 적색도를 나타내는 a* (redness) 값은 유의적으로 증가하는 경향을 보였다($p < 0.05$) (Table 3). 이러한 결과는 블루베리 분말 머핀 연구 결과에서(Lee 등, 2016), 분말 첨가량이 증가함에 따라 머핀의 L* 값과 b* 값은 감소하였고, a* 값은 증가하였다는 결과와 동일한 경향성을 보였으며, 나노캡슐화에 의한 차이는 나타나지 않았다.

머핀의 조직감 특성

아사이베리 농축액 함유 나노캡슐을 첨가한 머핀의 기계적 조직감의 측정결과는 Table 4와 같다. 경도(hardness)는 대조군은 20.99 N, Free 머핀은 22.15 N, NC 머핀은 23.56 N으로 아사이베리 농축액을 첨가함에 따라 증가하였고, 나노캡슐화에 따른 유의적인 차이를 보였으며($p < 0.05$), 저장기간에 의해서는 유의적인 차이는 나타난 반면에, 저장기간에 따른 샘플간의 유의적 차이는 나타나지 않았다(Oh와 Chung, 2014). 탄력성(springiness)은 대조군 0.45, Free 머핀 0.43, NC 머핀 0.42로 유의적인 차이가 나타나지 않았으며, 이는 블루베리 즙을 첨가한 머핀결과와 유사하였다(Hwang과 Ko, 2010). 또한 저장기간에 따라 서는 뚜렷한 경향성이 나타나지 않았으며, 샘플간 유의적 차이 또한 나타나지 않아 농축액 첨가 유무 및 나노캡슐화가 탄력성(springiness)에 미치

Table 3. Weight, height, volume, and specific volume of muffin with acai berry concentrate-loaded nanocapsules

Sample	Control	Free muffin	NC muffin	
Weight (g)	55.30±0.61 ^{NS}	55.05±0.79 ^{NS}	55.51±0.83 ^{NS}	
Height (cm)	3.80±0.20 ^{NS}	3.86±0.26 ^{NS}	3.88±0.40 ^{NS}	
Volume (mL)	75.14±4.01 ^{NS}	74.96±2.03 ^{NS}	73.54±4.57 ^{NS}	
Specific volume (mL/g)	1.36±0.07 ^{NS}	1.36±0.04 ^{NS}	1.32±0.08 ^{NS}	
pH	7.57±0.07 ^a	7.16±0.06 ^b	7.17±0.05 ^b	
Moisture content (%)	35.03±2.16 ^a	34.46±2.05 ^a	34.23±1.64 ^a	
Color	L* value	79.96±0.61 ^a	71.82±2.54 ^b	71.06±3.04 ^b
	a* value	-3.47±0.15 ^a	-2.50±0.21 ^b	-2.47±0.23 ^b
	b* value	22.51±0.71 ^a	16.52±0.73 ^b	17.01±1.14 ^b

^{NS}No significant difference.

^{a-b}Means with different letters are significantly different at $p < 0.05$.

*Control: muffin with distilled water; Free muffin: muffin with acai berry concentrate; NC muffin: muffin with acai berry concentrate-loaded nanocapsules.

Table 4. Textural characteristics of muffin with acai berry concentrate-loaded nanocapsules

Sample	Hardness (N)		
	0 day	3 day	7 day
Control	20.99±1.94 ^{Cb}	44.01±3.77 ^{Ba}	61.10±4.52 ^{Aa}
Free muffin	22.15±2.17 ^{Cb}	44.28±3.48 ^{Ba}	62.96±4.75 ^{Aa}
NC muffin	23.56±2.21 ^{Ca}	45.67±2.72 ^{Ba}	63.23±5.19 ^{Aa}
Springiness			
Control	0.45±0.04 ^{Ba}	0.43±0.04 ^{Ca}	0.46±0.04 ^{Aa}
Free muffin	0.43±0.04 ^{Bab}	0.40±0.04 ^{Cb}	0.46±0.04 ^{Aa}
NC muffin	0.42±0.04 ^{Bb}	0.40±0.05 ^{Cb}	0.47±0.02 ^{Aa}
Cohesiveness			
Control	0.25±0.02 ^{Aa}	0.24±0.02 ^{Ba}	0.21±0.02 ^{Ca}
Free muffin	0.25±0.02 ^{Aa}	0.23±0.02 ^{Bb}	0.19±0.01 ^{Cb}
NC muffin	0.25±0.02 ^{Aa}	0.22±0.02 ^{Bb}	0.20±0.01 ^{Cb}
Chewiness (N·mm)			
Control	2.48±0.25 ^{Cb}	4.22±0.29 ^{Ba}	5.43±0.46 ^{Aa}
Free muffin	2.43±0.22 ^b	4.25±0.37 ^{Ba}	5.56±0.49 ^{Aa}
NC muffin	2.64±0.24 ^{Ca}	4.38±0.31 ^{Ba}	5.68±0.31 ^{Aa}

^{a-b}Means with different letters are significantly different at $p < 0.05$ (separation).

^{A-C}Means with different letters are significantly different at $p < 0.05$ (day).

*Control: muffin with distilled water, Free muffin: muffin with acai berry concentrate, NC muffin: muffin with acai berry concentrate-loaded nanocapsules.

는 영향은 미비하였다. 응집성(cohesiveness) 또한 아사이베리 농축액 첨가 및 나노캡슐화에 따른 차이는 나타나지 않았으나, 저장기간에 따라서는 샘플의 종류에 관계없이 유의적으로 감소하는 경향을 나타내었다($p < 0.05$). 씹힘성(chewiness)은 농축액 첨가, 나노캡슐화 및 저장기간에 따른 결과 모두 경도(hardness)와 동일한 경향을 나타내었다.

머핀의 베이킹 시간에 따른 항산화 활성

베이킹 시간에 따른 머핀의 항산화 활성을 측정한 결과는 Fig. 2와 같다. 총 페놀 함량은 대조군은 0, 20, 40분에서 각각 8.26, 8.12, 8.01 µg GAE/g 으로 베이킹 시간에 따라 감소하였으나 유의적 차이 없이 비슷한 수준을 나타내었다(Fig. 2A). Free 머핀은 0, 20, 40분에서 각각 11.34, 9.21, 9.16 µg GAE/g으로 20분 이후 급격히 감소하는 경향을 나타내었으나($p < 0.05$), NC 머핀은 0, 20, 40분에서 각각 11.07, 10.48, 10.46 µg GAE/g으로 감소하는 경향을 나타내었지만 베이킹 시간에 따른 큰 차이를 보이지 않았으며, 베이킹 시간 0분을 제외한 20, 40분에서 Free 머핀보다 유의적으로 높은 값을 나타내었다.

머핀의 DPPH 라디칼 소거능의 경우(Fig. 2B), 대조군은 0, 20, 40분에서 각각 10.90, 10.66, 10.32%로 베이킹 시간 동안 별다른 경향을 보이지 않았다. Free 머핀은 0, 20, 40분에서 각각 15.68, 14.22, 13.60%로 유의적으로 감소하는 경향을 나타낸 반면에 ($p < 0.05$), NC 머핀은 각각 14.24, 15.25, 15.73%로 베이킹 시간에 따라 유의적으로 증가하는 경향을 나타내었다($p < 0.05$).

Fig. 2C에서는 머핀의 FRAP 환원능은 대조군과 Free 머핀의 경우 아사이베리 농축액 첨가에 따라 유의적으로 증가한 수치를

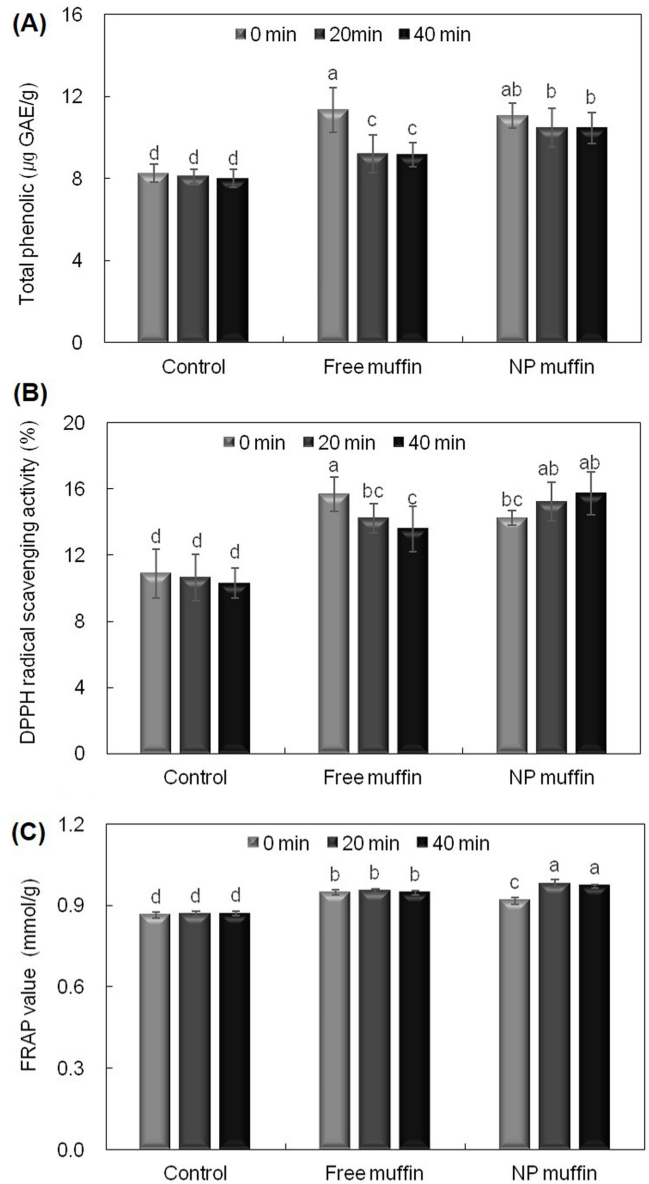


Fig. 2. Total phenolic content assay (A), DPPH radical scavenging activities (B), and FRAP assay (C) of muffins with acai berry concentrate-loaded nanocapsules. ^{a-d}Means with different letters are significantly different at $p < 0.05$. GAE: gallic acid euvalent

나타내었으나, 두 샘플 모두 베이킹 시간에 따른 큰 변화는 나타나지 않았다. 반면에, NC 머핀은 20, 40분에서 유의적으로 증가하였는데, 이는 나노캡슐에 열이 가해지면서 포집되어 있던 내부 물질이 방출되었기 때문으로 생각된다. 이러한 결과는 키토산을 피복물질로 사용하여 캡슐화한 eugenol과 캡슐화 하지 않은 eugenol을 비교하여 열 안정성을 확인한 연구결과와 일치한다 (Woranuch와 Yoksan, 2013).

요 약

본 연구는 아사이베리 농축액 함유 나노캡슐을 첨가하여 제조한 머핀의 항산화 안정성을 알아보고자 머핀 제조 전 나노캡슐의 물리적 특성 및 항산화 활성을 분석하였으며, 이를 머핀에 적

용한 후 품질특성 및 베이킹 시간에 따른 항산화 활성을 조사하였다. 아사이베리 농축액 함유 나노캡슐의 물리적 특성은 열안정성을 높이기 위해 피복물질인 키토산과 아라비아 검의 농도가 높은 나노캡슐 중에 PDI 값 0.26을 선택하여 제조한 후 총 페놀 함량, DPPH 라디칼 소거능 및 FRAP 환원능을 측정된 결과, 모두 캡슐화하지 않은 아사이베리 농축액이 나노캡슐화 한 아사이베리 농축액보다 높았는데, 이는 나노캡슐화에 의해 아사이베리 농축액이 포집되어 충분한 활성을 내지 못했기 때문으로 판단된다. 머핀의 색도는 나노캡슐을 첨가한 머핀과 농축액을 첨가한 머핀이 대조군과 비교하여 L* 값, b* 값은 유의적으로 감소하였으며, a* 값은 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$). pH 또한 대조군과 비교하여 나노캡슐을 첨가한 머핀과 농축액을 첨가한 머핀이 농축액에 의해서 유의적으로 감소하였으나($p < 0.05$), 캡슐화에 의한 차이는 보이지 않았다. 머핀의 외관 및 수분함량은 나노캡슐을 첨가한 머핀과 농축액을 첨가한 머핀 모두 대조군과 비교하여 유의적 차이가 나지 않았으며, 조직감에서는 경도(hardness)와 씹힘성(chewiness)은 나노캡슐화에 따라 증가하여 대조군 및 free 머핀과 유의적인 차이($p < 0.05$)를 나타낸 반면에, 탄력성(springiness)과 응집성(cohesiveness)은 샘플 간 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 저장기간에 따라서는 경도(hardness)는 샘플의 종류에 관계없이 유의적으로 증가($p < 0.05$)한 반면에, 탄력성(springiness)은 샘플 간 뚜렷한 경향성을 보이지 않았으며, 응집성(cohesiveness)은 샘플의 종류에 관계없이 저장기간에 따라 유의적으로 감소하였고($p < 0.05$), 씹힘성(chewiness)은 경도(hardness)와 유사한 경향을 나타내었다. 아사이베리 농축액 함유 나노캡슐을 첨가한 머핀의 베이킹 시간에 따른 항산화 활성을 확인하고자 170°C에서 0, 20, 40분 단위로 총 페놀 함량, DPPH 라디칼 소거능, FRAP 환원능을 측정된 결과 머핀이 완성되는 40분에서 나노캡슐 첨가 머핀의 항산화 활성이 유의적으로 높아 아사이베리 농축액의 열 안정성이 유지됨을 확인하였다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때, 아사이베리 농축액 함유 나노캡슐을 첨가한 머핀이 대조군과 비교하여 품질적 특성은 거의 유사했고, 아사이베리 농축액의 열 안정성은 개선되었는데 이는 아사이베리 농축액 함유 나노캡슐을 활용한 기능성 베이커리 제품개발의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2021R1A2C2013460).

References

- Augustin MA, Hemar Y. Nano- and micro-structured assemblies for encapsulation of food ingredients. *Chem. Soc. Rev.* 38: 902-912 (2009)
- Chaillou LL, Nazareno MA. New method to determine antioxidant activity of polyphenols. *J. Agric. Food Chem.* 54: 8397-8402 (2006)
- Chopra M, Kaur P, Bernela M, Thakur R. Surfactant assisted nisin loaded chitosan-carageenan nanocapsule synthesis for controlling food pathogens. *Food Control* 37: 158-164 (2014)
- Fang Z, Bhandari B. Encapsulation of polyphenols-a review. *Trends Food Sci. Technol.* 21: 510-523 (2010)
- Garzón GA, Riedl KM, Schwartz SJ. Determination of anthocyanins, total phenolic content, and antioxidant activity in andes berry (*Rubus glaucus* Benth.). *J. Food Sci.* 74: C227-C232 (2009)
- Given PS. Encapsulation of flavors in emulsions for beverages. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 14: 43-47 (2009)
- Gonçalves R, Mateus N, De Freitas V. Inhibition of α -amylase activity by condensed tannins. *Food Chem.* 125: 665-672 (2011)
- Han HJ, Lee JS, Park SA., Ahn JB, Lee HG. Extraction optimization and nanoencapsulation of jujube pulp and seed for enhancing antioxidant activity. *Colloids Surf. B. Biointerfaces* 130: 93-100 (2015)
- Heo SJ, An HL, Lee KS. Physical properties and sensory evaluation of muffins with trehalose. *Culi. Sci. & Hos. Res.* 16: 13-23 (2010)
- Hertog MG, Feskens EJ, Kromhout D. Antioxidant flavonols and coronary heart disease risk. *Lancet.* 349: 699 (1997)
- Hu B, Pan C, Sun Y, Hou Z, Ye H, Hu B, Zeng X. Optimization of fabrication parameters to produce chitosan-tripolyphosphate nanoparticles for delivery of tea catechins. *J. Agric. Food Chem.* 56: 7451-7458 (2008)
- Hwang S-H, Ko, S-H. Quality characteristics of muffins containing domestic blueberry (*V. corymbosum*). *J. East Asian Soc. Dietary Life* 20: 727-734 (2010)
- Jafari SM, Assadpoor E, He Y, Bhandari B. Encapsulation efficiency of food flavours and oils during spray drying. *Dry. Technol.* 26: 816-835 (2008)
- Kim HS, Yoo SS. A study on quality characteristics and optimized recipe of muffin with added acai berry powder. *Korean J. Food Culture* 31: 226-234 (2016)
- Krasaekoopt W, Bhandari B, Deeth H. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. *Int. Dairy J.* 13: 3-13 (2003)
- Kwon MS, Lee MH. Quality characteristics of sponge cake added with rice bran powder. *Culi. Sci. & Hos. Res.* 21: 168-180 (2015)
- Lee JA. Quality characteristics of cookies added with kale powder. *Culi. Sci. & Hos. Res.* 21: 40-52 (2015)
- Lee JA, Choi SH. Quality characteristics of muffins added with mulberry concentrate. *Culi. Sci. & Hos. Res.* 17: 285-294 (2011)
- Lee SJ, Kim MH, Han GJ, Min SC. Muffin development using blueberry powder and shelf life determination of modified atmosphere packaged blueberry muffin. *Food Eng. Prog.* 20: 223-231 (2016)
- Lee S, Jung ES, Do SG, Jung GY, Song G, Song JM, Lee CH. Correlation between species-specific metabolite profiles and bioactivities of blueberries (*Vaccinium spp.*). *J. Agric. Food Chem.* 62: 2126-2133 (2014)
- Oh SW, Chung KH. Physicochemical and sensory properties of muffins with added powdered tangerine peel. *Food Eng. Prog.* 18: 177-185 (2014)
- Park EJ. Quality characteristics of muffin added with actinidia polygama powder. *Korean J. Food Culture* 22: 125-135 (2016)
- Spada PD, Dani C, Bortolini GV, Funchal C, Henriques JA, Salvador M. Frozen fruit pulp of euterpe oleraceae mart. (Acai) prevents hydrogen peroxide-induced damage in the cerebral cortex, cerebellum, and hippocampus of rats. *J. Med. Food* 12: 1084-1088 (2009)
- Woranuch S, Yoksan R. Eugenol-loaded chitosan nanoparticles: I. Thermal stability improvement of eugenol through encapsulation. *Carbohydr. Polym.* 96: 578-585 (2013)