

브로멜라인이 캡슐화 된 W/O/W 이중 에멀전을 적용한 삼치 연화 및 품질 평가

강구현 · 이상운 · 김효태 · 이지선 · 고은영 · 최미정*

건국대학교 축산식품생명공학과

Tenderization and Quality Evaluation of Japanese Spanish Mackerel with W/O/W Double Emulsion Encapsulated Bromelain

Guhyun Kang, Jiseon Lee, SangYoon Lee, Hyo Tae Kim, Eun Young Ko, and Mi-Jung Choi*

Department of Food Science and Biotechnology of Animal Resources, Konkuk University

Abstract

In this study, spray-dried double emulsion loaded bromelain was applied to Japanese Spanish mackerel fillets to develop fish-type, elderly-friendly foods. Japanese Spanish mackerel, treated with spray-dried double emulsions, were stored at 4°C for 24 h. For the characterization of emulsion particles, the particle size, ζ -potential, and morphology were determined. The color, TBARS, VBN, TMA, hardness, and adhesiveness of fish fillets treated by emulsion were measured for physicochemical properties. All the particle sizes of spray-dried emulsion were decreased while their double emulsion structure was maintained. Spray-dried emulsion reduced the color difference of fish fillets and did not catalyze lipid oxidation and protein decomposition. Values of TBA, VBN, and TMA of all fish did not exceed 0.5 mg MDA/kg, 30 mg/100 g, and 10 mg/100 g, respectively, which are considered edible limits regardless of bromelain or emulsion application. Bromelain modified fish fillets' hardness and adhesiveness to be suitable for elderly food, although it was encapsulated in the emulsion. Thus, spray-dried fish oil W/O/W double emulsion-loaded bromelain can be applied as a fish tenderizer, and this study's results can be utilized to develop elderly-friendly food.

Key words: bromelain, double emulsion, Japanese Spanish mackerel, elderly-friendly foods

서 론

삼치(*Scomberomorus niphonius*)는 2019년 기준 37,841톤이 생산되어 국내 어류 생산량 중 8번째를 차지하는 대중적인 생선으로써(Statistics Korea, 2020), EPA (eicosapentaenoic acid), DHA (docosahexaenoic acid)로 대표되는 오메가-3 지방산이 풍부하다(Moon et al., 2012). 오메가-3 지방산은 이미 알려진 바와 같이 체내에서 관상동맥질환, 고혈압, 당뇨병, 관절염 등의 각종 성인 질병을 예방할 뿐만 아니라 눈과 뇌 건강에도 영향을 미치며, 치매 예방에도 효과가 있는 것으로 보고된 바 있다(Connor et al., 2000). 이러한 이유로 고령자를 대상으로 생선 섭취를 권장하고 있으나, 일반인과 달리 연화 장애를 가지고 있는

환자나 청장년층에 비해 연화 기능이 저하된 고령자의 경우 생선의 미세 섬유 구조가 저작 연화 시 사래 등을 유발해 이에 대한 물성 개선이 필요하다(Nagai et al., 2010).

일반적으로 섭취는 많은 근육이 관여하는 저작 및 연화 과정으로 구성되어 있는데(Hong, 2015), 고령자는 노화로 인해 근육이 약화되어 저작장애 및 연화장애가 발생하기 쉽기 때문에 일반인을 대상으로 제조되는 식품을 섭취하기 어렵다(Aslam et al., 2013). 특히, 우리나라는 2018년에 65세 이상 인구가 14% 이상을 차지하는 고령사회로 진입하였으며(Statistics Korea, 2020), 이에 따라 고령친화 식품 개발의 필요성 또한 대두되고 있다(Yang et al., 2018). Aguilera and Park (2016)에 따르면 고령친화 식품의 개발을 위해 기존 식품을 연화 하는 과정이 필요하며, 그 방법으로는 효소적 처리법, 동결-해동투입법(Nakatsu et al., 2014), 고압 처리법(Zuckerman et al., 2013), 펄스전기장(Puértolas et al., 2012)과 초음파(Chang et al., 2012) 등이 보고되었다. 이 중, 효소적 처리법은 파인애플에서 추출한 단백질 분해효소인 브로멜라인을 활용한 육류 연화가 대표적이다(Ketnawa & Rawdkuen, 2011). 브로멜라인은

*Corresponding author: Mi-Jung Choi, Department of Food Science and Biotechnology of Animal Resources, Konkuk University, 120 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 05029, Korea.
Tel: +82-2-450-3048; Fax: +82-2-450-3726
E-mail: choimj@konkuk.ac.kr

Received October 20, 2020; revised December 14, 2020; accepted November 26, 2020

미국 식품 의약국으로부터 식용 가능한 소재로 인증되어 있으며(GRAS; Generally Recognized as Safe), 항균효과를 가지고 있고, 광범위한 활성을 가지고 있어 다양한 형태의 식품을 연화 할 수 있는 장점이 있어 식품의 연화 효소로써 널리 사용된다(Misran et al., 2019; Jun-hui et al., 2020). 돼지고기, 소고기, 닭고기 등의 다양한 육류에서 브로멜라인 처리에 따른 연화 효과가 보고 되었다(Botinstean et al., 2018; Eom et al., 2015; Shin et al., 2019). 하지만 브로멜라인을 식품에 직접 적용한 경우 식품의 품질을 저하시킬 수 있다는 단점 또한 보고된 바 있다(Shin et al., 2019). Shin et al. (2019)은 브로멜라인을 식품에 직접 적용하는 대신 이중 에멀전 내에 캡슐화하여 적용하였고, 연화 효과 및 연화된 육류의 품질 평가를 통해 처리 후 24시간 동안 연육효과 및 돈육의 색변화를 감소시키는 결과를 보고하였으며, 이는 효소를 직접 투입해 연화한 식품보다 조직연화 및 보수력유지에 긍정적인 영향을 미치는 것과 보고하였다. 그러나, 축산육에 대한 적용과 달리 해양 생선류의 효소적 처리법에 따른 연화 효과에 대한 보고는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 생선류에 효소적 처리법을 적용하여 삼치를 연화함으로써 생선류 고령친화식품 개발 가능성을 모색하고자 수행되었다. 브로멜라인을 W/O/W 이중 에멀전의 내부 수상에 캡슐화 하여 효소의 연화를 조절하고자 하였고, 내부 유상으로 오메가-3 지방산이 풍부한 fish oil를 사용함으로써 고령인을 위한 영양 강화의 부가적인 효과를 부여하고자 하였다. 제조된 이중 에멀전을 분무건조하여 fish oil가 함유된 브로멜라인 이중 에멀전 캡슐 연화제를 제조하였고, 이를 삼치에 적용한 후 삼치의 연화 효과 및 품질 평가를 수행하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에서는 menhaden 유래 fish oil (Sigma-Aldrich Co., Saint Louis, Missouri, USA), 분무건조 시 피복물질로써 말토덱스트린(Daesang Co., Ltd., Gunsan, Korea)을 사용하였으며, 사용된 삼치는 지역 매장(Seoul, Korea)으로부터 당일 구입하여 사용하였다.

W/O/W 이중 에멀전 제조

브로멜라인을 최종 에멀전의 2% (w/w)가 되도록 1% (w/v) MgCl₂ 수용액에 용해하여 에멀전의 내부 수상으로 사용하였고, fish oil에 5% (w/w) 친유성 유허제인 PGPR을 용해하여 유상으로 사용하였고, 증류수에 1% (w/v) 친수성 유허제인 Tween[®] 80을 용해한 것을 외부 수상으로 사용하였다. 내부 수상과 유상의 비율을 3:7로 하여 프로펠러 혼합기(ChangShin Co., Ltd., Hwaseong, Korea)를 통

해 700 rpm으로 3분 간 교반하고, 이후 초고속 균질기(T25 digital Ultra-Turrax[®] high-speed mixer, IKA, Staufen, Germany)를 사용하여 15,000 rpm에서 5분간 균질하여 W/O 단일 에멀전을 제조하였다. 제조된 W/O 에멀전과 외부 수상의 비율을 1:1로하여 프로펠러 균질기를 통해 700 rpm으로 3분 간 교반하고, 초고속 균질기를 사용하여 10,000 rpm에서 2분간 균질하여 W/O/W 이중 에멀전을 제조하였다.

분무건조를 통한 분말제조

분무건조의 부형제로써 20% (w/v) 말토덱스트린 수용액을 제조하였고, 이중 에멀전과 말토덱스트린 수용액을 1:9의 비율로 혼합하여 분무건조 시료를 제조하였다. 분무건조기(SD1000 spray-drying, EYELA Co., Ltd., Tokyo, Japan)를 사용하여 blower 0.4 m³/min, pressure 200 kPa, inlet temperature 120°C, feeding rate 400 mL/h의 조건 하에 분무건조를 수행하였다. 위 방법을 통해 말토덱스트린 수용액만 건조한 분말(M), 브로멜라인과 말토덱스트린 수용액을 분무건조한 분말(Bro-M), 내부에 물질을 캡슐화 하지 않은 이중 에멀전을 분무건조한 분말(DE), 브로멜라인을 캡슐화 한 이중 에멀전을 분무건조한 분말(Bro-DE), 총 4종의 분무건조 분말을 제조하였다.

분말의 삼치 적용

삼치는 내장과 뼈를 제거하고 순살을 사용하였다. 삼치의 순살을 2×2×1 cm³ (약 5g)으로 제형하고, 분무건조 분말을 삼치 순살 시료 질량의 약 1%인 0.05 g을 윗면과 아랫면에 각각 도포하여 적용하고, 비교를 위해 분무건조 분말을 처리하지 않은 삼치 순살 시료(C)와 함께 12, 24, 48 시간 냉장보관 후 분석시료로 사용하였다.

입자크기, 제타 전위 및 입자의 외형

분무건조에 사용된 이중 에멀전의 분무건조 이전과 분무건조 이후 재수화한 입자 크기를 각각 입도분석기(Mastersizer 3000E, Malvern Instruments, Worcestershire, UK)를 사용하여 측정하였고, 제타 전위를 입도분석기(Zeta sizer Nano ZS 90, Malvern Instruments, Worcestershire, UK)를 사용하여 측정하였다. 분무건조 후의 분말을 재수화하여 입자의 크기와 제타 전위를 측정하였다. 또한 입자의 외형을 광학현미경(CX 31, Olympus Co., Ltd., Tokyo, Japan)으로 1,000배율로 확대하여 관찰하였다.

색도 및 색차

분석시료의 표면을 색도계(CR-10, Konica Minolta Sensing, Tokyo, Japan)를 사용하여 CIE L* (명도), CIE a* (적색도), CIE b* (황색도)값을 측정하였고, 구입 직후의 삼치 순살 원물의 CIE L*, CIE a*, CIE b*값과의 차이를 이

용하여 ΔE (total color difference)값을 나타냈다.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta CIEL^*)^2 + (\Delta CIEa^*)^2 + (\Delta CIEb^*)^2} \quad (1)$$

경도 및 부착성 측정

분무건조 분말을 도포한 삼치 순살의 경도 및 부착성의 차이를 측정하고자 texture analyzer (CT3-1000, Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Middleboro, MA, USA)를 이용하여 텍스처 프로파일 분석(texture profile analysis, TPA)을 수행하였다. 측정 조건으로 TA-10 prove를 사용, deformation 20%, trigger load 5 g, test speed는 2.5 m/s로 설정하였다.

TBA 반응 물질 측정

분무건조 분말 도포에 따른 삼치 순살의 산화 정도 차이를 측정하고자 Cui et al. (2018)의 방법을 변형하여 삼치 순살 시료에서 2-티오바비투르산(thiobarbituric acid, TBA)와 반응하는 물질의 양(TBA reactive substance; TBARS)을 측정하였다. 먼저 TBA 반응 시약으로 15% (w/v) 트리클로로아세트산과 0.375% (w/v) 2-티오바비투르산을 0.25 M HCl 용액에 용해한 것을 사용하였다. 냉장 처리 후의 삼치 순살 시료를 증류수와 1:9의 비율로 혼합하여 분쇄하고, Whatman 여과지 1번을 사용하여 여과하였다. 코니컬 튜브에 여과액 0.5 mL과 제조한 TBA 반응 시약을 4.5 mL 투입하고 혼합한 후에 95°C에서 물 증탕으로 가열하고, 얼음물에서 15분간 냉각하였다. 이후 원심분리를 통하여 3,000 rpm에서 원심분리 후 상층액을 UV spectrometer (Muliskan Go, Thermo Fisher Scientific, Waltham, Massachusetts, USA)를 통해 535 nm의 파장에서 흡광도를 측정하고 검량선에 대입하여 값을 구하였다.

휘발성 염기태 질소 함량

분무건조 분말을 도포한 삼치 순살의 휘발성 염기태 질소(volatile basic nitrogen; VBN)의 함량을 Kuda et al. (2002)의 방법을 변형하여 실시하였다. 삼치 순살 시료를 증류수와 1:4 비율로 균일하게 혼합하고 Whatman 여과지 2번을 통하여 여과한 후에 여과액을 Conway 접시의 외실에 1 mL에 투입하고 내실에 0.01 N H₃BO₃ 1 mL과 Conway 시약 0.1 mL를 가했다. 이후 Conway 접시를 폐쇄한 후 외실에 K₂CO₃ 용액을 1 mL 투입한 후, 37°C에서 2시간 반응시켰다. 반응 후 봉산표준액 0.02 N H₂SO₄으로 진녹색에서 선홍색으로 변색될 때를 종말점으로 하여 적정하고, 다음 식에 대입하여 계산하였다.

$$BN \text{ (mg/100g)} = \frac{14.007 \times (a - b) \times f \times 100 \times 100}{s} \quad (2)$$

a: 시료를 적정한 황산의 양(mL)

b: 공시료를 적정한 황산의 양(mL)

f: 황산의 표준화 지수(0.02)

s: 시료의 양(g)

트리메틸아민 함량

분무건조 분말 도포한 삼치 순살의 트리메틸아민(trimethylamine; TMA)의 함량 측정을 Lee & Koo (2012)의 방법을 변형하여 실시하였다. 삼치 순살 시료를 2 g을 채취한 후 4% 트리클로로아세트산 용액 8 mL와 균일하게 혼합하였다. 30분 동안 상온에서 방치시킨 후 Whatman 여과지 42번을 통해 여과하여 시료추출액을 제조하였다. Conway 접시 내실에 브로모크레졸 0.01 g, 메틸 레드 0.02 g을 에탄올 10 mL에 용해시키고 봉산 10 g을 에탄올 200 mL에 용해시킨 후 두 용액을 혼합하고 증류수를 첨가하여 부피를 1 L까지 가하여 제조한 지시약을 1 mL을 투입하였고, 접시 외실에 시료추출액 1 mL을 투입하고 10% 포름알데히드 시약을 투입한 후에 뚜껑을 닫고 천천히 흔들어 혼합하였다. 이후 37°C 조건 하에 60분간 반응시킨 후에, 내실에 0.02 N 염산 용액을 통하여 초록색에서 분홍색으로 변색될 때를 종말점으로 하여 적정하였고, 4% 트리클로로아세트산 용액을 공시료로써 같은 방법으로 적정하여, 다음 식에 대입하여 계산하였다.

$$TMA \text{ (mg/100g)} = (a - b) \times (N \times A) \frac{\left\{ \left(s \times \frac{M}{100} \right) + e \right\} \times 100}{s} \quad (3)$$

a: 시료를 적정한 염산의 양(mL)

b: 공시료를 적정한 염산의 양(mL)

N: 염산의 노르말 농도 = 0.02 N

A: 질소의 원자량(×14.00)

s: 시료의 양(g)

e: 시료추출에 사용된 4% TCA 용액의 부피

통계분석

실험 결과는 SPSS 통계 프로그램(Statistical Package for the Social Science, Ver. 24.0 IBM., Chicago, IL, USA)을 이용하여 일원배치분산분석 후 Duncan's multiple range test로 유의성 검증(p < 0.05)을 실시하였다.

결과 및 고찰

입자 크기, 제타 전위 및 현미경 관찰

분무건조 처리와 재수화 하였을 때에 입자 크기와 제타 전위 값을 Table 1과 Fig. 1에서 나타냈다. 분무건조 하기 전, 브로멜라인이 첨가되지 않은 이중 에멀전과 첨가된 이중 에멀전의 입자크기는 D_[3,2]은 대략 25-27 μm이고, D_[4,3]

은 36-38 μm 으로 브로멜라인 첨가 여부 상관없이 유사한 값을 나타냈다. 이는 단일 에멀전에 코팅된 브로멜라인의 경우 입자가 코팅하지 않은 단일 에멀전에 비해 다소 크게 나타나는 경우와 달리, 내부 수상으로 효소가 코팅되어 이를 다시 유상에 포집된 구조로 효소 유무와 상관없이 유사한 크기를 나타낸 것으로 판단된다. 재수화 한 시료의 경우 모두 $D_{[3,2]}$ 을 기준으로 3 μm 크기로 값이 감소하였다. $D_{[4,3]}$ 을 기준으로 측정된 DE와 Bro-DE의 입자크기는 각각 16.76 μm 와 4.67 μm 으로 유의적으로 감소하였으며($p < 0.05$), 이는 분무건조 공정 중 시료내 수분이 증발하면서 일부 수축되어 전체적으로 입자크기가 작아진 것으로 생각된다. Jafari et al. (2008)은 fish oil 에멀전을 분무건조 할 경우 에멀전 제조 방법 및 유화제에 따라서 재수화 이후의 입자 크기가 증감할 수 있다고 보고 하였으며, Berendsen et al. (2015) 또한 W/O/W 이중 에멀전을 분무건조 할 경우 재수화 한 입자의 크기는 유화제에 따라서 변화할 수 있다고 보고하였다.

분무건조 처리하기 전 이중 에멀전의 제타 전위는 DE과

Table 1. Particle size and ζ -potential value of double emulsion before spray-dried and after spray-dried and rehydrated double emulsion before spray-dried and after spray-dried and rehydrated double emulsion

| | $D_{[3,2]}$ (μm) | $D_{[4,3]}$ (μm) | $[-]$ ζ -potential (mV) |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| DE | 25.68 \pm 0.85 ^b | 36.63 \pm 0.73 ^a | 36.00 \pm 2.43 ^a |
| Bro-DE | 27.04 \pm 1.34 ^a | 37.89 \pm 0.99 ^a | 22.07 \pm 1.27 ^c |
| Rehydrated DE | 3.23 \pm 0.09 ^c | 16.76 \pm 1.98 ^b | 32.67 \pm 0.49 ^b |
| Rehydrated Bro-DE | 3.18 \pm 0.08 ^c | 4.67 \pm 0.13 ^c | 13.60 \pm 0.36 ^d |

DE, double emulsion; Bro-DE, bromelain encapsulating double emulsion.
^{a-d}Means significant difference between experimental group ($p < 0.05$).

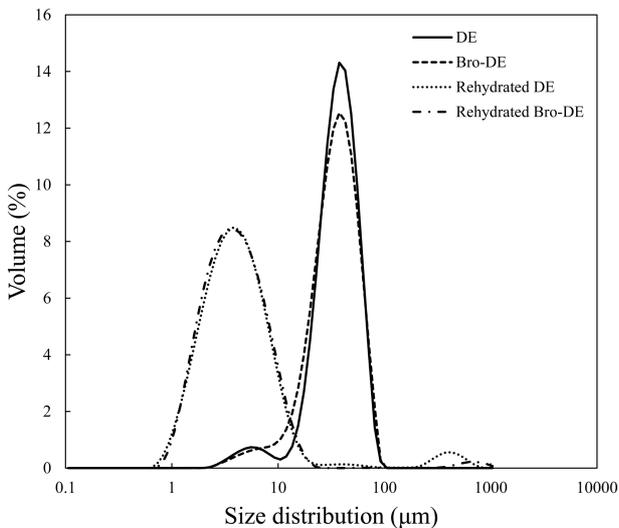


Fig. 1. Size distribution of double emulsion- before and after spray drying process. DE, double emulsion; Bro-DE, bromelain encapsulating double emulsion.

Bro-DE 각각 -36.00 mV, -22.07 mV으로 브로멜라인을 캡슐화 한 경우에 제타 전위의 절대값이 더 낮았다. 이는 일반적으로 단백질은 등전점을 기준으로 pH가 등전점보다 낮을 경우 양전하를 띄고, 등전점보다 높을 경우 음전하를 띄는 특성을 지니는 양쪽성 이온(Zwitteric ionic) 물질인데, 브로멜라인의 경우 등전점이 9.55로 증류수에 용해시에 양전하를 띄고 있다(Yamada et al., 1976). 제조된 이중 에멀전은 증류수로 제조되었으므로 브로멜라인의 양전하로 인해 음의 제타 전위 값이 작아진 것으로 판단된다. Shin et al. (2019)은 Tween® 80과 같은 음전하를 띄는 유화제를 사용하여 에멀전에 브로멜라인과 같은 양전하 물질이 표면에 흡착하여 제타 전위 값을 변할 수 있다고 본 실험 결과와 유사한 결과를 보고하였다. 한편, 분무건조 이후 재수화 한 이중 에멀전의 제타 전위 값은 DE의 경우 -32.67 mV 값으로 재수화 이전과 비교해 유의적인 차이가 없었으며, 이에 반해 Bro-DE는 재수화 시료에서 제타 전위가 음의 값이 더욱 크게 감소한 것으로 나타났다. 이는 분무건조 시에 이중 에멀전이 일부 파괴되어 내부 수상에 포집된 브로멜라인이 방출되어 나와 Tween이 지니고 있는 음의 전하 값을 상쇄시켜 낮아진 것으로 판단된다. Malhotra & Coupland (2004)의 연구에 따르면 본 실험과 유사하게 Tween에 단백질이 흡착하여 제타 전위의 음의 값이 낮아질 수 있다고 보고되었다.

이중 에멀전의 분무건조 전과 후 현미경 관찰 사진을 Fig. 2에 나타냈다. 분무건조 이전 DE와 Bro-DE 모두 에멀전 내부에서 전형적으로 관찰될 수 있는 W/O 입자들이 밀도있게 관찰되었다. 분무건조 한 후 재수화 한 에멀전의 경우에는 브로멜라인 캡슐화 여부와 상관없이 입자의 크기가 작아진 것이 관찰되었지만, 작아진 입자 내부에 W/O 에멀전 구조를 포함되어 있는 것 또한 관찰되었다. 이는 기존 에멀전의 입자가 분무건조 과정에서 시료가 분사되어 사이클론 관에서 낙하하면서 떨어질 때, 다시 한번 작게 제조되는 현상이 발생되었을 것으로 판단된다. Berendsen et al. (2015)의 결과에서도 W/O/W 이중 에멀전을 재수화 할 경우 입자 크기 변화가 발생하더라도 내부 W/O 에멀전 구조가 관찰된 것으로 보고되었다.

색도 및 색차

분무건조 분말을 도포한 삼치 순살의 색도변화를 냉장저장 시간에 따라 Table 2에서 나타냈다. 구매 직후 원물의 CIE L*값은 42.12로, 모든 처리구에서 48시간 저장 이후에 감소하였다. 하지만 48시간 이후 C 처리구보다 Bro-M, DE, Bro-DE에서 CIE L*의 감소량이 유의적으로 적게 나타났다($p < 0.05$). CIE a*값과 CIE b*값은 원물에서 각각 0.84, 3.23였고, 모든 처리구에서 48시간 저장 이후에 낮은 값을 나타냈으며, 처리구 간 경향성은 나타나지 않았다. 색차는 48시간 저장 이후 아무것도 처리하지 않은 C에서

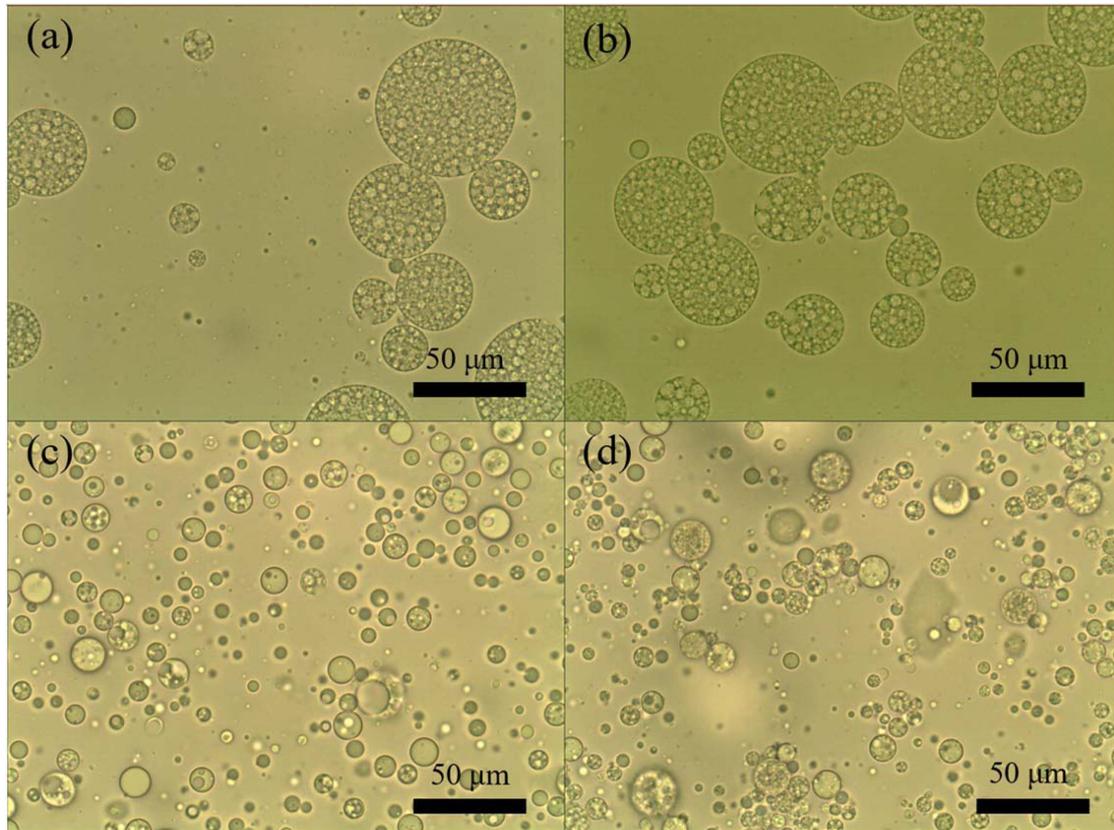


Fig. 2. Microstructure observation of double emulsion at magnification $\times 1,000$. DE, double emulsion; Bro-DE, bromelain encapsulating double emulsion. (a) Feed DE, (b) feed Bro-DE, (c) rehydrated DE, (d) rehydrated Bro-DE.

Table 2. Color of spray-dried double emulsion powder treated Japanese Spanish mackerel

| Treatment | Storage duration (h) | CIE L* | CIE a* | CIE b* | ΔE |
|-----------|----------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| C | 0 | 42.12 \pm 1.22 ^A | 0.84 \pm 0.11 ^A | 3.23 \pm 0.30 ^A | |
| | 12 | 42.11 \pm 3.67 ^{abA} | -0.13 \pm 0.55 ^{bc} | 1.40 \pm 0.63 ^{abD} | 3.00 \pm 0.90 ^{abB} |
| | 24 | 39.50 \pm 1.16 ^{abB} | 0.12 \pm 0.19 ^{cb} | 2.30 \pm 0.41 ^{aB} | 2.96 \pm 0.95 ^{abB} |
| | 48 | 34.92 \pm 1.17 ^{bc} | 0.23 \pm 0.22 ^{abB} | 1.87 \pm 0.39 ^{aC} | 7.37 \pm 1.12 ^{aA} |
| M | 0 | 42.12 \pm 1.22 ^A | 0.84 \pm 0.11 ^A | 3.23 \pm 0.30 ^A | |
| | 12 | 43.31 \pm 1.36 ^{abA} | 0.04 \pm 0.19 ^{bcC} | 0.92 \pm 0.84 ^{bc} | 2.95 \pm 1.11 ^{abB} |
| | 24 | 43.34 \pm 2.59 ^{abA} | 0.59 \pm 0.37 ^{abB} | 2.41 \pm 0.53 ^{aAB} | 2.31 \pm 1.8 ^{abB} |
| | 48 | 36.52 \pm 1.44 ^{abB} | 0.64 \pm 0.67 ^B | 2.15 \pm 1.35 ^{aB} | 5.85 \pm 1.55 ^{abA} |
| Bro-M | 0 | 42.12 \pm 1.22 ^{AB} | 0.84 \pm 0.11 ^A | 3.23 \pm 0.30 ^A | |
| | 12 | 43.27 \pm 5.13 ^{aA} | 0.09 \pm 0.3 ^{bb} | 1.55 \pm 0.95 ^{abB} | 4.53 \pm 3.05 ^{aA} |
| | 24 | 44.67 \pm 3.71 ^{aA} | 0.65 \pm 0.58 ^{abA} | 2.31 \pm 1.58 ^{aAB} | 4.29 \pm 2.00 ^{aA} |
| | 48 | 38.41 \pm 2.01 ^{aB} | 0.24 \pm 0.14 ^{abB} | 1.28 \pm 0.39 ^{aB} | 4.32 \pm 1.80 ^{bcA} |
| DE | 0 | 42.12 \pm 1.22 ^A | 0.84 \pm 0.11 ^A | 3.23 \pm 0.30 ^A | |
| | 12 | 42.78 \pm 0.86 ^{abA} | -0.55 \pm 0.17 ^c | 1.31 \pm 0.48 ^{abC} | 2.59 \pm 0.49 ^{abA} |
| | 24 | 41.30 \pm 0.17 ^{bA} | 0.30 \pm 0.05 ^{bcB} | 2.65 \pm 0.08 ^{aB} | 1.14 \pm 0.13 ^{bb} |
| | 48 | 38.53 \pm 1.64 ^{aB} | 0.30 \pm 0.16 ^{abB} | 2.91 \pm 0.2 ^{aAB} | 3.66 \pm 1.62 ^{cA} |
| Bro-DE | 0 | 42.12 \pm 1.22 ^A | 0.84 \pm 0.11 ^A | 3.23 \pm 0.30 ^A | |
| | 12 | 41.23 \pm 1.69 ^{bAB} | 0.23 \pm 0.34 ^B | 1.94 \pm 1.03 ^{aB} | 2.36 \pm 0.91 ^{bA} |
| | 24 | 39.79 \pm 2.66 ^{abBC} | 0.9 \pm 0.35 ^{aA} | 3.40 \pm 0.08 ^{aA} | 2.83 \pm 2.01 ^{abA} |
| | 48 | 38.13 \pm 1.76 ^{aC} | 0.1 \pm 0.08 ^{bb} | 2.19 \pm 0.35 ^{abB} | 4.21 \pm 1.72 ^{bcA} |

^{A-D}Means significant difference between different storage duration with same experimental group ($p < 0.05$).

^{a-c}Means significant difference between experimental group with same storage duration ($p < 0.05$).

C, control; M, maltodextrin; Bro-M, maltodextrin with bromelain; DE, double emulsion; Bro-DE, bromelain encapsulating double emulsion.

7.37로 Bro-M, DE, Bro-DE에서 비하여 유의적으로 높은 값을 나타냈다($p < 0.05$). Kim & Joo (2015)의 조사에 따르면 고령친화식품을 개발할 경우, 식품의 외관 또한 고령인의 기호도에 영향을 줄 수 있음을 시사하였다. 삼치 순살에 분무건조 분말을 처리하여 보관하는 것이 삼치의 색 변화를 지연시키므로 식품 기호도에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다.

TBARS

생선류는 냉장 저장 시 지방의 산화가 발생하여 이취가 발생하고(Hong et al., 2000), 오메가-3 지방산 영양성분의 손실(Encina et al., 2016)로 인한 품질 저하가 발생할 수 있다. 특히 삼치와 같은 적색어류는 높은 불포화지방산 함량과, 미오글로빈 및 heme 화합물이 산화를 촉진하기 때문에 다른 어종에 비하여 산패에 더욱 취약하다(Love et al., 1983; Shim et al., 2011). 생선의 산패 시에 1차 산물로 생성된 자유 라디칼이 생성되고, 자유 라디칼을 2차 산물로서 카보닐 화합물과 알데하이드 물질들이 생성된다(Ghani et al., 2017). 이중 대표적인 화합물인 말론디알데하이드(malondialdehyde, MDA)는 식품의 이취를 발생시키며(Fernandez et al., 1997), 2-티오바비투르산과 반응하여 분홍색을 발현시키는 특징을 가지고 있고, 생선의 산화 정도를 측정하는데 이용된다(Ke et al., 1984).

분무건조 분말을 도포한 삼치 순살의 TBA반응 물질의 양을 Fig. 3에서 나타냈다. 구매 직후 고등어 생물의 TBA 반응 물질은 0.21 mg MDA/kg이었고, C 처리구는 24시간 유의적인 차이가 발생하지 않았다가 48시간 저장에서 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$). M 처리구에서는 모든 시간에서 유의적 차이가 발생하지 않았으며, Bro-M과, DE 처리구는 12시간 저장 시에는 감소하고, 24시간 저장 시에 증가한 후, 48시간 저장 시에 감소하였다($p < 0.05$). Bro-DE의 경우 구입 직후의 원물에 비해 TBA 반응물질이 증가하여 24시간 저장 이후에 유의적 차이가 발생하였으나($p < 0.05$), 24시간과 48시간 사이에는 유의적 차이가 발생하지 않았다($p > 0.05$). 또한 48시간 저장 후 각 처리구간 유의적 차이는 발생하지 않았다($p > 0.05$)

본 실험에서 이중 에멀전의 유상으로 DHA와 EPA가 다량 함유되어 있는 fish oil을 사용하였고, 이는 산화에 매우 취약하기 때문에(Kolanowski et al., 1999) 이중 에멀전 분말을 처리할 경우 저장 도중 산화로 인한 품질저하가 우려되었으나, 그와 달리 분말 도포 후 48시간 이내에는 이중 에멀전에 포함된 fish oil은 산화되지 않은 것으로 판단된다. 또한 브로멜라인이 포함된 처리구의 삼치 시료에서도 마찬가지로 산화가 이루어지지 않았다. Goulas & Kontominas (2005)는 고등어의 관능평가 시에 TBA 반응물질이 0.5 mg MDA/kg 이상일 경우부터 이미와 이취가 인지됨을 보고하였고, 본 실험에서 모든 처리구의 TBA 반

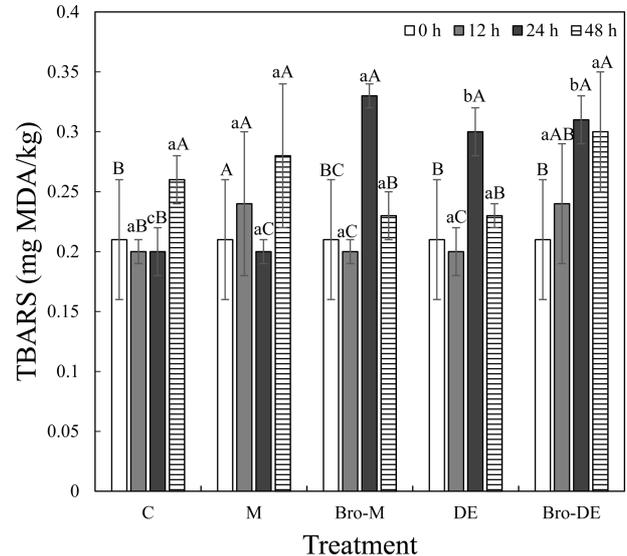


Fig. 3. TBARS of spray dried double emulsion powder treated Japanese Spanish mackerel. ^{A-D}Means significant difference between different storage duration with same experimental group ($p < 0.05$). ^{a-b}Means significant difference between experimental group with same storage duration ($p < 0.05$). C, control; M, maltodextrin; Bro-M, maltodextrin with bromelain; DE, double emulsion; Bro-DE, bromelain encapsulating double emulsion.

응물질이 0.4 mg MDA/kg 미만이므로, 시료에서 이미와 이취가 발생하지 않았을 것으로 생각된다.

따라서, 에멀전으로 캡슐화한 브로멜라인을 분무건조 후 생선에 도포하여 연화제로 사용하더라도 냉장 48시간 이내에 산패로 인하여 품질 저하가 촉진되지 않을 것으로 판단된다.

총 휘발성 염기태 질소 및 트리메틸아민

어패류의 저장과정 중 부패로 인해 단백질에서 아미노산을 거쳐 휘발성 염기태 질소가 생성되며, 어패류의 관능적 특성에 영향을 크게 미치며(Song et al., 2005; Kim 등, 2016), 때문에 VBN 함량은 식품의 단백질 부패의 지표로서 사용된다. 휘발성 염기태 질소에는 암모니아, 디메틸아민, 트리메틸아민 등이 포함되고(Kang et al., 2017), 이중 트리메틸아민은 생선의 사후 트리메틸아민 옥사이드가 생선육 내부의 효소 또는 세균의 환원 작용을 통해 생성되며(Yamagata et al. 1968; Song et al., 2005), 생선의 이취의 주 성분으로써 품질 저하의 주원인이다(Chang et al., 1976).

분무건조 분말을 도포한 삼치 순살의 총 VBN 양을 Fig. 4에서 나타냈다. 삼치 원물의 VBN 함량은 9.52 mg/100 g 이었고, C 처리구는 24시간 저장 시료에서 증가된 값을 나타냈으며 다른 시간 저장에는 유의적 차이가 발생하지 않았다($p > 0.05$). M과 DE 처리구는 저장 시간에 따른 유의적 차이가 나타나지 않았으며($p > 0.05$), Bro-M 처리구는 감소와 증가가 반복되는 값을 나타냈다($p < 0.05$). Bro-DE

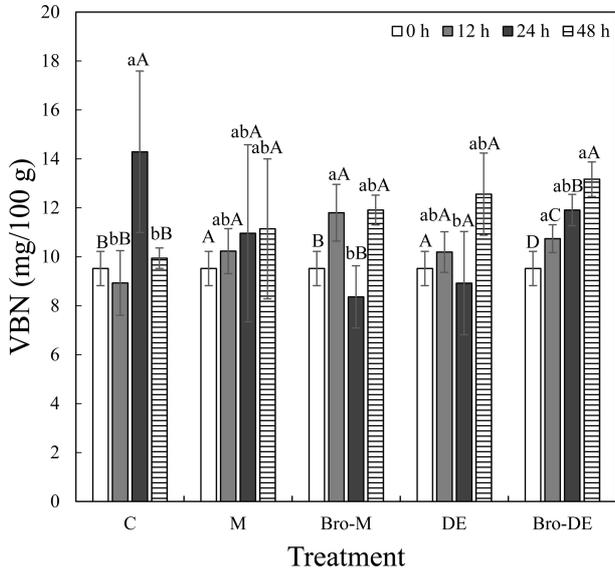


Fig. 4. VBN of spray-dried powder treated Japanese Spanish mackerel. ^{A-D}Means significant difference between different storage duration with same experimental group ($p < 0.05$). ^{a-b}Means significant difference between experimental group with same storage duration ($p < 0.05$). C, control; M, maltodextrin; Bro-M, maltodextrin with bromelain; DE, double emulsion; Bro-DE, bromelain encapsulating double emulsion.

의 경우 저장 시간에 따라서 VBN이 증가하였다($p < 0.05$). 48시간 저장 후 처리구간 비교하였을 때 Bro-DE에서 가장 높은 VBN 함량을 나타냈지만($p < 0.05$), 일반적으로 생선의 초기 부패 VBN의 함량으로 여겨지는 30~40 mg/100 g (Song et al., 2005)을 초과하지 않았다.

분무건조 분말을 도포한 삼치 순살의 TMA 양을 Fig. 5에서 나타냈다. 구입 직후의 원물은 3.09 mg/100 g의 값을 나타냈으며, C 처리구와 Bro-M는 시간에 따라 유의적 차이를 나타내지 않았다($p > 0.05$). M과 Bro-DE는 12시간 저장에서 증가한 값을 나타내고 다시 이후 감소한 값을 나타냈고($p < 0.05$), DE 처리구는 12시간과 24시간 저장 시에 유의적으로 증가하였다가 48시간 저장시에 감소된 값을 나타냈다($p < 0.05$). 48시간 저장 시에 DE 처리구를 제외하고 유의적 차이가 발생하지 않았다($p > 0.05$). 모든 처리구에서 일반적으로 생선의 수출입 한계치로 알려진 5-10 mg/100 g (Al-Jasser & Al-Jasass, 2014)이내에 존재하였다. 또한 Lee et al. (1985)은 TMA 값이 3.5-7.0 mg/100 g인 유통되는 생선 제품의 독성 문제는 없는 것으로 보고하였다. 따라서 VBN의 함량과 TMA 함량은 이중 에멀전으로 캡슐화 한 브로멜라인을 분무건조 후 생선에 도포하더라도 냉장 48시간 이내에 단백질 부패로 인하여 품질 저하가 촉진되지 않을 것으로 판단된다.

경도 및 부착성

Kim & Joo (2015)의 조사에 따르면 국내 고령친화식품

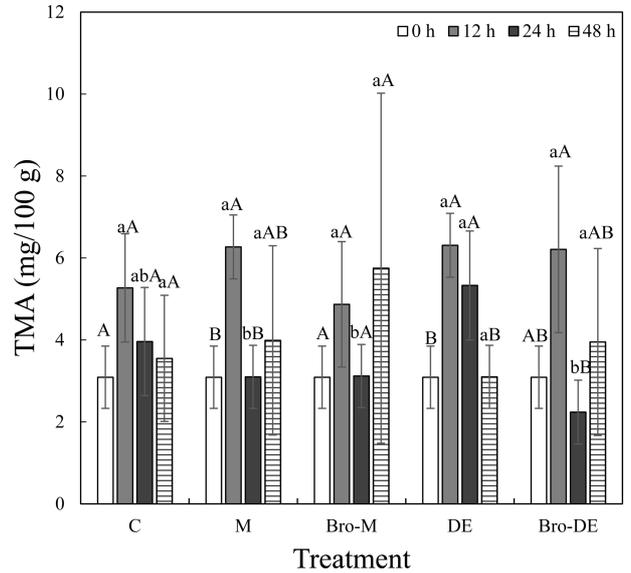


Fig. 5. TMA of spray-dried powder treated Japanese Spanish mackerel. ^{A-B}Means significant difference between different storage duration with same experimental group ($p < 0.05$). ^{a-b}Means significant difference between experimental group with same storage duration ($p < 0.05$). C, control; M, maltodextrin; Bro-M, maltodextrin with bromelain; DE, double emulsion; Bro-DE, bromelain encapsulating double emulsion.

을 개선하기 위해서는 식품의 물성 조절이 필요한 것으로 인식되어 있으며, 특히 텍스처 프로파일 항목 중 경도가 높은 식품은 연하 장애 환자가 섭취 시에 완전히 절단되지 않은 식품 잔여물이 질식이나 흡인을 유발할 수 있는 것으로 알려져 있고(Momosaki et al., 2013), 부착성이 $0.2 \times 10^3 \text{ J/m}^2$ 이상일 시 연하 과정 중 구강 내에 식품 잔여물이 남아 고령친화식품에 적합하지 않다고 보고되었다(Lee & Yoo, 2020). 따라서 고령친화식품의 개발을 위해서는 기존 식품에 비하여 경도를 감소시키면서 부착성을 기준 이상으로 증가시키지 않는 것이 필요하다.

Table 3에서 분무건조 분말을 도포한 삼치 순살의 경도와 부착성을 나타냈다. 구매 직후 삼치 원물의 경도는 291 g였으며, C의 경우 12시간 유의적인 감소가 나타나고 이후 유의적인 변화가 없었다($p > 0.05$). C를 제외한 M, Bro-M, DE, Bro-DE 처리구들은 12시간 저장 시에 유의적인 감소가 나타났지만, 24시간에서 증가한 경도를 나타내고 48시간 저장 시에 다시 감소하였다($p < 0.05$). 같은 저장시간으로 처리구 간 비교하였을 때, 24시간 저장부터 브로멜라인의 유무에 따라 유의적 차이가 발생하기 시작하였다($p < 0.05$). 48시간 저장 후 Bro-M과 Bro-DE 처리구의 경도는 각각 129 g, 120 g로 나타났으며, 모든 저장시간에서 브로멜라인 캡슐화 여부에 따른 유의적인 차이는 없었다($p > 0.05$). 따라서, 브로멜라인을 분무건조 한 후 삼치 순살에 도포할 경우 연하를 통해 경도를 감소할 수 있으며, 이중 에멀전으로 브로멜라인을 캡슐화 하더라도 연하의 차

Table 3. Hardness and adhesiveness of spray-dried double emulsion powder treated Japanese Spanish mackerel

| | Treatment | Storage duration (h) | | | |
|----------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | | 0 | 12 | 24 | 48 |
| Hardness (g) | C | 291±14 ^A | 220±30 ^{aB} | 231±36 ^{abB} | 234±20 ^{aB} |
| | M | 291±14 ^A | 158±21 ^{abcC} | 299±50 ^{aA} | 238±57 ^{aB} |
| | Bro-M | 291±14 ^A | 142±67 ^{cB} | 205±116 ^{ba} | 129±27 ^{bB} |
| | DE | 291±14 ^A | 208±41 ^{abB} | 307±40 ^{aA} | 199±63 ^{aB} |
| | Bro-DE | 291±14 ^A | 151±4 ^{bcBC} | 186±34 ^{bB} | 120±32 ^{bc} |
| Adhesiveness (mJ) | C | 0.18±0.10 ^A | 0.15±0.17 ^{bA} | 0.08±0.13 ^{aA} | 0.03±0.05 ^{cA} |
| | M | 0.18±0.10 ^A | 0.05±0.06 ^{bA} | 0.10±0.1 ^{aA} | 0.03±0.06 ^{cA} |
| | Bro-M | 0.18±0.10 ^A | 0.38±0.18 ^{aA} | 0.26±0.13 ^{aA} | 0.45±0.25 ^{aA} |
| | DE | 0.18±0.10 ^{AB} | 0.04±0.05 ^{bc} | 0.23±0.06 ^{aA} | 0.12±0.04 ^{bcBC} |
| | Bro-DE | 0.18±0.10 ^A | 0.38±0.15 ^{aA} | 0.38±0.32 ^{aA} | 0.32±0.16 ^{abA} |

^{A-C}Means significant difference between different storage duration with same experimental group ($p < 0.05$).

^{a-c}Means significant difference between experimental group with same storage duration ($p < 0.05$).

C, control; M, maltodextrin; Bro-M, maltodextrin with bromelain; DE, double emulsion; Bro-DE, bromelain encapsulating double emulsion.

이는 나타나지 않는 것으로 판단된다.

부착성의 경우 구매 직후 원물의 부착성은 0.18 mJ로 나타났으며, DE는 12시간에서 감소되고 24시간과 48시간에서 증가와 재 감소된 값을 나타냈고, 이외 다른 처리구에서는 시간에 따른 유의적 차이는 나타나지 않았다 ($p > 0.05$). 48시간 저장 이후 처리구간 비교하였을 때 C, M의 부착성은 0.03 mJ로 나타난 반면, 브로멜라인이 포함된 Bro-M, Bro-DE의 경우 각각 0.45, 0.32 mJ로 나타났다. 그러나 증가된 부착성 값과 시료의 부피를 고려하였을 때, Lee & Yoo et al. (2020)이 제시한 $0.2 \times 10^3 \text{ J/m}^3$ 에 미치지 않기 때문에 고령인이 섭취하더라도 부착성으로 인한 연화장애는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서는 분무건조를 통하여 fish oil가 함유된 브로멜라인 이중 에멀전 캡슐을 삼치에 적용하여 고령자용 생선 연화제로써 적용 가능 여부를 확인하고자 하였다. Fish oil 이중 에멀전은 분무건조 공정 이후에 입자의 크기가 감소하였지만, 이중 에멀전 구조를 나타내는 입자가 관찰되었으며, 관찰된 입자 내부 W/O 에멀전에 브로멜라인이 캡슐화 되어 있을 것으로 판단된다. 분무건조 분말을 삼치에 적용할 경우에는 브로멜라인 또는 이중 에멀전 첨가 여부와 상관없이 색 변화, 지방 산패, 단백질 부패가 촉진되지 않았고, 삼치의 품질이 보존되었으며, 때문에 삼치를 섭취하는 것에 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. Bro-DE 내부에 캡슐화된 브로멜라인은 Bro-M과 동일하게 효소적 분해를 통해 삼치를 연화하여 경도를 감소할 수 있었고, 부착성을 증가시켰지만, 고령자용 식품의 물성에 적합한 수준이었다. 따라서, fish oil를 함유한 브로멜라인 캡슐화 이중 에멀전 분말을 삼치의 연화제로써 적용이 가능

하고, 이를 토대로 생선형 고령친화식품 개발에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 고부가가치식품기술개발사업 (317031-4)에 의해 이루어졌습니다.

References

- Aguilera JM, Park DJ. 2016. Texture-modified foods for the elderly: Status, technology and opportunities. Trends Food Sci. Technol. 57: 156-164.
- Al-Jasser MS, Al-Jasass FM. 2014. Study the chemical, physical changes and microbial growth as quality measurement of fish. Annu. Res. Rev. Biol. 4: 1406-1420.
- Aslam M, Michael FV. 2013. Dysphagia in the elderly. J. Gastroenterol. Hepatol. 9: 784-795.
- Assadpour E, Jafari SM. 2017. Spray drying of folic acid within nano-emulsions: Optimization by Taguchi approach. Dry Technol. 35: 1152-160.
- Berendsen R, Güell C, Ferrando M. 2015. Spray dried emulsions containing procyanidin-rich extracts produced by premix membrane emulsification: Effect of interfacial composition. Food Chem. 178: 251-258.
- Botinestean C, Gomez C, Nian Y, Auty MAE Kerry JP, Hamill RM. 2018. Possibilities for developing texture-modified beef steaks suitable for older consumers using fruit-derived proteolytic enzymes. J. Texture Stud. 49: 256-261.
- Chang GW, Chang WL, Lew KBK. 1976. Trimethylamine-specific electrode for fish quality control. J. Food Sci. 41: 723-724.
- Chang HJ, Xu XL, Zhou GH, Li CB, Huang, M. 2012. Effects of characteristics changes of collagen on meat physicochemical properties of beef semitendinosus muscle during ultrasonic processing. Food Bioprocess Tech. 5: 285-297.
- Connor WE. 2000. Importance of n-3 fatty acids in health and

- disease. *Am. J. Clin. Nutr.* 71: 171-175.
- Cui L, Fan J, Sun Y, Zhu Z, Yi J. 2018. The prooxidant activity of salts on the lipid oxidation of lecithin-stabilized oil-in-water emulsions. *Food Chem.* 252: 28-32.
- Encina C, Vergar C, Giménez B, Oyarzún-Ampuero F, Robert P. 2016. Conventional spray-drying and future trends for the microencapsulation of fish oil. *Trends Food Sci. Technol.* 56: 46-60.
- Eom SH, Lee SH, Chun YG, Kim BK, Park DJ. 2015. Texture softening of beef and chicken by enzyme injection process. *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.* 35: 486-493.
- Fernandez J, Perez-Alvarez JA, Fernandez-Lopez JA. 1997. Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat. *Food Chem.* 59: 345-353.
- Ghani MA, Barril C, Bdgood DR, Prenzler PD. 2017. Measurement of antioxidant activity with the thiobarbituric acid reactive substances assay. *Food Chem.* 230: 195-207.
- Goulas AE, Kontominas MG. 2005. Effect of salting and smoking-method on the keeping quality of chub mackerel (*Scomber japonicus*): Biochemical and sensory attributes. *Food Chem.* 93: 511-520.
- Hong IJ, Lee J, Koo SJ. 2000. Screening and prevention of the mutagenicity for fishes according to cookery and storage. *Korean J. Soc. Food Sci.* 16: 652-662.
- Hong KH. 2015. Dental management of the patient difficulty in swallowing. *J. Korean Acad. Conserv. Dent.* 53: 789-794.
- Kang YM, Park SY, Lee SG, Lee JS, Heu MS, Kim JS. 2017. Chemical characterization of commercial dark-fleshed fishes (Mackerel *Scomber japonicus*, Japanese Spanish mackerel *Scomberomorus niphonius*, pacific herring *Clupea pallasii*) as a raw material for seafood products. *Korean J. Fish Aquat. Sci.* 50: 130-138.
- Ketnawa S, Rawdkeun, S. 2011. Application of bromelain extract for muscle foods tenderization. *Food Nutr. Sci.* 2: 393-401.
- Ke PJ, Cervantes E, Robles-Martinez C. 1984. Determination of thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) in fish tissue by an improved distillation-spectrophotometric method. *J. Sci. Food Agric.* 35: 1248-1254.
- Kim S, Joo N. 2015 the study on development of easily chewable and swallowable foods for elderly. *Nutr. Res. Pract.* 9: 420-424.
- Kolanowski W. 1999. Possibilities of fish oil application for food products enrichment with omega-3 PUFA. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 50: 9-49.
- Korea statistics. Korean statistical information service. <http://kosis.kr/search/search.do>. Accessed Sep. 7. 2020.
- Lee SY, Byun SM, Chung JR. 1985. Contents of trimethylamine in fresh fish and canned fish products. *Korean Fish. Soc.* 18: 214-218.
- Lee D, Yoo B. 2020. Textural properties of moisture supply and nutrient supplement jelly products marketed in Korea. *Korean J. Food & Nutr.* 49: 419-422.
- Lee TH, Koo JG. 2012. Comparison of the quality of frozen skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* thawed by vacuum and water immersion. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 635-639.
- Love JD. 1983. The role of heme iron in the oxidation of lipids in red meats. *Food Technol.* 12: 117-120.
- Jafari SM, Assadpoor E, Bhandari B, He H. 2008. Nano-particle encapsulation of fish oil by spray drying. *Food Res. Int.* 41: 172-183.
- Jun-hui X, Hui-juan C, Bin Z, Hui Y. 2020. The mechanistic effect of bromelain and papain on tenderization in jumbo squid (*Dosidicus gigas*) muscle. *Int. Food Res. J.* 131. 108991.
- Kuda T, Matsumoto C. 2002. Changes in acid and alkaline phosphatase activities during the spoilage of raw muscle from horse mackerel *Trachurus japonicus* and gurnard *Lepidotrigla microptera*. *Food Chem.* 76: 443-447.
- Malhotra A, Coupland JN. 2004. The effect of surfactants on the solubility, zeta potential, and viscosity of soy protein isolates. *Food Hydrocoll.* 18: 101-108.
- Misran E, Idris A, Sarip SHM, Y H. 2019. Properties of bromelain extract from different parts of the pineapple variety Morris. *Biocatal. Agric. Biotechnol.* 18: 101095.
- Momosaki R, Abo M, Kobayashi K. 2013. Swallowing analysis for semisolid food texture in poststroke dysphagic patients. *J. Stroke Cerebrovasc. Dis.* 22: 267-270.
- Moon SK, Kang JY, Kim IS, Jeong BY. 2012. Changes of nutritional components in Spanish mackerel *Scomberomorus niphonius* by various cooking methods. *Korean J. Fish Aquat. Sci.* 45: 317-327.
- Nakatsu S, Shimoda M, Shibata K, Kajihara R, Ishihara M, Sakamoto K. 2014. Effect of citrate ions on the softening of root crops prepared with freeze-thaw impregnation of macerating enzymes. *J. Food Sci.* 79: E333-E341.
- Nagai T, Fukuma T, Nakatsu, S, Shibata, K, Sakamoto, K. 2010. Softening of fish meat and changes of muscle protein by freeze-thaw enzyme infusion. *Nippon Suisan Gakkai. Shi.* 77: 402-408.
- Puértolas E, Luengo E, Alvarez I, Raso J. 2012. Improving mass transfer to soften tissues by pulsed electric fields: Fundamentals and applications. *Food Sci. Technol.* 3: 263-282.
- Shin H, Kim HT, Choi MJ, Ko EY. 2019. Effects of bromelain and double emulsion on the physicochemical properties of pork loin. *Food Sci. Anim. Resour.* 39: 888-902.
- Shim KB, Lim CW, Lee SJ, Jung HY, Shim HJ, Yoon HD. 2011. Effect of drying conditions on biogenic amine production and lipid oxidation in semi-dried pacific saury *Cololabis saira*. *Gwangju J. Fish Aquat. Sci.* 44: 470-477.
- Song HN, Lee DG, Han SW, Yoon HK, Hwang IK. 2005. Quality changes of salted and semi-dried mackerel fillets by UV treatment during refrigerated storage. *Korean J. Food Cookery Sci.* 21: 662-668.
- Yamagata M, Horimoto K, Nagaok C. 1968. On the distribution of trimethylamine oxide in the muscle of yellowfin tuna. *Japan Soc. Sci. Fish.* 34: 344.
- Yamada F, Takahashi N, Murachi T. 1976. Purification and characterization of a proteinase from pineapple fruit, fruit bromelain FA2. *J. Biochem.* 79: 1223-1234.
- Yang YK, Kim L, Kim JS, Kim BK, Kim JY. 2018. Food industry perceptions survey regarding the standardization of senior-friendly food. *Food Eng. Pro.* 22: 126-136.
- Zuckerman H, Bower BC, Eastridge JS, Solomon MB. 2013. Microstructure alterations in beef intramuscular connective tissue caused by hydrodynamic pressure processing. *Meat Sci.* 95: 603-607.

Author Information

강구현: 건국대학교 축산식품생명공학과 대학원생(석사과정)
이상윤: 건국대학교 축산식품생명공학과 박사

김효태: 건국대학교 축산식품생명공학과 대학원생(석사과정)
이지선: 건국대학교 축산식품생명공학과 대학원생(박사과정)
고은영: 건국대학교 축산식품생명공학과 조교수
최미정: 건국대학교 축산식품생명공학과 교수