

아로니아 추출물의 미세캡슐 제조 및 설기떡의 안토시아닌 안정성 연구

최예지¹ · 고은미^{1,*}

¹서울여자대학교 식품응용시스템학부 식품영양학전공

Microencapsulation of aronia extract and stability of encapsulated anthocyanins during sulgidduk cooking

Yeji Choi¹ and Eunmi Koh^{1,*}

¹Major of Food & Nutrition, Division of Applied Food System, Seoul Women's University

Abstract Aronia (*Aronia melanocarpa* cv. Viking) contains high amounts of anthocyanins, which are susceptible to heat. This study was conducted to identify an efficient coating material for encapsulating aronia extract to enhance the stability of anthocyanins during cooking. Maltodextrin, maltodextrin+gum Arabic, and maltodextrin+carboxymethyl cellulose were chosen as the coating materials, mixed with aronia extract at a ratio of 2:1, and freeze-dried after homogenization. The encapsulated aronia extract was then used as a sulgidduk ingredient. Sulgidduk prepared with the encapsulated aronia had significantly higher values for redness, anthocyanin retention, total phenolic content, and antioxidant activity compared to sulgidduk prepared with non-encapsulated aronia. In addition, the sensory evaluation revealed that sulgidduk prepared with encapsulated aronia produced better color and taste. These results indicate that the encapsulation of aronia extract improved the stability of the anthocyanins in aronia, and encapsulated aronia can be used as a functional colorant in the food industry.

Keywords: aronia, anthocyanin, microencapsulation, sulgidduk, stability

서 론

아로니아(*Aronia melanocarpa*)는 블랙 초크베리(black chokeberry)로 불리기도 하며 블루베리, 딸기, 포도보다 안토시아닌을 많이 함유하고 있으며(Oszmianński와 Wojdyło, 2005; Wu 등, 2004; Zheng과 Wang, 2003), 항염증, 항당뇨, 심혈관계질환 예방 등의 생리활성이 보고되었다(Chrubasik과 Chrubasik, 2010; Jankowski 등, 1999; Olas 등, 2008; Zheng과 Wang, 2003). 아로니아의 선명한 붉은색과 다양한 건강증진 효과가 알려지면서 기능성 천연색소로서 관심이 증대되고 있으나(Jurić 등, 2020; Suravanichnirachorn 등, 2018), 안토시아닌 색소가 열, 빛, 산소 등의 요인에 불안정하여 식품 착색제로 이용하는데 어려움이 있다(Turak 등, 2019).

미세캡슐화(microencapsulation)는 추출물과 코팅물질을 혼합하여 고체 입자(particles), 액체 방울(droplets) 등의 형태로 제조함으로써 특정 성분을 코팅물질 내부에 위치하도록 하는 기술이다. 이는 빛, 온도, 습도, 산소 등에 민감한 생리활성 물질을 외부환경으로부터 보호할 수 있을 뿐만 아니라(Castro-López 등, 2021; Marcillo-Parra 등, 2021), 물에 대한 용해도 및 유화성 등을 높여 주기도 한다(Ghosh 등, 2022). 다당류는 물에 잘 녹고 무미 무취이며 점도가 낮고 가격이 저렴하기 때문에 코팅물질로 많이 이용되고 있다(Labuschagne, 2018). 말토덱스트린(maltodextrin)은 무

색이고 물에 잘 용해되며 고농도에서도 점도가 낮아 코팅물질로 널리 이용되고 있다(Gharsallaoui 등, 2007). 아라비아검(gum Arabic)은 물에 잘 녹고 다른 검질보다 점도가 낮고 중심물질(core material) 주위에 보호막(protective film)을 형성할 수 있지만 단독으로는 캡슐화가 어렵기 때문에 다른 다당류나 단백질과 혼합하여 캡슐화에 이용되고 있다(Fang과 Bhandari, 2011). 카복시메틸셀룰로스(carboxymethyl cellulose)는 분자 내 카복시기(-COOH)가 물과 결합함으로써 빠르게 수화될 수 있고 필름을 잘 형성한다고 알려져 있다(Ćorković 등, 2021; Javanbakht과 Shaabani, 2019). 식품 추출물과 코팅물질의 혼합액을 캡슐화하기 위해 일반적으로 분무건조와 동결건조가 이용된다(Labuschagne, 2018). 특히, 동결건조는 열에 불안정한 물질을 캡슐화할 때 많이 이용되고 있다(Labuschagne, 2018; Souza 등, 2017; Suravanichnirachorn 등, 2018).

안토시아닌을 미세캡슐화하여 식품 가공에 적용한 연구로는 타트 체리(sour chery, *Prunus cerasus*) 박을 이용한 발효유(Oancea 등, 2018), 적양배추를 이용한 발효유(Álvarez 등, 2019), 매자(barberry)를 이용한 젤리(Mahdavi 등, 2016b), 람두안 열매(*Melodorum fruticosum* Lour.)를 이용한 구미젤리(Sakulnarmrat과 Konczak, 2022), 가지 박을 이용한 구미캔디(Sarabandi 등, 2019) 등이 있다. 이처럼 안토시아닌 미세캡슐은 주로 상온에서 가공되는 발효유 및 젤리 제조에 이용되고 있다. 지금까지 떡을 찌는 과정(steamung)에서 미세캡슐내 안토시아닌의 안정성에 대한 연구가 보고된 적이 없다.

따라서, 본 연구에서는 3가지 코팅물질(말토덱스트린, 아라비아검, 카복시메틸셀룰로스)을 배합하여 아로니아 추출물의 미세캡슐을 제조하고, 이를 설기떡에 첨가하여 안토시아닌 잔존률 및

*Corresponding author: Eunmi Koh, Seoul Women's University, Seoul 01791, Korea
Tel: +82-2-970-5649
E-mail: kohem7@swu.ac.kr
Received January 4, 2022; revised February 9, 2022;
accepted February 9, 2022

물리화학적 및 감각적 특성을 평가하여 아로니아 미세캡슐의 친연색소로서 이용가능성을 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

실험 재료

아로니아(*Aronia melanocarpa* cv. Viking)는 2020년 7월에 경남 통영의 아로니아 농가에서 생과로 구입되었다. 아로니아를 깨끗이 수세하고 넓게 펼쳐 표면의 수분이 제거되면 -80°C 에서 냉동시킨 후 160시간 동결건조 하였다(FDU-1200, EYELA, Tokyo, Japan). 건조된 아로니아를 분쇄기(I8800, IEP, Namyangju, Korea)에 넣고 30,000 rpm으로 3분간 분말화 하였다. 아로니아 가루의 수분함량은 3.95%, 수분활성도(A_w)는 0.15, 적색도는 25.25이었다. Cyanidin-3-glucoside chloride, iron (III) chlorogenic acid, EDTA- Na_2 (ethylenediaminetetraacetic acid disodium salt), chloride hexahydrate, Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid), 말토덱스트린(DE 16.5-19.5), 아라비아검, 카복시메틸셀룰로스(degree of substitution 1.2)는 Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA)에서 구입하였다. 쌀은 2021년 5월에 도정한 추청미(Cheongwon Saeng-myeong Cooperative Rice Center, Cheongju, Korea)를 산지 직송으로 구입하였고, 백설탕(CJ, Incheon, Korea)과 천일염(Daesang, Shinan, Korea)은 시판 제품을 구입하였다.

아로니아 추출

아로니아는 Jang과 Koh(2021)가 반응표면분석법을 이용하여 최적화한 조건으로 추출하였다. 아로니아 가루 2.5 g에 증류수 100 mL를 첨가하여 71°C 로 설정한 항온수조(JSSB-30T, JSR, Gongju, Korea)에서 38분 55초간 진탕하였다. 혼합액을 25,318×g에서 20분간 원심분리(LaboGene 2236R, Gyrogen Co., Ltd., Daejeon, Korea)하고, 상층액을 $0.45\ \mu\text{m}$ polyamide syringe-filter (SN25P045NL, Hyundai Micro Co., Ltd., Anseong, Korea)로 여과하여 아로니아 추출물을 제조하였다.

미세캡슐 제조

아로니아 추출물을 동결 건조한 후 증류수를 첨가하여 고형분 함량을 10°Brix로 만들었다. 검류 별 물에 대한 용해도와 기존 문헌(Cai 등, 2020; Castro-López 등, 2021; Papoutsis 등, 2018; Suravanichnirachorn 등, 2018)의 캡슐화 효율을 참고하여, 말토덱스트린과 아라비아검은 각각 30% 수용액으로, 카복시메틸셀룰로스는 1% 수용액으로 제조하였다. 코팅물질은 말토덱스트린 용액만 이용하거나 말토덱스트린과 아라비아 검 또는 카복시메틸셀

룰로스 용액을 3:1로 혼합하였다. 코팅용액의 점도는 25°C 에서 말토덱스트린 용액은 6.82 mPas, 말토덱스트린과 아라비아검의 혼합물은 16.77 mPas, 말토덱스트린과 카복시메틸셀룰로스의 혼합물은 16.07 mPas이었다. 아로니아 추출물과 코팅물질을 1:2로 혼합하고 균질기(Polytron® PT1200E, Kinematica AG, Luzern, Switzerland)를 이용하여 25,000 rpm으로 3분간 균질화하였다. 균질액을 초저온냉동고(CLN-52U, Nihon freezer, Saitama, Japan)에서 냉동시킨 후 동결건조 하였다(FDU-1200, EYELA, Tokyo, Japan). 건조된 미세캡슐 덩어리를 막사자발을 이용하여 잘게 부수어 50 mesh체($\leq 300\ \mu\text{m}$)에 통과시킨 후 -80°C 에 보관하였다.

설기떡 제조

미세캡슐 분말의 첨가량을 결정하기 위해 예비실험으로 쌀가루 중량의 2-14%를 아로니아 미세캡슐로 대체하여 설기떡을 제조하여 평가한 결과, 10% 시료가 맛과 색에 대한 선호도가 가장 높아서 아로니아 미세캡슐 첨가량을 10%로 결정하였다.

아로니아 설기떡의 재료 배합비(Table 1)는 Park(2014)의 연구를 참고하였다. 멥쌀을 수세하고 12시간 불린 후 물기를 제거하고 roller mill (KM-18, Kyungchang Machine, Seoul, Korea)로 1회 분쇄하고, 20 mesh체($\leq 850\ \mu\text{m}$)에 1회 통과시켰다. 설기떡의 재료 배합비에서 아로니아 3 g을 함유하고 있는 캡슐 20 g을 첨가하여 대조군을 제외한 모든 시료의 아로니아 첨가량은 3 g으로 동일하게 하였다. 아로니아 3 g 또는 미세캡슐 20 g과 쌀가루의 합이 200 g이 되도록 하고, 소금 2 g을 녹인 물을 가루에 붓고 손으로 비벼 덩어리를 잘게 부수었다. 혼합된 떡재료를 20 mesh체에 1회 내려 입자를 고르게 한 후 설탕 20 g을 첨가하고 골고루 섞었다. 직경 40 cm, 높이 10 cm의 찹기에 실리콘 찹시트(직경 38 cm)를 찹기 바닥에 깔고, 그 위에 사자 무스틀 2호($18 \times 18 \times 6\ \text{cm}$)를 놓은 후 설기떡 재료를 틀에 담았다. 냄비의 물이 끓으면 찹기를 냄비 위에 얹고 젖은 면보로 찹기를 덮은 후 뚜껑을 닫고 중간불로 20분간 가열한 후 불을 끄고 5분간 뜸을 들였다. 설기떡을 실온에서 5분 식힌 후 랩으로 포장하여 보관하여 분석에 이용하였다. 아로니아를 첨가하지 않은 설기떡을 대조군(CON), 아로니아 가루를 첨가한 설기떡을 SAP, 코팅물질로 말토덱스트린, 말토덱스트린과 아라비아검, 말토덱스트린과 카복시메틸셀룰로스를 이용한 미세캡슐을 첨가한 설기떡을 SMD, SMG, SMC로 명명하였다.

pH, 가용성 고형분, 수분함량 및 적색도

설기떡 1 g에 증류수 10 mL를 넣고 25,000 rpm으로 1분간 균질화시킨 후, 상층액을 이용하여 pH와 가용성 고형분을 측정하

Table 1. Formulas for sulgidduk added with aronia powder or encapsulated aronia powder

| Sample ¹⁾ | Ingredient (g) | | | | | |
|----------------------|----------------|-----------------|------------------|-------|-------|------|
| | Rice flour | Aronia powder | Aronia capsule | Water | Sugar | Salt |
| CON | 200 | - | - | 40 | 20 | 2 |
| SAP | 197 | 3 ²⁾ | - | 40 | 20 | 2 |
| SMD | 180 | - | 20 ²⁾ | 40 | 20 | 2 |
| SMG | 180 | - | 20 | 40 | 20 | 2 |
| SMC | 180 | - | 20 | 40 | 20 | 2 |

¹⁾CON: sulgidduk without aronia. SAP: sulgidduk prepared with aronia powder. SMD: sulgidduk prepared with encapsulated aronia powder using maltodextrin. SMG: sulgidduk prepared with encapsulated aronia powder using maltodextrin and gum Arabic. SMC: sulgidduk prepared with encapsulated aronia powder using maltodextrin and carboxymethyl cellulose.

²⁾Same amount of aronia powder was added.

었다. 수소이온농도(pH)는 pH meter (3200P, Agilent, Shanghai, China)로, 가용성 고형분은 디지털당도계(PAL-1, Atago Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 측정하였다. 설기떡의 수분함량은 할로젠 수분 분석기(HC103, Mettler Toledo™, Columbus, OH, USA)로, 적색도는 색차계(Colorflex EZ, Hunter Lab, Reston, VA, USA)로 측정하였다.

총 안토시아닌 함량 측정

총 안토시아닌 함량은 Lee 등(2005)의 pH differential method로 측정하여 설기떡 100 g 당 mg cyanidin-3-glucoside (C3G)로 나타냈다. 설기떡 1 g에 증류수 10 mL를 첨가하고, 25,000 rpm에서 1 분간 균질화하고 초음파기(Powersonic 410, Hwashin Technology, Seoul, Korea)를 이용하여 50°C에서 40 KHz로 30분간 추출하였다. 추출액을 원심분리(13,000 rpm, 20 min)하고 상층액을 여과하여 분석에 이용하였다. 설기떡 추출물 0.5 mL에 pH 1.0 완충용액(0.025 M 염화갈륨)과 pH 4.5 완충용액(0.4 M 아세트산나트륨)을 각각 2 mL씩 첨가하고 520 nm와 700 nm에서 흡광도를 측정하였다(Biochrom Libra S22, Santa Barbara, CA, USA). 각 과정에서 시료의 흡광도 차이, C3G 분자량(449.2 g/mol), 희석배수, 환산계수(1000), 몰흡광계수(26,900 L/mol×cm)를 이용하여 총 안토시아닌 함량을 계산하였다.

안토시아닌 잔존률

아로니아 설기떡의 안토시아닌 잔존률(retention)은 조리 전후 설기떡의 총 안토시아닌 함량을 측정하여 계산하였다. 조리 전 설기떡 100 g에 함유된 아로니아 또는 아로니아 미세캡슐의 총 안토시아닌 함량에 대한 조리 후 설기떡 100 g의 총 안토시아닌 함량의 백분율(%)로 나타냈다.

총 폴리페놀 함량 측정

총 폴리페놀 함량은 Singleton과 Rossi(1965)의 Folin-Ciocalteu 방법으로 측정하였다. 설기떡 추출물 200 µL에 10배 희석된 Folin-Ciocalteu 시약 1 mL를 섞은 후 7.5% 탄산나트륨 용액 800 µL를 첨가하고, 상온 암실에서 1시간 반응시켜 760 nm에서 흡광도에서 측정하였다. 클로로젠산(0-300 mg/L)을 이용하여 정량곡선을 작성하고, 설기떡 100 g 당 mg chlorogenic acid equivalents (CAE)로 나타냈다.

항산화 활성 측정

ABTS 라디칼 소거능은 Re 등(1999)의 방법을 수정하여 측정하였다. 설기떡 추출물 20 µL와 ABTS 라디칼 용액 2 mL를 상온 암실에서 4분간 반응시키고 734 nm에서 흡광도를 측정하였다. 정량곡선은 Trolox (0-2 mM)를 이용하여 작성하고 시료 100 g 당 mM Trolox equivalents로 나타냈다.

철환원력(Ferric reducing antioxidant power, FRAP)은 Benzie와 Strain(1996)의 방법을 수정하여 측정하였다. 설기떡 추출물 50 µL에 FRAP 용액 1.5 mL, 증류수 150 µL를 첨가하고 상온 암실에서 4분간 반응시켜 593 nm에서 흡광도를 측정하였다. FeSO₄·7H₂O (0.025-0.4 mM)를 이용하여 정량곡선을 작성하여 시료 100 g 당 mM Fe²⁺로 나타냈다.

구리 킬레이팅 활성은 Santos 등(2017)의 방법에 따라 측정하였다. 설기떡 추출물 180 µL에 50 mM 아세트산나트륨 완충용액(pH 6.0) 1.2 mL, 1 mM 황산구리 수용액 180 µL를 첨가하여 2분간 반응시켰다. 반응액에 2 mM 피로카테콜 바이올렛(pyrocatechol violet) 용액 51 µL를 첨가하고 상온에서 10분간 반응시킨 후 632

nm에서 흡광도를 측정하였다. EDTA-Na₂ (0.2-1 mM)로 표준정량 곡선을 작성하고, 시료 100 g 당 mM EDTA로 나타냈다.

조직감 측정

설기떡을 2×2×2 cm 크기로 잘라 Texture Analyzer (TA-XT express 2007, Stable Micro Systems, Surrey, UK)에 직경이 20 mm인 원통형 probe (P/20P)를 장착하여 two-bite test로 조직감을 측정하였다. 측정 조건은 Bourne(1978)의 방법을 참고하여 pre-test speed 3.00 mm/sec, test speed 1.00 mm/sec, post-test speed 1.00 mm/sec, trigger type auto (force)로 하였다. 측정 항목은 경도(hardness), 탄력성(springiness), 응집성(cohesiveness), 검성(gumminess), 씹힘성(chewiness), 탄성(resilience)으로 trigger force가 5.0 g이 되는 지점부터 시료가 20% 변형되는 지점까지의 값을 측정하였다.

관능평가

20-50대 여성 10명이 설기떡의 특성 강도와 기호도를 평가하였다. 아로니아를 첨가하지 않은 설기떡을 대조군(CON), 아로니아 가루를 첨가한 설기떡(SAP), 말토덱스트린을 사용한 미세캡슐을 넣은 설기떡(SMD), 말토덱스트린과 아라비아검을 혼합한 미세캡슐을 넣은 설기떡(SMG), 말토덱스트린과 카복시셀룰로메틸로스를 혼합한 미세캡슐을 넣은 설기떡(SMC)이 평가되었다. 특성 강도는 촉촉한 정도(moistness), 부드러운 정도(softness), 떫은맛(astringency), 단맛(sweetness), 신맛(sourness), 이취(off-flavor)이었으며, 기호도는 색(color), 향미(flavor), 맛(taste), 질감(texture), 전체적인 기호도(overall acceptance)로 구성되었다. 설기떡은 흰색 일회용 접시에 제공되었으며 7점 척도법(1점: 매우 약하다 또는 매우 싫다 -7점: 매우 강하다 또는 매우 좋다)을 이용하여 평가하였다. 관능평가는 서울여자대학교 생명윤리위원회(IRB)의 승인을 받았다(SWU IRB-2021A-11).

통계분석

통계 분석은 IBM SPSS Statistics 24.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 사용하였고 3반복으로 측정된 수치는 평균±표준편차로 나타냈다. 시료 간 차이는 일원배치 분산분석(One-way analysis of variance, ANOVA)과 Duncan 사후검증법을 이용하여 나타냈다($p < 0.05$).

결과 및 고찰

pH, 가용성 고형분, 수분함량 및 적색도

설기떡의 물리적 특성과 적색도는 Table 2에 제시하였다. 아로니아 또는 미세캡슐을 첨가한 설기떡의 pH는 4.22-4.38이었다. Park(2014)의 아로니아 설기떡 연구에서 아로니아 분말을 1-7% 첨가한 설기떡의 pH는 3.98-5.61이었다. 본 연구에서는 신맛을 띠는 아로니아 분말의 첨가량이 1.5% (재료 총합 262 g, 아로니아 3 g)이었기 때문에 pH가 산성 범위였던 것으로 생각된다. 말토덱스트린 또는 말토덱스트린과 아라비아검을 혼합한 미세캡슐을 첨가한 설기떡(SMD, SMG)의 pH가 유의적으로 낮았다. 코팅물질인 말토덱스트린(pH 5.5)과 아라비아검(pH 4.5)은 약산성이고 (Sakulnarmrat과 Konczak, 2022), 카복시메틸셀룰로스(pH 7.1)는 중성(Behra 등, 2019)이라고 보고되었다. 따라서 말토덱스트린과 아라비아검으로 코팅한 미세캡슐을 첨가한 설기떡의 pH가 상대적으로 낮았던 것으로 생각된다.

가용성 고형분은 아로니아를 첨가한 설기떡(SAP)보다 코팅물

Table 2. Physical properties and redness of sulgidduk added with aronia powder or encapsulated aronia powder

| | CON | SAP | SMD | SMG | SMC |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| pH | 4.63±0.05 ^a | 4.33±0.05 ^b | 4.22±0.01 ^c | 4.22±0.01 ^c | 4.38±0.01 ^b |
| Soluble solid (°Brix) | 3.00±0.00 ^c | 3.60±0.00 ^b | 3.77±0.12 ^{ab} | 3.83±0.12 ^a | 3.90±0.00 ^a |
| Moisture content (%) | 41.05±0.86 ^c | 34.01±1.15 ^b | 32.51±0.19 ^c | 31.96±0.27 ^c | 34.26±0.57 ^b |
| a* (redness) | -0.50±0.05 ^d | 14.88±0.19 ^c | 15.75±0.46 ^b | 17.46±0.29 ^a | 17.42±0.16 ^a |

Data are presented as mean±standard deviation (n=3).

Different letters in the row indicate significant differences among samples ($p<0.05$).

Table 3. Chemical properties of sulgidduk added with aronia powder or encapsulated aronia powder

| | CON | SAP | SMD | SMG | SMC |
|--|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Total anthocyanins (mg C3G/100 g) | 0.00±0.00 ^c | 4.17±0.44 ^b | 4.90±0.67 ^{ab} | 5.34±0.65 ^a | 5.54±0.39 ^a |
| Total polyphenolics (mg CAE/100 g) | 0.00±0.00 ^d | 10.54±0.02 ^c | 17.21±0.03 ^b | 25.35±0.04 ^a | 28.03±0.02 ^a |
| ABTS radical scavenging activity (mM Trolox equivalents/100 g) | 0.03±0.01 ^c | 0.13±0.04 ^b | 0.17±0.01 ^{ab} | 0.16±0.01 ^b | 0.22±0.03 ^a |
| Ferric reducing antioxidant power (mM Fe ²⁺ /100 g) | 0.01±0.01 ^c | 0.12±0.00 ^b | 0.15±0.01 ^b | 0.20±0.03 ^a | 0.18±0.01 ^a |
| Cu ²⁺ chelating activity (mM EDTA/100 g) | 0.06±0.00 ^b | 0.06±0.00 ^a | 0.07±0.00 ^a | 0.07±0.00 ^a | 0.07±0.00 ^a |

C3G, cyanidin-3-glucoside; CAE, chlorogenic acid equivalents.

Data are presented as mean±standard deviation (n=3).

Different letters in the row indicate significant differences among samples ($p<0.05$).

질을 혼합하여 제조된 아로니아 미세캡슐을 넣은 설기떡(SMG, SMC)이 유의적으로 높게 나타났다. 말토덱스트린을 이용한 미세캡슐의 가용성 고형분은 10.83°Brix, 말토덱스트린과 아라비아검을 이용한 미세캡슐이 11.13°Brix, 말토덱스트린과 카복시메틸셀룰로스를 이용한 미세캡슐이 11.10°Brix이었다. 이는 코팅물질을 혼합하여 이용한 미세캡슐의 가용성 고형분이 아로니아 분말(9.65°Brix)보다 높았기 때문에 사료된다. Park(2014)의 연구에서는 4.0°Brix인 아로니아 분말을 첨가한 설기떡의 가용성 고형분은 1.17-2.00°Brix이었다.

설기떡의 수분함량 범위는 31.96-41.05%이었다. 다른 연구의 경우에 아로니아 설기떡의 수분함량은 39.93-42.80% (Park, 2014), 40.86-44.43% (Hwang과 Hwang, 2015)으로 본 연구결과에서의 수분함량이 낮았다. 이는 다른 연구에 비해 쌀가루 중량 대비 물 첨가량이 적거나 설탕 첨가량이 많았기 때문에 생각된다. 대조군 시료의 수분함량이 가장 높았으며, 아로니아를 첨가한 시료 중에서 카복시메틸셀룰로스로 제조된 미세캡슐을 첨가한 설기떡(SMC)의 수분함량이 가장 높았다. 말토덱스트린과 아라비아검에 존재하는 하이드록시기(-OH)가 물 분자를 흡착하는 성질을 지니고 있지만(Castro 등, 2016), 카복시메틸셀룰로스는 중량 대비 수백 배의 물을 흡수할 수 있는 고흡수성(superabsorbent) 중합체이다(Javanbakht과 Shaabani, 2019). Gibis 등(2015)은 소고기 햄버거 패티에 카복시메틸셀룰로스를 0.5-3% 첨가하였을 때 수분함량이 대조군에 비해 유의적으로 높았다고 보고하였다.

적색도는 아로니아를 첨가한 설기떡(SAP)보다 미세캡슐을 이용한 설기떡(SMD, SMG, SMC)이 유의적으로 높았다. 안토시아닌은 pH에 따라 붉은색, 청색, 초록색으로 색이 변화되는데(Heredia 등, 1998), pH 2-4에서는 대부분 flavylium cation으로 존재하여 붉은색을 띤다(Jiang 등, 2019). 본 연구에서 사용된 아로니아의 추출액은 pH가 3.42로 선명한 붉은색을 띠었다. 아로니아 추출액을 첨가한 설기떡은 코팅물질, 쌀가루, 설탕 등의 다른 재료가 첨가되고, 가열과정에서 유기산이 손실되면서 설기떡의 pH가 4.22-4.38로 증가된 것으로 생각된다. 안토시아닌은 가열에 의해 파괴되거나 중합체를 형성하기 때문에 적색도가 감소된다고 보고되

었다(Jiang 등, 2019). 시료에 첨가된 아로니아의 중량이 동일하였으므로 시료의 적색도가 높을수록 설기떡에 안토시아닌 잔존량이 많은 것으로 유추해 볼 수 있다. 즉, 미세캡슐화된 아로니아 안토시아닌이 설기떡의 조리과정에서 덜 파괴되었음을 보여준다. 코팅물질을 혼합하여 제조된 미세캡슐을 첨가한 설기떡(SMG, SMC)이 말토덱스트린으로 제조된 아로니아 미세캡슐을 넣은 설기떡(SMD)에 비해 적색도가 높았다. Cai 등(2019)의 연구에서 블루베리 안토시아닌을 카복시메틸셀룰로스와 잔탄검을 이용하여 미세캡슐화 하였을 때 단독으로 사용한 시료보다 혼합 사용한 시료의 적색도가 높았다. Sarabandi 등(2019)은 가지의 안토시아닌을 말토덱스트린과 아라비아검을 혼합하여 미세캡슐화한 시료에서 적색도가 가장 높았고, 이는 말토덱스트린만을 이용한 미세캡슐에 비해 1.5배 높았다고 하였다. Sakulnarmrat과 Konczak(2022)의 연구에서 람두안 열매의 안토시아닌 미세캡슐을 첨가한 구미젤리를 제조하였을 때 인공색소를 첨가한 젤리와 적색도 값이 유사하게 나타났다. 이러한 연구들은 코팅물질을 혼합하여 미세캡슐을 제조하는 것이 안토시아닌의 붉은색을 유지하는데 효과적이라는 것을 보여준다.

총 안토시아닌 함량 및 안토시아닌 잔존률

아로니아 설기떡의 총 안토시아닌 함량은 Table 3에 나타났다. 아로니아를 첨가한 설기떡(SAP)보다 코팅물질을 혼합하여 제조된 아로니아 미세캡슐을 넣은 설기떡(SMG, SMC)의 안토시아닌 함량이 더 높았고, 이는 적색도 값과 유사하였다. Mihalcea 등(2020)은 포도즙을 첨가한 젤리보다 포도즙을 미세캡슐화하여 첨가한 젤리의 총 안토시아닌 함량이 4배 높다고 보고하였다.

안토시아닌 잔존률은 조리 전후 안토시아닌 함량을 비교한 값으로 Fig. 1에 제시하였다. 단독 또는 혼합 코팅물질로 제조된 미세캡슐을 넣은 설기떡(SMD, SMG, SMC)의 안토시아닌 잔존률이 아로니아를 첨가한 설기떡(SAP)의 잔존률에 비해 유의적으로 높았다. Lavelli 등(2016)의 연구에서 포도껍질의 안토시아닌을 말토덱스트린으로 미세캡슐화하고 사과 푸레에 첨가하여 100°C에서 1.5분 가열하였을 때 안토시아닌 잔존율이 38%이었다. 말토

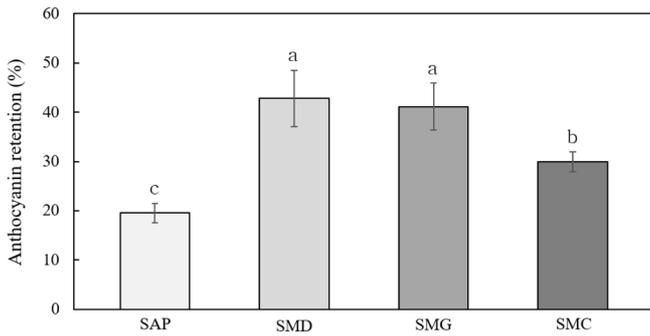


Fig. 1. Anthocyanin retention of sulgidduk added with aronia powder or encapsulated aronia powder. Data are presented as mean±standard deviation (n=3). Different letters indicate statistical differences among samples ($p<0.05$).

텍스트린과 카복시메틸셀룰로스를 사용한 미세캡슐을 넣은 설기떡(SMC)의 안토시아닌 잔존률이 상대적으로 낮은 이유는 말토덱스트린 또는 아라비아검을 이용한 미세캡슐의 캡슐화 효율(93.91, 93.57%)에 비해 카복시메틸셀룰로스를 이용한 미세캡슐의 효율(84.13%)이 더 낮았기 때문으로 생각된다. Castro-López 등(2021)은 모링가잎 추출물의 미세캡슐화에서 코팅물질의 농도가 높을수록 폴리페놀을 더 효과적으로 감싸주었다고 보고하였다. SMC 시료는 카복시메틸셀룰로스 1% 용액을 말토덱스트린 30% 용액과 혼합하여 코팅물질로 사용하였기 때문에, 다당류의 총량이 적어서 아로니아 안토시아닌의 캡슐화 효율이 낮아진 것으로 생각된다. 안토시아닌이 미세캡슐 내부에 분포하지 않고 캡슐의 표면에 위치할수록 캡슐화 효율은 낮아지게 되고, 표면의 안토시아닌은 파괴되기 쉽다. Mahdavi 등(2016b)의 연구에서 캡슐화 효율이 가장 높았던 말토덱스트린과 아라비아검을 이용한 매자 미세캡슐의 안토시아닌 잔존률이 가장 높았으며, Sakulnamrat과 Konczak(2022)이 람두안 열매의 안토시아닌 미세캡슐을 8주간 저장한 연구에서 말토덱스트린과 아라비아검을 3:2로 혼합하여 제조된 미세캡슐의 안토시아닌 잔존률이 높았다. 안토시아닌은 열, 산소, 빛 등의 외부 요인에 의해 파괴되는데, 미세캡슐의 코팅물질이 안토시아닌을 둘러싸으로써 외부 요인으로부터 안토시아닌을 보호해 주는 역할을 한다(Labuschagne 2018; Souza 등, 2017).

총 폴리페놀 함량 및 항산화 활성

아로니아를 첨가한 설기떡(SAP)보다 미세캡슐을 첨가한 설기떡(SMD, SMG, SMC)의 총 폴리페놀 함량이 유의적으로 높았다(Table 3). Mihalcea 등(2020)의 연구에서도 포도주스를 첨가한 젤리보다 포도주스 미세캡슐을 첨가한 젤리의 총 폴리페놀 함량이 4배 이상 높았다. 코팅물질을 혼합하여 제조된 미세캡슐을 첨가

한 설기떡(SMG, SMC)의 총 폴리페놀 함량(25.35, 28.03 mg CAE/100 g)은 아로니아를 첨가한 설기떡(SAP)의 함량(10.54 mg CAE/100 g)에 비해 2배 정도 높았다. Dag 등(2017)은 골든베리 주스를 말토덱스트린으로 미세캡슐화한 경우와 비교하였을 때 알긴산 또는 펙틴과 혼합하여 제조된 미세캡슐이 총 폴리페놀 함량이 유의적으로 높았다고 하였다. Mahdavi 등(2016b)은 말토덱스트린으로 제조된 미세캡슐에 비해 말토덱스트린과 아라비아검을 혼합하여 제조된 캡슐의 효율이 더 높았으며, 이는 코팅물질을 혼합하여 사용하면 단일재료의 부족한 특성을 보완해 주기 때문이라고 하였다. Papoutsis 등(2018)의 연구에서 감귤류 박 추출물을 말토덱스트린만으로 코팅한 미세캡슐보다 말토덱스트린과 콩 단백질을 혼합하여 코팅한 미세캡슐의 총 폴리페놀 함량이 더 높았다. 이는 코팅물질의 혼합이 폴리페놀들을 효과적으로 보호해 주었음을 보여준다.

ABTS 라디칼 소거능은 말토덱스트린과 카복시메틸셀룰로스 코팅한 미세캡슐을 첨가한 설기떡(SMC)이 0.22 mM Trolox equivalents/100 g로 가장 높았고, 철 환원력은 말토덱스트린과 아라비아검, 말토덱스트린과 카복시메틸셀룰로스를 혼합하여 제조된 미세캡슐을 첨가한 설기떡(SMG, SMC)에서 각각 0.20 mM Fe²⁺/100 g, 0.18 mM Fe²⁺/100 g로 유의적으로 높게 나타났다(Table 3). 구리 킬레이팅 활성은 시료간에 유의적인 차이를 보이지 않았다. 라디칼 소거능과 철 환원력은 총 폴리페놀 함량과 유사한 경향을 보였다.

조직감

경도는 아로니아를 첨가된 설기떡(SAP)보다 아로니아 미세캡슐을 첨가한 설기떡(SMD, SMG, SMC)이 낮았다(Table 4). 천년초, 아로니아를 첨가한 설기떡 연구(Jang 등, 2012; Hwang과 Hwang, 2015)에서도 부재료 첨가에 의해 떡의 경도가 감소하였다. 유리당, 텍스트린 등이 전분 분자 사이의 수소결합 형성을 방해하여 떡의 노화속도를 지연시키고 수분과 결합하여 보수성을 증가시켜 경도를 감소시킨다고 보고되었다(Chung과 An, 2012). 본 연구에서 말토덱스트린과 카복시메틸셀룰로스를 혼합한 미세캡슐을 첨가한 설기떡(SMC)의 경도가 가장 낮았다. 카복시메틸셀룰로스는 화학적 또는 물리적 가교결합을 통해 3차원 망상구조를 이루어 그 안에 수분을 가두어 부드러운 촉감을 갖는다고 알려져 있다(Sung 등, 2016; Gibis와 Weiss, 2017; Javanbakht과 Shaabani, 2019). 탄력성은 시료간 유의적인 차이는 없었고, 검성과 씹힘성이 미세캡슐을 첨가한 설기떡(SMD, SMG, SMC)이 낮았다. 이는 설기떡에 아로니아 가루가 첨가되면서 아로니아 미세캡슐이 전분입자 간의 결합이 감소되었기 때문이라고 사료된다. 천년초를 첨가한 설기떡 연구에서도 검성과 씹힘성이 감소되었다(Hwang과 Hwang, 2015). 응집성과 탄성은 일정한 경향을 보이지 않았다.

Table 4. Texture profile of sulgidduk added with aronia powder or encapsulated aronia powder

| Sample | Hardness | Springiness | Cohesiveness | Gumminess | Chewiness | Resilience |
|--------|---------------------------|-------------|------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| CON | 135.69±4.78 ^b | 0.92±0.01 | 0.80±0.01 ^b | 108.73±3.22 ^b | 100.13±3.58 ^b | 0.45±0.01 ^c |
| SAP | 222.10±10.98 ^a | 0.97±0.07 | 0.84±0.01 ^a | 187.44±9.81 ^a | 181.54±13.58 ^a | 0.49±0.01 ^a |
| SMD | 114.74±6.82 ^c | 0.95±0.02 | 0.83±0.01 ^a | 95.69±5.20 ^c | 90.84±5.09 ^b | 0.48±0.01 ^{ab} |
| SMG | 113.85±5.07 ^c | 0.97±0.07 | 0.80±0.03 ^b | 91.29±7.32 ^c | 88.76±13.11 ^b | 0.46±0.02 ^{bc} |
| SMC | 69.48±7.91 ^d | 0.96±0.04 | 0.79±0.01 ^b | 54.75±5.45 ^d | 56.79±2.77 ^c | 0.46±0.01 ^c |

Data are presented as mean±standard deviation (n=3). Different letters in the row indicate significant differences among samples ($p<0.05$).

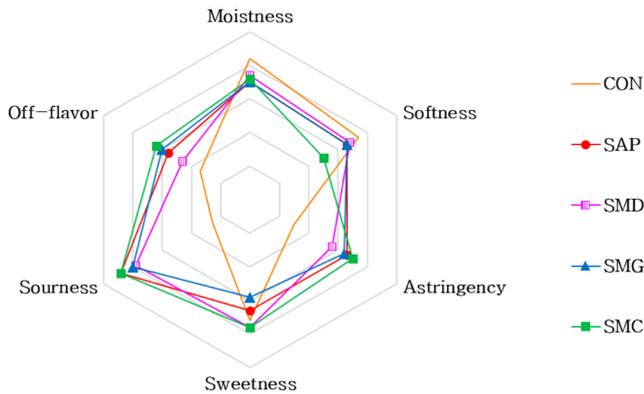


Fig. 2. Spider web of intensity score of sulgidduk with aronia powder or encapsulated aronia powder. CON, w/o aronia; SAP, aronia; SMD, encapsulated with maltodextrin; SMG, encapsulated with maltodextrin and gum Arabic; SMC, encapsulated with maltodextrin and carboxymethyl cellulose.

관능평가

아로니아 설기떡의 특성 강도를 평가한 결과를 Fig. 2에 제시하였다. 촉촉한 정도, 부드러운 정도, 단맛, 이취는 시료간 유의적인 차이가 없었으나, 신맛과 떫은맛은 아로니아 가루 또는 미세캡슐을 첨가한 설기떡(SAP, SMD, SMG, SMC)이 아로니아를 첨가하지 않은 설기떡(CON)보다 유의적으로 높았다. 설탕은 타액을 유발하여 구강의 건조를 억제하고 원활하게 하여 떫은맛의 감지를 감소시키고, 설탕의 단맛은 신맛의 감지를 약화시킨다고 보고되었다(Keast와 Breslin, 2003; Ares 등, 2009). 다당류는 타액 단백질보다는 탄닌과 결합함으로써 불용성 복합체의 형성을 억제하여 떫은맛의 인지를 감소시킨다고 보고되었다(Nuno 등, 2004). 본 연구에서 대조군을 제외한 모든 설기떡 시료의 설탕과 아로니아 첨가량이 동일하였기 때문에 신맛과 떫은맛에 유의적인 차이를 나타내지 않은 것으로 사료된다.

기호도 평가에서 향 및 질감은 시료 간 유의적인 차이가 없었고, 색은 아로니아를 첨가한 설기떡(SAP)에 비해 미세캡슐을 첨가한 설기떡(SMD, SMG, SMC)의 기호도가 높게 나타났다(Fig. 3). 말토덱스트린으로만 제조한 미세캡슐을 넣은 설기떡(SMD)에 비해 코팅물질을 혼합한 미세캡슐을 넣은 설기떡(SMG, SMC)의 색 기호도가 높았는데, 이는 안토시아닌 잔존량이 높아서 선명한 색을 나타냈기 때문으로 사료된다. Sarabandi 등(2019)의 연구에서 가지의 안토시아닌 미세캡슐을 첨가한 젤리가 가지 추출물을 첨가한 젤리에 비해 색에 대한 기호도가 더 높았다. Tumbas Šaponjac 등(2016)의 연구에서도 타트 체리의 안토시아닌 미세캡슐을 쿠키에 첨가하였을 때 대조군보다 색 기호도가 높았다. 본 연구에서 맛에 대한 기호도는 아로니아를 첨가하지 않은 설기떡(CON)이 가장 높았고, 아로니아를 첨가한 설기떡(SAP)보다 말토덱스트린 미세캡슐을 첨가한 설기떡(SMD)의 기호도가 높았다. 미세캡슐을 첨가한 설기떡(SMD, SMG, SMC)의 맛에 대한 기호도는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. Hwang과 Hwang(2015)의 연구에서 아로니아 분말을 1-3% 첨가하였을 때 설기떡의 맛에 대한 기호도가 감소하였다. 아로니아 자체의 신맛이 설기떡의 기호도를 낮추었을 것으로 사료된다.

요약

본 연구에서는 아로니아 추출물을 3가지 코팅물질로 미세캡슐

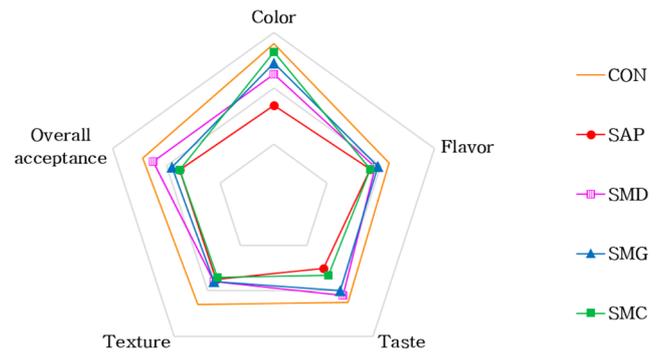


Fig. 3. Spider web of acceptability score of sulgidduk with aronia powder or encapsulated aronia powder. CON, w/o aronia; SAP, aronia; SMD, encapsulated with maltodextrin; SMG, encapsulated with maltodextrin and gum Arabic; SMC, encapsulated with maltodextrin and carboxymethyl cellulose.

화하여 설기떡에 첨가하고 물리화학적 특성 및 안토시아닌의 잔존률을 확인하고, 관능평가를 실시하여 소비자의 기호도를 평가하였다. 아로니아 가루를 첨가한 설기떡에 비해 미세캡슐을 첨가한 설기떡의 가용성 고형분, 수분함량, 적색도, 총 안토시아닌 함량과 총 폴리페놀 함량이 유의적으로 높았다. 전환원력은 말토덱스트린과 아라비아검 또는 카복시메틸셀룰로스를 혼합하여 제조된 미세캡슐을 첨가한 설기떡이 유의적으로 높았다. 안토시아닌 잔존률은 아로니아 가루를 첨가한 설기떡보다 미세캡슐화된 아로니아 가루를 첨가한 설기떡에서 유의적으로 높게 나타났고, 말토덱스트린으로 제조된 미세캡슐 또는 말토덱스트린과 아라비아검을 혼합하여 제조된 미세캡슐을 첨가한 설기떡의 안토시아닌 잔존률이 가장 높았다. 아로니아 가루 또는 미세캡슐을 첨가한 경우에 설기떡의 신맛과 떫은맛이 증가하였고, 코팅물질을 혼합 사용한 미세캡슐의 첨가가 설기떡의 색에 대한 기호도가 높았다. 이러한 결과는 말토덱스트린과 아라비아검을 혼합하여 제조된 미세캡슐을 설기떡에 첨가하는 방법이 아로니아의 안토시아닌을 보호하는 역할을 한다는 것을 보여준다.

감사의 글

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2020R1A2C1004117). 이 논문은 서울여자대학교 교내연구비의 지원을 받았음(2021-0457)

Reference

- Álvarez CE, Contreras JL, Rodríguez DE, Rondón DJ, Muñoz B, Mezquita C. Application of microencapsulated anthocyanin extracted from purple cabbage in fermented milk drinks. *Acta Agron.* 68: 134-141 (2019)
- Ares G, Barrerio C, Deliza R, Gambaro A. Alternatives to reduce the bitterness, astringency and characteristic flavour of antioxidant extracts. *Food Res. Int.* 42(7): 871-878 (2009)
- Benzie IFF, Strain JJ. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239: 70-76 (1996)
- Bourne MC. Texture Profile Analysis. *Food Technol.* 32: 62-72 (1978)
- Behra JS, Mattsson H, Cayre OJ, Robles ES, Tang H, Hunter TN. Characterization of sodium carboxymethyl cellulose aqueous solutions to support complex product formulation: a rheology and light scattering study. *ACS Appl. Polym. Mater.* 1: 344-358

- (2019)
- Cai X, Du X, Cui D, Wang C, Yang Z, Zhu G. Improvement of stability of blueberry anthocyanins by carboxymethyl starch/xanthan gum combinations microencapsulation. *Food Hydrocoll.* 91: 238-245 (2019)
- Cai X, Wang Y, Du X, Xing X, Zhu G. Stability of pH-responsive pickering emulsion stabilized by carboxymethyl starch/xanthan gum combinations. *Food Hydrocoll.* 109: 106093 (2020)
- Castro N, Durrieu V, Raynaud C, Rouilly A. Influence of DE-value on the physicochemical properties of maltodextrin for melt extrusion processes. *Carbohydr. Polym.* 144: 464-473 (2016)
- Castro-López C, Espinoza-González C, Ramos-González R, Boone-Villa VD, Aguilar-González MA, Martínez-Ávila GCG, Aguilar CN, Ventura-Sobrevilla JM. Spray-drying encapsulation of microwave-assisted extracted polyphenols from *Moringa oleifera*: influence of tragacanth, locust bean, and carboxymethyl-cellulose formulations. *Food Res. Int.* 144: 110291 (2021)
- Chrubasik C, Li G, Chrubasik S. The clinical effectiveness of chokeberry: a systematic review. *Phytother Res.* 24: 1107-1114 (2010)
- Chung KM and An HJ. Effects of oyster mushroom on quality of *sulgidduk* and *gyeondan*. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 41: 1294-1300 (2012)
- Čorković I, Pichler A, Buljeta I, Šimunović J, Kopjar M. Carboxymethylcellulose hydrogels: effect of its different amount on preservation of tart cherry anthocyanins and polyphenols. *Curr. Plant Biol.* 28: 100222 (2021)
- Dag D, Kilercioglu M, Oztop MH. Physical and chemical characteristics of encapsulated goldenberry (*Physalis peruviana* L.) juice powder. *LWT-Food Sci. Technol.* 83: 86-94 (2017)
- Fang Z and Bhandari B. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. *Food Chem.* 129: 1139-1147 (2011)
- Gharsallaoui A, Roudaut G, Chambin O, Voilley A, Saurel R. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredient: an overview. *Food Res. Int.* 40: 1107-1121 (2007)
- Ghosh S, Sarkar T, Das A, Chakraborty R. Natural colorants from plant pigments and their encapsulation: an emerging window for the food industry. *LWT-Food Sci. Technol.* 153: 112527 (2022)
- Gibis M and Weiss J. Inhibitory effect of cellulose fibers on the formation of heterocyclic aromatic amines in grilled beef patties. *Food Chem.* 229: 828-836 (2017)
- Gibis M, Schuh V, Weiss J. Effects of carboxymethyl cellulose (CMC) and microcrystalline cellulose (MCC) as fat replacers on the microstructure and sensory characteristics of fried beef patties. *Food Hydrocoll.* 45: 236-246 (2015)
- Heredia FJ, Francia-Aricha EM, Rivas-Gonzalo JC, Vicario IM, Santos-Buelga C. Chromatic characterization of anthocyanins from red grapes-I. pH effect. *Food Chem.* 63: 491-498 (1998)
- Hwang YR and Hwang ES. Quality characteristics and antioxidant activity of *sulgidduk* prepared by addition of aronia powder (*Aronia melanocarpa*). *Korean J. Food Sci. Technol.* 47: 452-459 (2015)
- Jang SY, Kim MH, Hong GJ. Quality characteristics of *sulgidduk* added with *chenmyuncho* fruit powder. *J. East Asian Soc. Diet Life.* 22: 365-373 (2012)
- Jang YB, Koh EM. Sustainable water extraction of anthocyanins in aronia (*Aronia melanocarpa* L.) using conventional and ultrasonic-assisted method. *Korean J. Food Sci. Technol.* 53: 527-534 (2021)
- Jankowski A, Niedworok J, Jankowska B. The influence of *Aronia melanocarpa* Elliot on experimental diabetes in the rats. *Herba Pol.* 45: 345-353 (1999)
- Javanbakht S and Shaabani A. Carboxymethyl cellulose-based oral delivery systems. *Int. J. Biol. Macromol.* 133: 21-29 (2019)
- Jiang T, Mao Y, Sui L, Yang N, Li S, Zhu Z, Wang C, Yin S, He J, He Y. Degradation of anthocyanins and polymeric color formation during heat treatment of purple potato extract at different pH. *Food Chem.* 274: 460-470 (2019)
- Jurić S, Jurić M, Król-Kiliński Z, Vlanhoviček-Kahlina K, Vinceković M, Dragović-Uzelac V. Source, stability, encapsulation and application of natural pigments in foods. *Food Rev. Int.* 36: 1-56 (2020)
- Keast RSJ, Breslin PAS. An overview of binary taste-taste interactions. *Food Qual. Prefer.* 14(1): 111-124 (2003)
- Labuschagne P. Impact of wall material physicochemical characteristics on the stability of encapsulated phytochemicals: a review. *Food Res. Int.* 227-247 (2018)
- Lavelli V, Sri Harsha PSC, Spigno G. Modelling the stability of maltodextrin-encapsulated grape skin phenolics used as a new ingredient in apple puree. *Food Chem.* 209: 323-331 (2016)
- Lee J, Durst RW, Wrolstad RE. Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juice, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: collaborative study. *J. AOAC Int.* 88: 1269-1278 (2005)
- Mahdavi SA, Jafari SM, Assadpoor E, Dehnad D. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic, and gelatin. *Int. J. Biol. Macromol.* 85: 379-385 (2016a)
- Mahdavi SA, Jafari SM, Assadpour E, Ghorbani M. Storage stability of encapsulated barberry's anthocyanin and its application in jelly formulation. *J. Food Eng.* 181: 59-66 (2016b)
- Marcillo-Parra V, Tupuna-Yerovi DS, González Z. Encapsulation of bioactive compounds from fruit and vegetable by-products for food application - a review. *Trends Food Sci. Technol.* 116: 11-23 (2021)
- Mihalcea L, Barbu V, Enachi E, Andronoiu DG, Răpeanu G, Stoica M, Dumitrașcu L, Stănciuc N. Microencapsulation of red grape juice by freeze drying and application in jelly formulation. *Food Technol. Biotechnol.* 58: 20-29 (2020)
- Nuno M, Elisabete C, Catarina L, Victor-de F. Influence of the tannin structure on the disruption effect of carbohydrates on protein-tannin aggregates. *Anal. Chim. Acta* 513(1): 135-140 (2004)
- Oancea AM, Hasan M, Vasile AM, Barbu V, Enachi E, Bahrim G, Răpeanu G, Silvi S, Stănciuc N. Functional evaluation of microencapsulated anthocyanins from sour cherries skins extract in whey proteins isolate. *LWT-Food Sci. Technol.* 95: 129-134 (2018)
- Olas B, Wachowicz B, Tomczak A, Erler J, Stochmal A, Oleszek W. Comparative anti-platelet and antioxidant properties of polyphenol-rich extracts from berries of *Aronia melanocarpa*, seeds of grape and bark of *Yucca schidigera* in vitro. *Plateltets.* 19: 70-77 (2008)
- Oszmiański J and Wojdyło A. *Aronia melanocarpa* phenolics and their antioxidant activity. *Eur. Food Res. Technol.* 221: 809-813 (2005)
- Park EJ. Quality characteristics of *sulgidduk* added with aronia (*Aronia melanocarpa*) powder. *J. East Asian Soc. Diet Life.* 24: 646-653 (2014)
- Papoutsis K, Golding JB, Vuong Q, Pristijono P, Stathopoulos CE, Scarlett C, Bowyer M. Encapsulation of citrus by-product extracts by spray-drying and freeze-drying using combinations of maltodextrin with soybean protein and κ -carrageenan. *Foods* 7: 115 (2018)
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.* 26: 1231-1237 (1999)
- Sakulnarmrat K and Konczak I. Encapsulation of *Melodorum fruticosum* Lour. anthocyanin-rich extract and its incorporation into model food. *LWT-Food Sci. Technol.* 153: 112546 (2022)
- Santos JS, Brizola BRA, Granato D. High-throughput assay comparison and standardization for metal chelating capacity screening: a proposal and application. *Food Chem.* 214: 515-522 (2017)
- Sarabandi K, Jafari SM, Mahoonak AS, Mohammadi A. Application of gum Arabic and maltodextrin for encapsulation of eggplant peel extract as a natural antioxidant and color source. *Int. J. Biol. Macromol.* 140: 59-68 (2019)
- Singleton VL and Rossi JA. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 71: 249-255 (1965)
- Souza ACP, Gurak PD, Marczak LDF. Maltodextrin, pectin and soy protein isolate as carrier agents in the encapsulation of anthocyanins-rich extract from jaboticaba pomace. *Food Bioprod. Process.* 102: 186-194 (2017)
- Sung YK, Kim TH, Lee BH. Electron beam radiation syntheses of

- carboxymethylcellulose-based composite superabsorbent hydrogels: dependence of gel properties on polymer composition and additives. *Clean Technol.* 22: 258-268 (2016)
- Suravanichnirachorn W, Haruthaithanasan V, Suwonsichon S, Sukatta U, Maneeboon T, Chantrapornchai W. Effect of carrier type and concentration on the properties, anthocyanins and antioxidant activity of freeze-dried mao [*Antidesma bunius* (L.) Spreng] powders. *Agric. Nat. Resour.* 52: 354-360 (2018)
- Tumbas Šaponjac V, Četković G, Čanadanović-Brunet J, Pajin B, Djilas S, Petrović J, Lončarević I, Stajčić S, Vulić J. Sour cherry pomace extract encapsulated in whey and soy proteins: incorporation in cookies. *Food Chem.* 207: 27-33 (2016)
- Turak EJ, Sak A, Witrowa-Rajchert D. Influence of the carrier material on the stability of chokeberry juice microencapsules. *Int. Agrophys.* 33: 517-525 (2019)
- Wu X, Gu L, Prior RL, McKay S. Characterization of anthocyanins and proanthocyanidins in some cultivars of *Ribes*, *Aronia*, and *Sambucus* and their antioxidant capacity. *J. Agric. Food Chem.* 52: 7846-7856 (2004)
- Zheng W, Wang SY. Oxygen radical absorbing capacity of phenolics in blueberries, cranberries, chokeberries, and lingonberries. *J. Agric. Food Chem.* 51: 502-509 (2003)