

In Vitro Digestion에서 팜핵경화유와 시어버터 혼합 비율에 따른 가수분해율 변화

이현화 · 신정아 · 이기택
충남대학교 식품공학과

Change of Hydrolysis Rate on Hydrogenated Palm Kernel Oil and Shea Butter Blendings Using *In Vitro* Digestion System

Hyeon-Hwa Lee, Jung-Ah Shin, and Ki-Teak Lee

Department of Food Science and Technology, Chungnam National University

ABSTRACT In this study, the hydrolysis rate of palm kernel oil (HPKO) and shea butter were compared by *in vitro* digestion to develop low-digestible fats. HPKO exhibited a higher hydrolysis rate than shea butter. The initial rate and Φ_{max} value of HPKO were 0.315 mM/s and 78.0%, while the corresponding values for shea butter were 0.117 mM/s and 41.4%. When the two fats were blended at various ratios, the hydrolysis rate, in terms of the Φ_{max} value, was similar to that of shea butter until 2:8 (HPKO : shea butter, w/w). After the analysis of triacylglycerol species and the positional fatty acid composition, the factors that affected the hydrolysis rate were determined. The results suggest that the low hydrolysis rate of shea butter would be due mostly to the stearic acid located at the *sn*-1,3 positions of triacylglycerol molecules. These properties of shea butter are expected to be the nutritional benefits as a low-digestible fat in foods.

Key words: hydrolysis rate, *in vitro* digestion, palm kernel oil, shea butter, triacylglycerol species

서 론

한국인의 식품섭취 패턴이 변화하고 있다. 이에 따라 1998년 일 인당 하루 지방 섭취량은 40.1 g이었으나 2015년 51.1 g으로 약 11 g 증가하였고(1), 지방섭취량의 증가는 비만과 성인병의 주원인으로 제기되고 있는데, 지방질은 탄수화물, 단백질과 함께 중요한 식품 영양성분 중 하나지만 4 kcal의 열량을 제공하는 다른 영양성분과는 다르게 9 kcal의 높은 열량을 제공하기 때문이다.

성인의 경우 지방의 소화는 대부분 소장에서 이루어진다. 먼저 지방은 췌장액의 담즙산에 의해 micelle 형태로 유화가 되고, co-lipase와 pancreatic lipase 등에 의해 triacylglycerol(TAG)의 *sn*-1,3번에 위치한 지방산이 가수분해되어 2분자의 지방산과 1분자의 2-monoacylglycerol(2-MAG)로 분해된다. 소장의 상피세포로 흡수된 후 2-MAG와 지방산은 다시 TAG로 재구성되고 chylomicron에 의하여 림프관을 통해 순환한다(2-4). 이때 TAG를 구성하고 있는 지방산의 길이와 이중결합 수, 그리고 지방산의 위치적 분포

에 따라 지방의 소화와 흡수에 영향을 준다고 알려져 있다. 일반적으로 지방산의 길이가 짧을수록, 그리고 이중결합 수가 적을수록 pancreatic lipase에 의한 가수분해율이 더 증가한다고 알려져 있다(5-12). 이처럼 생체 내에서 일어나는 소화반응을 *in vitro* digestion 실험을 통해 알아볼 수 있다.

Palm kernel oil(PKO)은 일반적인 식물성 유지와는 다르게 중쇄포화지방산의 함량이 많아 용점이 다소 높고, 산화에 안정적인 것이 특징이다. PKO를 구성하는 주요 지방산은 lauric acid(C12:0)와 myristic acid(C14:0)이며, 일부 oleic acid(C18:1) 등으로 단순하게 구성되어 좁은 온도 범위에서 급격하게 녹는 특성을 가진다. PKO는 불포화지방산의 이중결합에 수소를 첨가해 반고체지로 만드는 수소화(hydrogenation) 공정을 거치기도 하고 쇼트닝, non-dairy cream, 초콜릿 가공품 등에 이용되고 있다(13). 그러나 lauric acid, myristic acid와 palmitic acid(C16:0)와 같은 포화지방산의 과도한 섭취는 체내 중성지방 및 콜레스테롤의 수치를 높인다는 연구 결과가 있다(14-17).

Shea butter는 주로 아프리카 남부의 건조 지대에 자라는 *Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.의 열매로부터 얻어지는데 매년 약 60만 톤의 shea butter가 생산되고 있다. Shea butter는 최근 화장품 산업의 원료로 많이 쓰이기도 하며, 분별 후에 코코아버터 대체지로 이용되기도 한다. Shea butter를 구성하고 있는 TAG의 약 80%는 oleic acid와

Received 26 June 2017; Accepted 28 August 2017

Corresponding Author: Ki-Teak Lee, Department of Food Science and Technology, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

E-mail: ktleee@cnu.ac.kr, Phone: +82-42-821-6729

stearic acid(C18:0)이며, palmitic acid, linoleic acid(C18:2), 그리고 arachidic acid(C20:0) 등도 소량 존재한다(18-21).

본 실험은 가공식품에서 폭넓게 이용되고 있는 식용유지인 hydrogenated palm kernel oil(HPKO)과 대칭형 TAG로 주로 구성된 shea butter 및 두 유지의 blends를 대상으로 가수분해율을 비교하여 어떤 특성이 가수분해율에 영향을 미치는지를 살펴보고자 하였다. 또한, HPKO와 shea butter의 blending 비율을 다르게 할 경우에 *in vitro* digestion에 의한 가수분해율 차이가 있는지를 알아보고, 만약 차이가 있다면 어떠한 요인들이 영향을 미치는지 살펴 보았다. 이를 위하여 reversed-phase high performance liquid chromatograph(RP-HPLC)와 Ag-HPLC를 이용한 TAG 조성, gas chromatograph를 이용한 지방산 구성 및 위치를 분석하였다. 이후 TAG의 특성이 유지의 가수분해에 미치는 영향을 살펴 보았다.

재료 및 방법

실험 재료 및 시약

본 연구에서 사용된 shea butter는 B사(Seoul, Korea)에서 구매하였으며, HPKO는 L사(Seoul, Korea)로부터 제공 받았다. 지방산의 정량분석에 사용된 fatty acid methyl ester 표준물질은 37 component FAME mix로 Supelco (Bellefonte, PA, USA)에서 구매하였으며, 위치별 지방산 조성 분석과 pH-stat digestion 실험에 사용된 pancreatic lipase는 Sigma-Aldrich Co.(St. Louis, MO, USA)에서 구매하였다. 또한, pH-stat digestion에서 juice 제조를 위한 시약들도 모두 Sigma-Aldrich Co.에서 구매하였다. 기기분석에 사용된 용매는 모두 HPLC-grade 용매인 특급 시약을 사용하였으며, 분석 이외의 용매들은 Normal-garde 시약을 사용하였다.

Melting point 측정

HPKO와 shea butter의 용점을 측정하기 위하여 AOCS Official Method Cc 1-25의 방법(22)을 일부 변형하여 측정하였다. 시료를 완전히 녹인 후 균질하여 capillary tube (75 mm×1.2 mm, i.d., Chase Scientific Glass Inc., Rockwood, TN, USA)의 하단에 1 cm의 높이만큼 시료를 취해 4~10°C의 냉동고에서 16시간 동안 방치하였다. 이후 capillary tube를 온도계와 함께 cupric sulfate(CuSO₄) 용액이 담긴 관에 장착하고, 이를 5°C의 증류수로 채워진 비커에 장착하였다. 교반 가열판(PC-420D, Corning, Corning, NY, USA)과 magnetic bar를 이용하여 분당 0.5°C씩 균일하게 온도를 상승시켜 시료가 완전히 녹아 투명해질 때 온도를 complete melting point로 측정하였다. 또한, 각 시료당 2회 반복 실험을 하여 평균과 표준편차를 구하였다.

시료 전처리

실험에 사용된 HPKO와 shea butter의 산가와 과산화물가를 각각 측정하였다. 산가와 과산화물가의 측정은 식품공전의 실험법(23)에 따라 수행하였다. Shea butter와 HPKO의 산가는 0.53±0.04와 0.19±0.04로 측정되었으며, 과산화물가는 7.47±0.04와 0.01±0.14로 측정되었다. 두 시료 모두 별다른 전처리 없이 실험을 진행하였다.

HPKO와 shea butter를 완전히 녹인 후 균질하여 6:4, 5:5, 4:6, 3:7, 2:8, 1:9, 0:10(HPKO : shea butter, w/w)의 비율로 전체 무게가 5 g이 되도록 25 mL vial에 제조하고 이후 지름 1 cm의 십자 magnetic bar를 넣어 60°C의 이중 재킷 순환기에서 1시간 동안 교반하였다.

Reversed-phased HPLC를 이용한 TAG 분석

Reversed-phase high performance liquid chromatography(RP-HPLC, Younglin, Anyang, Korea)를 사용하여 유지의 TAG 조성을 Lee 등(24)의 방법을 조금 변형하여 분석하였다. Column은 Nova-pak® C18 column(60Å, 3.9 mm×150 mm, 4 µm, Waters, Milford, Ireland)을 사용하였으며, 펌프는 Younglin SP930D dual pump를 사용하였다. 이동상으로는 용매 A(100% acetonitrile)와 용매 B(iso-propanol : hexane=2:1, v/v)를 사용하였고, 유속은 1 mL/min이었다. 용매는 기울기 용리로 용매 A와 B를 80:20(v/v)에서 54:46(v/v)으로 45분까지 연속적으로 변화시켜 15분간 유지하였다. 이후 80:20(v/v)으로 65분까지 변화시켜 70분까지 유지하였다. Detector는 sedex 75 evaporative light scattering detector(ELSD, Seder, Alfortville, France)를 사용하였다. 분석하고자 하는 시료는 완전히 녹인 후 균질하여 1 mg/mL의 농도로 chloroform에 녹였으며, 10 µL를 injection 하였다. 분석되어 얻은 chromatogram의 peak를 partition number(PN)에 따라 정성하여 peak area(%)로 나타내었다.

$$PN = \text{Total carbon number (CN)} - [2 \times \text{Total number of double bonds (NB)}]$$

Gas chromatography를 이용한 지방산 정량 분석

TAG를 구성하고 있는 지방산의 기기 분석을 위해 Lee 등(24)의 방법을 조금 변형하여 분석하였다. 먼저 시료를 완전히 녹인 후 균질하여 50 mL vial에 0.5 g을 취하였다. 이후 0.5 N methanolic NaOH를 3 mL 첨가한 후 85°C의 water bath에서 10분간 반응한 다음, 미온수에서 냉각한 후 methanolic BF₃를 5 mL 첨가하여 85°C의 water bath에서 10분간 반응하였다. 반응 후 미온수에 냉각시키고, iso-octane 5 mL와 포화 NaCl 용액 1 mL를 첨가해 충분히 교반하여 원심분리(2,500 rpm, 3분) 하였다. 원심분리 하여 분리된 상층액을 anhydrous sodium sulfate column에 통과시켜 불순물 및 수분을 제거해 GC로 분석하였다. 기기 분석은 gas chromatography(GC, YL6100, 6000 series, Young-

lin)를 이용하였다. 사용된 column은 SP-2560(100 m×0.25 mm, 0.2 μm film thickness, Supelco)이었다. Oven의 설정 온도는 초기 100°C에서 4분간 유지한 후 3°C/min으로 온도를 상승시켜 240°C에서 17분간 유지하였다. 그 외 injector과 detector 온도는 225°C, 285°C로 설정하였다. Carrier gas는 helium을 사용하여 1 mL/min으로 흘려주었으며 시료는 1 μL를 주입하여 지방산 조성을 분석하였다.

Pancreatic lipase를 이용한 위치별 지방산 조성 분석

각 시료의 위치별(*sn*-2, *sn*-1,3) 지방산 조성 분석을 Lee 등(24)의 방법을 변형하여 진행하였다. 완전히 녹여 균질한 시료를 시험관에 7~10 mg 취한 후 7 mL의 1 M Tris-HCl buffer(pH 7.6), 1.75 mL의 0.05% bile salt, 0.7 mL의 2.2% CaCl₂ 용액을 첨가하였다. 이후 사용된 시료와 같은 양의 pancreatic lipase를 첨가하여 1분간 vortex mixer를 사용해 충분히 교반하였다. 이를 37°C의 항온수조에서 3분간 반응하고 30초간 교반하였는데 이후 이 반응 과정을 2번 반복하였다. 그 후 diethyl ether 4 mL를 넣고, 1분간 교반한 후 원심분리(2,500 rpm, 5분) 하였다. 분리된 상층액을 anhydrous sodium sulfate column에 거른 후 질소가스로 용매를 제거하였다. Diethyl ether를 150 μL 넣은 후 glass TLC plate(20 cm×20 cm)에 전개하여 2-MAG band만 취하였다. TLC 전개 용매로는 hexane, diethyl ether, acetic acid를 50:50:1(v/v/v)로 이용하였으며, 이후 수집된 시료를 methylation 하여 지방산을 분석하였다. 분석된 2-MAG의 지방산 area(%)로 나타내었으며, 다음과 같은 계산식을 이용해 *sn*-1,3에 위치한 지방산의 조성을 나타내었다.

$$sn-1,3 \text{ Fatty acid (area\%)} = [(3 \times \text{Total fatty acid area\%}) - (sn-2 \text{ Fatty acid area\%})] / 2$$

Silver ion column을 이용한 대칭형 TAG 분석

Column은 silver ion column(Chromospher 5 lipid 250 mm×4.6 mm i.d., Varian, Middelburg, Netherlands)을 사용하였으며 sedex 75 evaporative light scattering detector(Sedex, Alfortville, France)를 40°C, 2.2 bar의 조건에서 분석하였다. 분석방법은 Lee 등(24)의 방법을 조금 변형하여 사용하였다. 이동상은 기울기 용리 조건으로 용매 A(hexane : iso-propanol : acetonitrile=100:0.1:0.1, v/v/v)와 용매 B(hexane : iso-propanol : acetonitrile=100:1:1, v/v/v)를 사용하여 유속 1 mL/min으로 흘려주었다. 시료가 주입되는 초기에는 용매 A와 B를 100:0(v/v)으로 5분간 흘려준 후 50분까지 80:20(v/v)으로 변화시켰다. 그 이후에 60분까지 50:50(v/v)으로 변화를 주어 1분간 유지하였으며 62분부터 70분까지 100:0(v/v)으로 변화를 주었다. 시료들은 1 μg/mL의 농도로 hexane에 녹인 후 20 μL를 주입하여 분석하였다.

pH-stat을 이용한 in vitro digestion 실험

유지가 소장에서 가수분해되는 정도를 측정하기 위해 Versantvoort 등(25)의 pH-stat digestion model 실험을 일부 변형하여 수행하였다. Digestion juice에 사용되는 duodenal juice와 bile juice는 선행연구에서 제시한 조성에 따라 50 mL 정용병에 inorganic solution과 organic solution을 섞어 정용한 후 1 N HCl solution을 이용해 각각의 pH로 조정하였다. 이후 각 분량의 CaCl₂·2H₂O solution, bovine serum albumin과 bile salt를 넣고 1시간 30분간 지름 2 cm의 십자 magnetic bar를 넣어 반응하였다. Duodenal juice와 bile juice는 실험 직전에 만들어 바로 사용할 수 있도록 하였다. 이후 duodenal juice와 bile juice를 100 mL 비커에 24 mL와 12 mL 넣어 섞고, 1 mL를 무게를 재둔 효소에 넣어 사용하였다. 가수분해효소는 pancreatin 108 mg과 lipase 72 mg을 사용하였다. 35 mL의 juice에 유지 500 mg을 넣은 후 1분간 Ultrasonic processor(GE 750, Sonics & Materials, Inc., Newtown, CT, USA)를 사용하여 유화액을 제조하였다. 제조된 유화액 비커에 1.5 cm의 일자 magnetic bar를 넣은 후 증류수가 담긴 비커에 넣어 37°C에서 150 rpm의 stirring hot plate에 올려두었다. 이후 유화액의 거품이 가라앉으면 1 mL의 juice에 녹여둔 효소 0.2 mL를 넣어 15분간 가수분해를 진행하였다. 처음에 설정한 pH인 8.9로 조정하기 위해 소요되는 0.05 N NaOH의 양을 1분 단위로 측정하였다. 이때 potentiometric automatic titrator(AT-40E, Kyoto Electronics MFG. Co., Ltd., Kyoto, Japan)와 auto piston buret(APB-410, Kyoto Electronics MFG. Co., Ltd.)을 사용하여 유리지방산(FFA) 함량을 적정하였다. 적정에 사용된 NaOH의 양(mL)으로 가수분해로 생성된 FFA의 양(μmole)을 환산한 후, 소화반응에 사용된 시료의 양을 500 mg으로 보정하였다. 이때 HPKO의 경우 분자량이 작은 lauric acid, myristic acid로 구성되기 때문에 분자량을 709.740으로 보정해주었고, 다른 유지는 soybean oil의 분자량인 876으로 보정하여 계산하였다. 최종적으로 반응시간에 따라 생성된 FFA의 양을 기질이 최대로 가수분해할 수 있는 FFA의 양에 대한 비율로 계산하여 hydrolysis rate(%)로 나타냈다.

$$\text{Released FFA (}\mu\text{mole)} = \frac{V_{\text{NaOH}} \text{ (mL)} \times M_{\text{NaOH}} \times 1000}{[500/\text{Oil weight (mg)}]}$$

$$\text{Hydrolysis rate (\%)} = \frac{\text{Released FFA (}\mu\text{mole)}}{[\text{Oil weight (mg)} / M_w] \times 2 \times 10^3} \times 100$$

가수분해에 대한 척도로 initial rate(mM/s)와 φmax(%)를 사용하였다(26). Initial rate는 초기 가수분해 반응속도로서 1분에서 방출된 유리 지방산의 양(μmole)을 1분에서의 반응 체적(digestion juice volume+ 소화반응 1분까지의 적정에 사용된 NaOH의 volume)으로 나누고 이를 60으로 다시 나눠 초당 방출되는 유리지방산의 농도(mM/s)로 나타내었다. φmax는 가수분해율을 뜻하는 척도로 기질의 무게

(oil weight)와 분자량(Mw)을 이용하여 가수분해 최대치를 구하였고, 반응 종료 시간인 15분에 생성된 유리지방산의 양으로 나누어 가수분해율(%)을 구하였다.

$$\text{Initial rate (mM/s)} = \frac{\text{Released FFA (1 min) (\mu\text{mole})}}{\text{Total volume (1 min) (mL)}} \div 60$$

$$\phi_{\text{max}} (\%) = \frac{V_{\text{NaOH}} (\text{mL}) \times M_{\text{NaOH}}}{\text{oil weight (mg)} / M_w \times 2 \times 10^3} \times 100$$

통계 분석

실험 결과는 평균±표준편차로 제시하였고 SPSS(Statistical Package for the Social Sciences, Ver 22, IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 이용하여 $P < 0.05$ 수준에서 Duncan's multiple range test에 의해 각 실험군 평균치 간의 유의성을 검정하였고, principal component analysis(PCA)를 실시하였다.

결과 및 고찰

녹는 온도

유지에서 녹는 온도(melting point)와 가수분해율의 관계를 살펴보기 위하여 shea butter와 HPKO의 complete melting point를 측정하였다(Table 1). Shea butter는 $34.5 \pm 0.7^\circ\text{C}$ 로 측정되었고, HPKO는 $39.5 \pm 0.7^\circ\text{C}$ 였다. 높은 녹는 온도를 가지는 유지는 인체 내에서 pancreatic lipase의 역할이 쉽지 않기 때문에 가수분해율이 낮을 것으로 예측되고(27), 따라서 유지의 녹는점이 가수분해율에 영향을 줄 것으로 생각하였다. 그러나 용점이 34.5°C 인 shea butter의 가수분해율이 오히려 HPKO보다 더 낮은 결과를 나타내었다. Pancreatic lipase의 지방산 탄소 길이에 대한 가수분해율 차이를 고려하여도 HPKO와 shea butter의 가수분해율 비교 시에는 녹는 온도의 영향은 크지 않았다.

소화율 실험

HPKO와 shea butter의 가수분해 결과를 control로 사용된 soybean oil과 함께 Fig. 1에 나타내었고, 초기 반응속도를 나타내는 initial rate와 최종가수분해 값을 나타내는 ϕ_{max} 의 결과를 blending 유지와 함께 Table 1에 나타내었다. SBO의 경우 5분, 10분, 15분에서 각각 62.2, 75.4, 79.8% 가수분해되었으며, HPKO의 경우 5분, 10분, 15분에서 각각 51.2, 70.2, 78.0% 가수분해되어 두 시료가 반응 5~10분에서는 가수분해율에 다소 차이를 보였으나, 반응 10~15분에서는 가수분해율에 차이가 없었다. 그러나 shea butter는 31.2(5분), 37.7(10분), 41.4%(15분) 가수분해되어 모든 구간에서 다른 유지보다 가수분해율이 낮게 나타났다. 특히 shea butter를 HPKO와 비교했을 때 반응 5~15분의 구간에서 20.0~36.6%의 가수분해가 낮았고, 가수분해 시간이 길어질수록 그 차이가 크게 나타났다(Fig. 1). Initial rate(mM/s)의 경우 SBO는 0.390 mM/s, HPKO는 0.315 mM/s, 그리고 shea butter는 0.117 mM/s로 shea butter가 다른 유지(SBO와 HPKO)보다 낮은 경향을 보이며 유의적 차이가 있었다($P < 0.05$). 그러나 최종 가수분해율인 $\phi_{\text{max}}(\%)$ 는 control(SBO)이 80.1, HPKO가 78.0%로 서로 유의적 차이가 없었으나, shea butter는 41.4%로 SBO와 HPKO보다 약 40% 낮으면서 유의적 차이를 보였다($P < 0.05$). Initial rate(mM/s)의 경우 6:4 비율에서는 0.279 mM/s, 그리고 1:9 비율은 0.174 mM/s로 측정되었다(Table 1). 전체적으로 blending 유지의 initial rate는 shea butter의 비율이 높아짐에 따라 유의적으로 감소하는 경향을 보였다. 최종 가수분해율인 $\phi_{\text{max}}(\%)$ 의 경우 6:4 비율은 72.5%, 그리고 1:9 비율은 46.8%로 shea butter의 비율이 높아질수록 ϕ_{max} 값이 감소하는 경향을 보였다.

Blending 유지(HPKO : shea butter)의 *in vitro* digestibility를 Fig. 2에 제시하였다. Blending 유지의 경우 6:4 비율에서는 가수분해 반응 모든 반응시간에서 HPKO와 유의적으로 차이가 없었으나 5:5 비율에서부터 유의적으로 낮

Table 1. Initial rate, Φ_{max} , and complete melting point of soybean oil (SBO), hydrogenated palm kernel oil (HPKO), shea butter, and blending oils

| | | Initial rate ¹⁾ | $\Phi_{\text{max}}^2)$ | Complete melting point ($^\circ\text{C}$) |
|----------------------|-----|----------------------------|------------------------|---|
| SBO | | 0.390±0.004 ^a | 80.1±0.6 ^a | — |
| HPKO | | 0.315±0.003 ^{ab} | 78.0±5.5 ^{ab} | 39.5±0.7 |
| | 6:4 | 0.279±0.006 ^{bc} | 72.5±2.9 ^{bc} | — |
| | 5:5 | 0.243±0.005 ^{bcd} | 68.9±2.9 ^c | — |
| Blending oil | 4:6 | 0.220±0.042 ^{cd} | 60.6±0.7 ^d | — |
| (HPKO : Shea butter) | 3:7 | 0.199±0.012 ^{cde} | 51.8±1.1 ^e | — |
| | 2:8 | 0.184±0.096 ^{de} | 46.1±4.7 ^{ef} | — |
| | 1:9 | 0.174±0.027 ^{de} | 46.8±2.2 ^{ef} | — |
| Shea butter | | 0.117±0.005 ^e | 41.4±1.8 ^f | 34.5±0.7 |

¹⁾Initial rate (mM/s) = $\frac{\text{Released FFA (1 min) (\mu\text{mole})}}{\text{Total volume (1 min) (mL)}} \div 60$

²⁾ Φ_{max} means hydrolysis rate (%) at 15 minute. The results are expressed as the mean±SD (n=2).

Means with different letters (a-f) are significantly different ($P < 0.05$) according to Duncan's multiple range test.

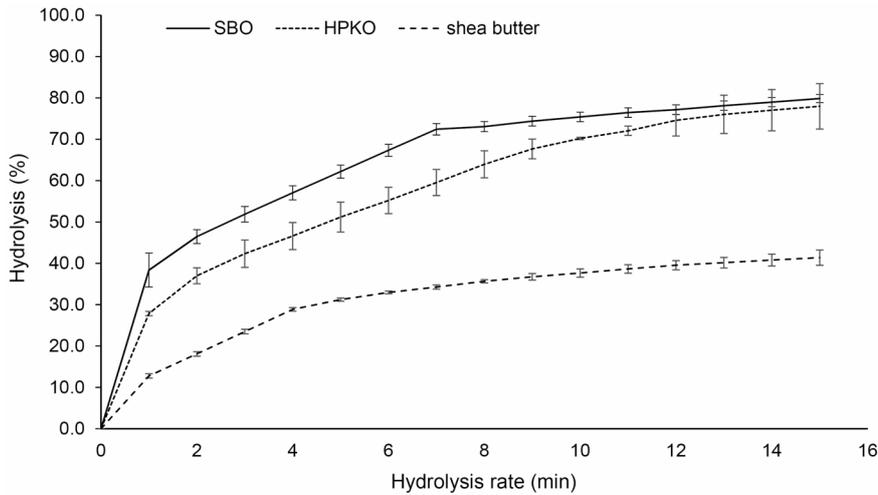


Fig. 1. Comparison of hydrolysis (%) of HPKO, shea butter, and SBO from pH-stat digestion model.

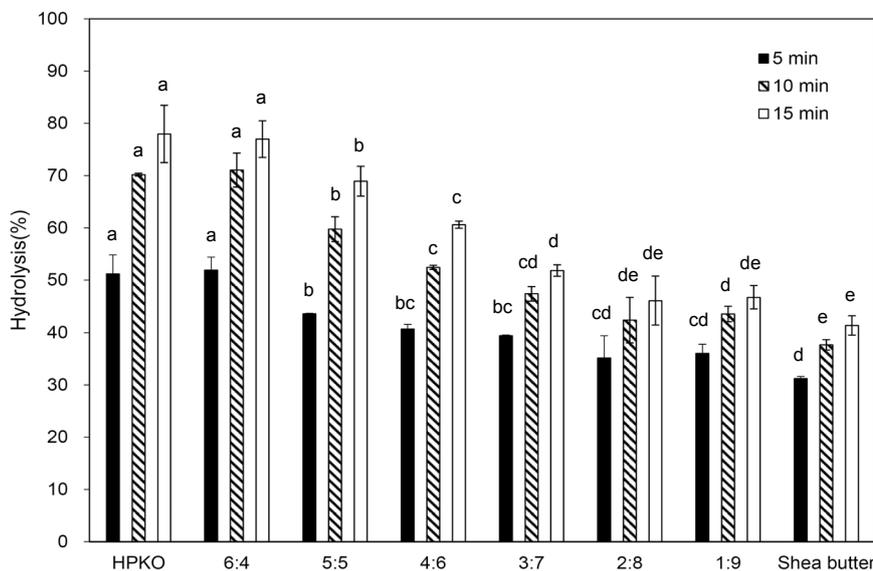


Fig. 2. Hydrolysis (%) of HPKO, shea butter, and blending oils from pH-stat digestion model. Means with different letters (a-e) above the bars of each hydrolysis rate (5, 10, and 15 min) are significantly different ($P < 0.05$) according to Duncan's multiple range test.

은 가수분해율을 보였다($P < 0.05$). 5:5 비율에서는 43.6(5분), 59.7(10분), 68.9%(15분)의 가수분해율을 보였으며, 반응시간별 저해되는 가수분해율이 유사하였다. 특히 2:8과 1:9 비율에서는 반응시간별 가수분해율이 shea butter와 유의적 차이가 없었다($P > 0.05$).

결과적으로 *in vitro* digestion system 내에서 유지의 종류에 따라 가수분해율에 차이가 있었으며, shea butter와 같은 낮은 가수분해율을 보이는 유지가 HPKO에 첨가될 경우 일정 비율 내에서는 shea butter의 가수분해 경향과 유사하게 나타났다. 이러한 결과는 2-oleoyl distearin(SOS), 1-stearoyl diolein(SOO)의 가수분해율이 triolein(OOO)보다 낮은 결과는 보인다고 보고한 Arishima 등(27)과 유사하였다. Arishima 등(27)은 융점이 높은 stearic acid를 포함한 TAGs(SOS, SOO)의 경우 OOO보다 21~26% 정도 가수분해율이 저해된다고 보고하였다.

TAG 분석

HPKO와 shea butter, 그리고 blending 유지의 TAG 조성 분석을 위해 reversed-phased HPLC로 분석하였으며, 얻은 크로마토그램의 각 peak는 partition number(PN)를 구하여 TAG 조성을 Table 2에 제시하였다.

Israel(19)의 연구에 의하면 shea butter는 SOS를 40% 이상 함유하고 있으며, 약 27%의 SOO, 6% 내외의 1-palmitoyl-2-oleoyl-3-stearin(POS), 그리고 1%의 2-oleoyl dipalmitin(POP)의 TAG 조성을 이루고 있다고 한다. 본 실험에서 이용한 shea butter의 경우 대부분 PN 50~52를 가지는 TAG로 구성되어 있었으며 그중 SOO/SSO와 PSS/SPS와 같이 PN 52를 가지는 TAG가 49.4 area%로 가장 많이 존재하고 있었다. 그리고 SOO/OSO와 같이 PN 50을 가지는 TAG는 43.2 area%였다. 반면 HPKO는 탄소수가 12개 이하인 지방산이 상당수 포함하고 있기 때문에 PN 24~44를 가지는 TAG가 약 80 area%였다. Blending 유지는 PN 24~44와 PN 50~52 범위에서 TAG 조성 차이를

Table 2. Triacylglycerol (TAG) species of HPKO, shea butter, and blending oils (Unit: area%)

| PN | HPKO | Shea butter | Blending (HPKO : Shea butter) | | | | | |
|--------|----------|------------------|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | 6:4 | 5:5 | 4:6 | 3:7 | 2:8 | 1:9 |
| 24~34 | 9.2±0.1 | ND ¹⁾ | 6.9±2.9 | 6.5±4.7 | 4.3±3.5 | 2.5±1.8 | 1.5±1.2 | 0.7±0.4 |
| 36 | 27.3±1.9 | ND | 20.9±9.0 | 13.3±5.7 | 8.2±4.5 | 4.2±2.6 | 2.1±1.3 | 0.7±0.3 |
| 38 | 20.0±0.0 | ND | 11.6±2.8 | 7.9±1.8 | 4.8±1.9 | 2.4±1.0 | 1.1±0.3 | 0.3±0.1 |
| 40~44 | 26.1±5.5 | ND | 11.5±0.3 | 7.7±0.6 | 5.2±0.8 | 3.2±0.7 | 1.4±0.1 | 0.8±0.2 |
| 46 | 5.1±0.1 | ND | 2.5±0.7 | 1.3±0.2 | 0.9±0.1 | 0.5±0.0 | 0.2±0.0 | 1.3±1.8 |
| 48 | 6.6±1.2 | 2.8±0.1 | 2.3±0.8 | 1.6±0.4 | 1.1±0.3 | 0.6±0.0 | 0.1±0.1 | 0.1±0.1 |
| 50 | 2.3±1.1 | 43.2±1.3 | 17.7±5.3 | 25.5±7.5 | 31.5±4.1 | 37.7±4.5 | 39.9±3.5 | 40.9±3.5 |
| 52 | 2.3±0.2 | 49.4±1.3 | 23.7±6.3 | 32.4±3.4 | 40.3±5.6 | 44.2±1.8 | 48.2±0.7 | 50.8±2.3 |
| 56 | 1.2±1.7 | ND | 0.5±0.2 | 0.3±0.4 | ND | ND | ND | ND |
| Others | ND | 4.6±0.1 | 2.3±2.6 | 3.6±0.8 | 3.9±0.6 | 4.7±0.3 | 5.6±0.2 | 4.4±1.8 |
| Total | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

The results are expressed as the mean±SD (n=2).

¹⁾Not detected.

보였다.

Redgrave 등(28)의 연구에 따르면 SOO와 POS가 많은 cocoa butter는 corn oil이나 PKO보다 흡수가 적게 된다고 하며, stearic acid가 sn-1 또는 3 위치보다는 sn-2에 존재하고 있을 때 흡수가 빠르다고 하였다. 또한, Brink 등(29)의 연구에서는 칼슘이 증가한 식이를 하였을 경우 불용성염 형성 때문에 stearic acid의 흡수가 더 낮아지며, SOS가 SSO보다 흡수가 느리기 때문에 칼슘의 함량이 체내 칼로리 제공에 변화를 줄 수 있다고 하였다. 한편 Arishima 등(27)의 연구에 따르면 OOO=POO=POP> SOO=OSO=SOS의 순서로 가수분해가 되었으며, 단일 지방산으로 구성된 TAG에서는 LaLaLa=MMM> PPP=SSS로 가수분해되었다고 하였다.

대칭형 TAG 분석과 가수분해율의 상관관계

Ag-column을 이용한 대칭형 TAG 분석 결과를 Table 3에 제시하였다. HPKO의 경우 앞서 제시한 지방산 조성 분석(100% saturated fatty acid)과 마찬가지로 대부분 중쇄 포화지방산인 MMM(medium saturated-medium saturated-medium saturated)으로 구성된 TAG로 이루어져 있었다. Shea butter의 경우 SUS(saturated-unsaturated-saturated)가 65.6 area%로 가장 많은 비중을 차지했으며 SUU(saturated-unsaturated-unsaturated)가 33.7 area%

로 나타났다. 이 결과로 HPKO의 경우에는 lauric acid나 myristic acid로 이루어진 medium chain triacylglycerol(MCT)이 대부분일 것으로 추측되고, shea butter의 경우 SOS(stearic acid-oleic acid-stearic acid)와 SOO(stearic acid-oleic acid-oleic acid)가 많은 부분을 구성하고 있었다. Blending oil의 경우 shea butter가 차지하는 비율이 높아질수록 SUS와 SUU가 높아졌으며, MMM의 경우 점차 낮아졌다. 5:5 blending 유지에서는 MMM이 50.6 area%로 나타났으며, SUS+SUU의 경우 약 49 area%로 나타났다.

유지의 가수분해율과 TAG의 구성, 위치별 지방산 조성에 따른 상관관계를 나타낸 산 점도를 principal component analysis(PCA) 방법을 이용해 Fig. 3에 나타내었다. 제1 주성분 값의 기여율은 47.5%였으며 제2 주성분 값의 기여율은 44.5%였고 가수분해율은 TAG의 SN과 위치별 지방산 조성에 따라 영향을 받는 것으로 추정된다. Fig. 4에는 가수분해율과 지방산 구성에 따른 상관관계(Fig. 4A, B, D, E)와 가수분해율과 TAG의 구성에 따른 상관관계(Fig. 4C, F)를 나타냈다. 특히 TAG의 구성에서 medium-medium-medium(MMM)일수록 가수분해율과 양의 상관관계를 나타냈는데 이의 대부분은 lauric acid, myristic acid와 같은 medium chain fatty acid로 구성된 MCT에서 유래된 것이라

Table 3. Symmetric TAG species of HPKO, shea butter, and blending oils (Unit: area%)

| TAG species ¹⁾ | MMM | SUS | SUU |
|--------------------------------------|-----------|------------------|----------|
| HPKO | 100.0±0.0 | ND ²⁾ | ND |
| Shea butter | ND | 65.6±0.8 | 33.7±0.4 |
| Blending oil (HPKO : Shea butter) | 6:4 | 66.3±4.4 | 21.3±1.9 |
| | 5:5 | 50.6±3.9 | 30.1±1.6 |
| | 4:6 | 32.9±6.6 | 43.5±3.4 |
| | 3:7 | 16.0±7.4 | 54.6±4.6 |
| | 2:8 | 5.7±3.3 | 62.0±1.3 |
| | 1:9 | 0.7±1.0 | 64.7±0.3 |

The results are expressed as the mean±SD (n=2).

¹⁾M: medium chain saturated fatty acid, S: saturated fatty acid, U: unsaturated fatty acid.

²⁾Not detected.

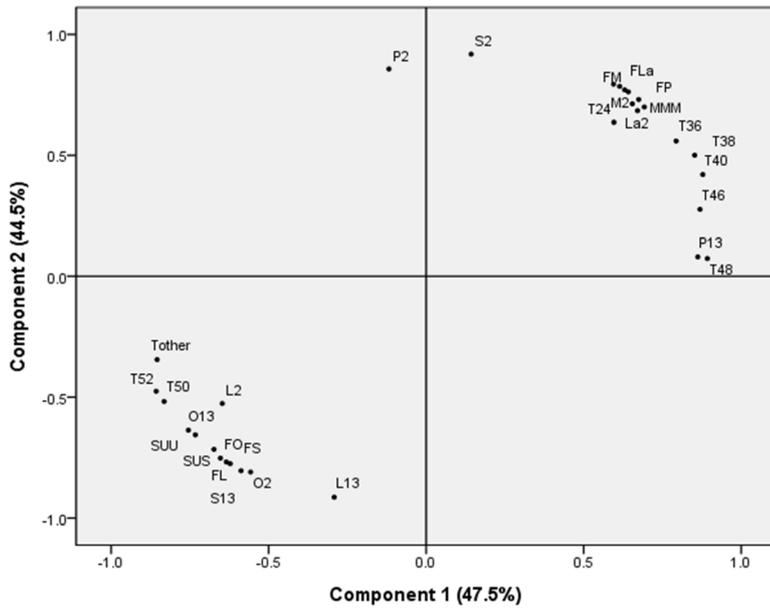


Fig. 3. Scatter plot of fatty acid composition (*sn*-2, *sn*-1,3) and TAG species using principal component analysis (PCA). *sn*-2 Fatty acid (2): lauric acid (La2), myristic acid (M2), palmitic acid (P2), oleic acid (O2), linoleic acid (L2). *sn*-1,3 Fatty acid (13): lauric acid (La13), myristic acid (M13), palmitic acid (P13), oleic acid (O13), linoleic acid (L13). TAG species (T): PN24-34 (T24), PN36 (T36), PN38 (T38), PN40-44 (T40), PN46 (T46), PN50 (T50), PN52 (T52), PN56 (T56), Others (tother). M (medium chain saturated fatty acid), S (saturated fatty acid), U (unsaturated fatty acid).

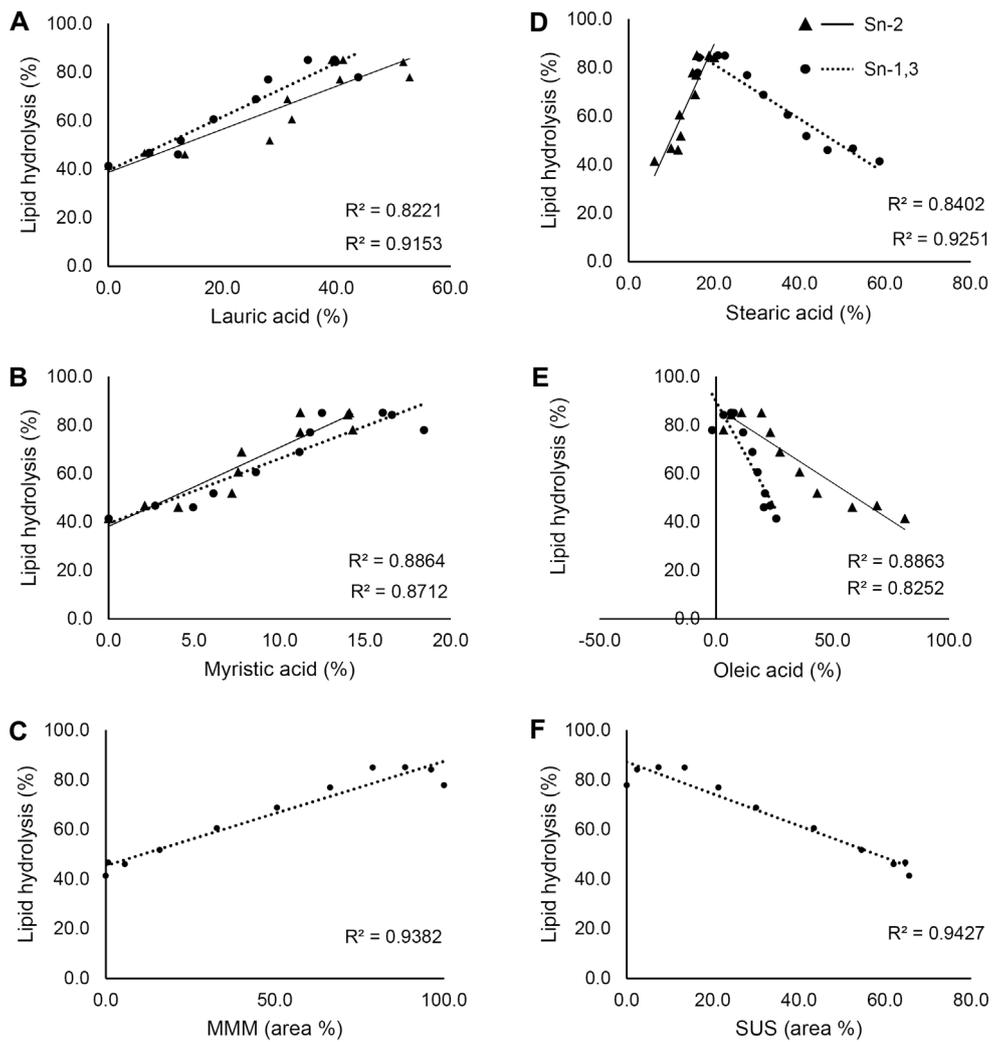


Fig. 4. Relationship between lipid hydrolysis (%) and two variables. This relationship was examined for lauric acid (A), myristic acid (B), MMM (C), stearic acid (D), oleic acid (E), SUS (F). MMM: medium-medium-medium, SUS: saturated-unsaturated-saturated.

보인다. 반면, saturated-unsaturated-saturated(SUS)와 유지의 가수분해율과는 음의 상관관계를 나타냈다.

유지는 여러 TAG로 이루어져 있으며, 그 TAG는 구성하고 있는 지방산에 따라 서로 다른 구조로 이루어져 있다. TAG 혼합물은 그 구조에 따라 유지 내 배열이 달라지고, 그 배열에 따라 결정 구조가 달라진다. 이렇게 동일 물질 내에서 서로 다른 결정 구조를 갖는 것을 polymorphism이라 하며, 유지는 대표적으로 α , β' , β 의 세 가지 결정형 구조를 가진다(30). 일반적으로 α 형이 가장 불안정하며, β' 형과 β 형은 비교적 안정한 형태를 띠고 있다. β 형은 단순한 TAG 조성을 가지고 대부분 대칭형 유지를 함유하고 있다. Illipe butter, shea butter, kokum butter, sal fat은 대칭형 유지로 이러한 특성을 이용해 코코아버터 대체제로 이용되고 있다(31). 비대칭형 유지의 경우 발림성과 creaming성이 뛰어나 크림류나 버터류에 사용되고 있다.

Karupaiah와 Sundram(32)의 연구에 따르면 같은 지방산으로 구성되어 있는 TAG라도 대칭형, 비대칭형으로 구성되어 있는 것에 따라 소화율이 다르게 나타났는데, 주로 포화지방산이 sn-1,3에 위치하는 것보다 sn-2에 위치한 대칭형 유지 경우 소화율이 높아진다고 하였다. 또한, Mattil와 Higgins(33)의 연구에선 SSS(stearic acid-stearic acid-stearic acid) : OOO(oleic acid-oleic acid-oleic acid)가 2:1로 분포한 경우 39%의 소화율을 보였으나 1:2로 구성되었을 경우 69%의 소화율을 보여, SSS와 OOO의 비율에 따라서도 소화율이 달라진다고 보고되었다. 이러한 선행 연구 결과들을 보면 하나의 변수가 아닌 여러 요인이 유지의 소화율에 영향을 주는 것으로 판단되었다.

전체적으로 shea butter가 장쇄 포화지방산의 함량이 높았을 뿐만 아니라 stearic acid가 대칭형으로 구성되어 있는 SOS와 같은 TAG가 많았기 때문에 HPKO에 비해 가수분해율이 낮았던 것으로 사료된다.

총 지방산 조성

Methylation을 거친 후 GC 분석을 통해 얻은 지방산 조성 및 정량 분석 결과를 Table 4에 나타냈다. HPKO의 경우 48.4 area%의 lauric acid(C12:0)가 가장 많았으며, 그 뒤로 myristic acid(C14:0), stearic acid(C18:0), caprylic acid(C8:0), capric acid(C10:0)가 각각 17.1, 15.5, 5.3 및 5.1 area%였다. 반면에 불포화지방산은 검출되지 않았다. Siew(34)에 의하면 HPKO의 지방산 조성은 lauric acid, myristic acid, stearic acid, caprylic acid, capric acid 함량이 각각 49.1, 16.7, 19.2, 3.0 및 3.2 wt%로 본 연구에서 사용된 기질의 조성 및 유사하였다. Shea butter의 경우 전체 지방산 중 oleic acid(C18:1)와 stearic acid가 44.2와 41.2 area%로 가장 많이 검출되었으며, linoleic acid(C18:2)와 palmitic acid(C16:0)도 7.5과 4.5 area%였다. 일부 arachidic acid(C20:0)와 myristoleic acid(C14:1)도 검출되었다. Shea butter의 경우 전체 지방산 중 52.8 area%가 불포화지방산으로 구성되었으며, 그중 대부분이 oleic acid 계열로 이중결합을 1개 가지고 있는 불포화지방산이었다. Di Vincenzo 등(18)에 따르면 shea butter lipid의 조성은 재배지역의 기후에 따라 다르게 나타나며, Nigeria Mali 지역의 Shea(*Sebekoro*) butter lipid의 조성이 oleic acid, stearic acid, linoleic acid, palmitic acid 함량이 각각 44.4, 42.1, 6.7 및 4.0%로 본 연구에서 사용된 기질의 조성 및 유사하였다.

한편 여러 비율로 blending 된 유지의 지방산 조성을 살펴본 결과 lauric acid, stearic acid 및 oleic acid가 주요 지방산들로써 전체 지방산 조성의 약 60% 이상을 차지하고 있었다. 그중 HPKO : shea butter blending 비율이 4:6일 때에는 lauric acid가 23.0 area%, stearic acid는 28.8 area%, oleic acid의 경우 23.8 area%로 나타났다. 비율별로 shea butter의 함량이 많아질수록 stearic acid와 oleic acid의 수치가 높아졌고, HPKO의 함량이 많아질수록 lauric acid

Table 4. Fatty acids of hydrogenated palm oil (HPKO), shea butter, and blending oils (Unit: area%)

| Fatty acids | HPKO | Shea butter | Blending (HPKO : Shea butter) | | | | | |
|-------------|----------|------------------|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | 6:4 | 5:5 | 4:6 | 3:7 | 2:8 | 1:9 |
| C8:0 | 5.3±0.4 | ND ¹⁾ | 3.5±0.0 | 3.1±0.1 | 2.7±0.0 | 2.0±0.0 | 1.4±0.0 | 0.7±0.0 |
| C10:0 | 5.1±0.0 | ND | 3.4±0.0 | 2.9±0.1 | 2.5±0.0 | 1.9±0.0 | 1.3±0.0 | 0.7±0.0 |
| C12:0 | 48.4±0.9 | ND | 32.2±0.1 | 27.7±0.6 | 23.0±0.2 | 17.9±0.1 | 12.6±0.2 | 6.9±0.1 |
| C14:0 | 17.1±0.0 | ND | 11.6±0.1 | 10.0±0.1 | 8.3±0.1 | 6.5±0.0 | 4.7±0.0 | 2.5±0.0 |
| C14:1 | ND | 0.7±0.2 | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| C16:0 | 8.6±0.2 | 4.5±0.1 | 7.1±0.0 | 6.6±0.1 | 6.2±0.1 | 5.8±0.0 | 5.4±0.0 | 4.9±0.0 |
| C18:0 | 15.5±0.4 | 41.2±0.1 | 23.7±0.1 | 26.2±0.4 | 28.8±0.2 | 31.8±0.3 | 34.9±0.2 | 38.3±0.4 |
| C18:1 (n-9) | ND | 44.2±0.2 | 15.5±0.0 | 19.5±0.2 | 23.8±0.1 | 28.4±0.1 | 33.2±0.2 | 38.5±0.1 |
| C18:2 (n-6) | ND | 7.5±0.2 | 2.4±0.0 | 3.0±0.1 | 3.8±0.1 | 4.5±0.1 | 5.3±0.2 | 6.1±0.2 |
| C20:0 | ND | 1.6±0.1 | 0.6±0.0 | 0.8±0.1 | 1.0±0.0 | 1.1±0.0 | 1.3±0.0 | 1.5±0.0 |
| C20:1 | ND | 0.4±0.1 | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| ∑SFA | 100.0 | 47.2 | 82.2 | 77.5 | 72.4 | 67.0 | 61.5 | 55.5 |
| ∑USFA | ND | 52.8 | 17.9 | 22.5 | 27.6 | 33.0 | 38.5 | 44.5 |

The results are expressed as the mean±SD (n=2).

¹⁾Not detected.

Table 5. Major fatty acid composition at the *sn*-1,3 and *sn*-2 position of the HPKO, shea butter, and blending oils (Unit: area%)

| Fatty acids | | C12:0 | C14:0 | C16:0 | C18:0 | C18:1 (n-9) | C18:2 (n-6) | |
|----------------|-------------------------------------|------------------|----------|----------|----------|----------------|----------------|----------|
| <i>sn</i> -1,3 | HPKO | 41.9±2.7 | 18.3±0.3 | 10.6±0.2 | 16.0±0.3 | — | — | |
| | Shea butter | ND ¹⁾ | ND | 6.7±0.2 | 58.7±0.6 | 25.8±0.1 | 4.7±0.5 | |
| | Blending (HPKO : Shea butter) | 6:4 | 28.0±0.1 | 11.8±0.3 | 8.7±0.4 | 27.7±1.0 | 11.6±0.8 | 0.9±0.7 |
| | | 5:5 | 25.9±3.3 | 11.2±1.0 | 5.6±2.3 | 31.5±0.2 | 15.6±0.4 | 0.0±1.4 |
| | | 4:6 | 18.5±4.3 | 8.6±0.2 | 7.9±0.4 | 37.2±1.4 | 17.8±2.3 | 0.9±0.2 |
| | | 3:7 | 12.7±2.9 | 6.1±0.4 | 8.3±0.6 | 41.6±0.6 | 21.0±2.0 | 2.8±0.1 |
| | | 2:8 | 12.2±0.9 | 4.9±0.2 | 6.9±0.0 | 46.6±0.1 | 20.5±0.6 | 3.0±0.5 |
| | 1:9 | 7.2±0.2 | 2.7±0.1 | 6.4±0.6 | 52.5±0.2 | 23.2±0.4 | 3.8±0.4 | |
| <i>sn</i> -2 | HPKO | 61.3±7.9 | 14.9±0.5 | 4.4±0.8 | 14.6±0.5 | 1.7±2.4 | 3.2±4.6 | |
| | Shea butter | ND | ND | ND | 6.1±0.8 | 81.0±0.8 | 12.9±1.7 | |
| | Blending (HPKO : Shea butter) | 6:4 | 40.6±0.1 | 11.2±0.9 | 3.8±0.9 | 15.8±1.9 | 23.3±1.7 | 5.3±1.5 |
| | | 5:5 | 31.4±4.9 | 7.8±1.7 | 8.8±4.5 | 15.6±0.8 | 27.4±0.3 | 9.1±2.6 |
| | | 4:6 | 32.2±8.0 | 7.6±0.1 | 3.0±0.5 | 11.9±2.0 | 35.9±4.8 | 9.5±0.7 |
| | | 3:7 | 28.3±6.1 | 7.2±0.7 | 0.9±1.3 | 12.2±1.9 | 43.4±3.6 | 8.0±0.0 |
| | | 2:8 | 13.4±1.3 | 4.1±0.4 | 2.5±0.1 | 11.6±0.6 | 58.4±0.6 | 10.0±0.3 |
| | 1:9 | 6.3±0.5 | 2.1±0.0 | 1.9±1.0 | 9.9±1.6 | 69.1±0.9 | 10.6±1.3 | |

The results are expressed as the mean±SD (n=2).

¹⁾Not detected.

의 수치가 높아졌는데 이는 이들이 사용된 각 유지의 주요 지방산이기 때문이다. 총 포화지방산(ΣSFA)과 불포화지방산(ΣUSFA)의 함량을 살펴보면 1:9 blending일 때 55.5 area%로 가장 낮은 ΣSFA 함량을 보였으며, ΣUSFA 함량은 44.5 area%였다. 트랜스 지방산은 사용된 유지 전부 검출되지 않았다.

한편 Livesey(35)의 연구에 의하면 같은 포화지방산이라도 탄소수에 따라 가수분해율이 달랐는데 C12:0인 lauric acid와 C14:0인 myristic acid의 경우 C16:0인 palmitic acid와 C18:0인 stearic acid보다 소화율이 현저히 높았다.

위치별 지방산 조성과 가수분해율의 상관관계

Pancreatic lipase를 이용한 각 시료의 위치별(*sn*-2, *sn*-1,3) 주요 지방산 조성 분석 결과는 Table 5에 나타내었다. HPKO의 *sn*-1,3 위치의 주요 지방산 조성은 lauric acid (41.9 area%), myristic acid(18.3 area%), stearic acid (16.0 area%), palmitic acid(10.6 area%)였고, *sn*-2에는 60% 이상의 lauric acid로 구성되었다.

Shea butter의 경우 *sn*-1,3 위치에 palmitic acid(6.7 area%), stearic acid(58.7 area%), oleic acid(25.8 area%) 및 linoleic acid(4.7 area%)로 구성되었으며, *sn*-2 위치에 80% 이상의 oleic acid로 구성되었다. 이는 shea butter의 TAG 조성 분석과 비교하였을 때 대부분이 *sn*-2에 oleic acid를 가지고 있는 SOS, SOO였기 때문이다.

Blending 유지의 경우 4:6에선 *sn*-2 위치에 oleic acid (35.9 area%), lauric acid(32.2 area%), stearic acid(11.9 area%), linoleic acid(9.5 area%) 및 myristic acid(7.6 area%) 등으로 분포되어 있었다.

시료에서 측정된 가수분해율과 주요 위치별 지방산 조성과의 상관관계를 Fig. 4에 나타내었으며, 위치별 함량을 x축,

가수분해율을 y축으로 하였다. 이때 HPKO에서 유래하는 lauric acid, myristic acid는 지방산의 구성 위치에 상관없이 함량이 높아질수록 가수분해가 더 잘되는 양의 상관관계를 나타내어 HPKO의 함량이 높아질수록 가수분해율과 양의 상관관계를 보였다(Fig. 4A, 4B). 반면에 이중결합을 가지고 비교적 탄소수가 긴 oleic acid의 경우에는 분포되는 위치에 상관없이 유지 내 함량이 많을수록 가수분해율이 낮아지는 음의 상관관계를 나타내었다(Fig. 4E). 특히 stearic acid의 경우 TAG 내에서 분포되는 위치에 따라 가수분해율이 다르게 나타났는데 *sn*-2에 분포되는 stearic acid가 많아질수록 가수분해는 잘되었으며, *sn*-1,3에는 많을수록 가수분해가 저해되었다(Fig. 4D). Stearic acid의 위치별 지방산 조성과 함량에 따른 가수분해율의 상관관계는 *sn*-2의 경우 0.7682, *sn*-1,3의 경우 0.9161로 높은 상관관계를 보였다. 이로 인해 *sn*-1,3에 대부분 stearic acid로 이루어진 shea butter는 다른 유지와는 달리 유지의 가수분해를 저해시키는 경향이 있다고 판단된다.

요 약

본 실험은 가공식품에서 폭넓게 이용되고 있는 식용유지인 hydrogenated palm kernel oil(HPKO)과 대칭형 triacylglycerol(TAG)로 주로 구성된 shea butter 및 두 유지의 blends를 대상으로 가수분해율을 비교하여 어떤 특성이 가수분해율에 영향을 미치는지를 살펴보고자 하였다. 녹는 온도가 서로 유사한 HPKO와 shea butter의 blending 비율을 다르게 할 경우 *in vitro* digestion에 의한 가수분해율에 차이가 있는지를 알아보았다. Shea butter의 complete melting point는 34.5°C였으며, HPKO는 39.5°C였다. *In vitro* digestion 실험 결과 shea butter blending 비율이

높아질수록 가수분해율이 낮아졌으며 2:8, 1:9(HPKO : shea butter) blending 유지는 shea butter와 비슷한 가수분해율을 보였다. HPKO에서 유래된 medium chain triacylglycerol(MCT)로 이뤄진 medium-medium-medium(MMM)은 가수분해율과 양의 상관관계를 나타냈으나 shea butter에서 유래하는 long chain fatty acid로 구성된 saturated-unsaturated-saturated(SUS)나 saturated-saturated-unsaturated(SSU)는 유지의 가수분해와 음의 상관관계를 가졌다. 또한, HPKO에서 유래된 lauric acid, myristic acid와 palmitic acid는 TAG 내 위치에 상관없이 함량이 높아질수록 가수분해율이 높아졌으며, shea butter에서 유래되고 비교적 탄소수가 긴 oleic acid의 경우 분포되는 위치에 상관없이 유지 내 함량이 많을수록 가수분해율이 낮아지는 음의 상관관계를 나타내었다. 반면 stearic acid의 경우에는 sn-1, 3에 위치한 함량에 따라 가수분해가 저해되는 경향을 보였다. 인체 내에서의 소화 과정은 매우 복잡하고 많은 요인의 영향을 받기 때문에 단편적으로 어떤 유지 특성들이 가수분해율에 영향을 미치는지 단언할 수 없다. 그런데도 본 실험에서의 결과는 난 소화성 유지 개발의 기초자료로 사용될 수 있고, 식품 산업에 이용될 때 영양학적으로 유의한 효과를 기대할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 2016년 양영재단의 지원을 받았으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Ministry of Health and Welfare. 2015. Korea Health Statistics 2015: Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES VI-3). Korea Centers for Disease Control and Prevention, Cheongju, Korea.
2. Birari RB, Bhutani KK. 2007. Pancreatic lipase inhibitors from natural sources: unexplored potential. *Drug Discovery Today* 12: 879-889.
3. Iqbal J, Hussain MM. 2009. Intestinal lipid absorption. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 296: E1183-E1194.
4. Lykidis A, Mougios V, Arzoglou P. 1995. Kinetics of the two-step hydrolysis of triacylglycerol by pancreatic lipases. *Eur J Biochem* 230: 892-898.
5. Sek L, Porter CJH, Kaukonen AM, Charman WN. 2002. Evaluation of the in-vitro digestion profiles of long and medium chain glycerides and the phase behaviour of their lipolytic products. *J Pharm Pharmacol* 54: 29-41.
6. Hur SJ, Joo ST, Lim BO, Decker EA, McClements JD. 2011. Impact of salt and lipid type on in vitro digestion of emulsified lipids. *Food Chem* 126: 1559-1564.
7. Giang TM, Gaucel S, Brestaz P, Anton M, Meynier A, Trelea IC, Le Feunteun S. 2016. Dynamic modeling of in vitro lipid digestion: Individual fatty acid release and bioaccessibility kinetics. *Food Chem* 194: 1180-1188.
8. Mun S, Decker EA, Park Y, Weiss J, McClements DJ. 2006. Influence of interfacial composition on in vitro digestibility of emulsified lipids: potential mechanism for chitosan's ability to inhibit fat digestion. *Food Biophys* 1: 21-29.
9. Sek L, Porter CJH, Charman WN. 2001. Characterisation and quantification of medium chain and long chain triglycerides and their in vitro digestion products, by HPTLC coupled with in situ densitometric analysis. *J Pharm Biomed Anal* 25: 651-661.
10. Bonnaire L, Sandra S, Helgason T, Decker EA, Weiss J, McClements DJ. 2008. Influence of lipid physical state on the in vitro digestibility of emulsified lipids. *J Agric Food Chem* 56: 3791-3797.
11. Hunter JE. 2001. Studies on effects of dietary fatty acids as related to their position on triglycerides. *Lipids* 36: 655-668.
12. Zhu X, Ye A, Verrier T, Singh H. 2013. Free fatty acid profiles of emulsified lipids during in vitro digestion with pancreatic lipase. *Food Chem* 139: 398-404.
13. Goh EM. 2002. Applications and uses of palm and palm kernel oils in speciality products. *Malaysian Oil Science and Technology* 11: 46-50.
14. Mozaffarian D, Micha R, Wallace S. 2010. Effects on coronary heart disease of increasing polyunsaturated fat in place of saturated fat: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS Med* 7: e1000252.
15. Micha R, Mozaffarian D. 2010. Saturated fat and cardiometabolic risk factors, coronary heart disease, stroke, and diabetes: a fresh look at the evidence. *Lipids* 45: 893-905.
16. German JB, Dillard CJ. 2004. Saturated fats: what dietary intake?. *Am J Clin Nutr* 80: 550-559.
17. McNeill GP. 2009. Saturated fats and the risk of heart disease. *Inform* 20: 340-341.
18. Di Vincenzo D, Maranz S, Serraiocco A, Vito R, Wiesman Z, Bianchi G. 2005. Regional variation in shea butter lipid and triterpene composition in four African countries. *J Agric Food Chem* 53: 7473-7479.
19. Israel MO. 2014. Effects of topical and dietary use of Shea butter on animals. *Am J Life Sci* 2: 303-307.
20. Lovett PN. 2005. Shea butter industry expanding in West Africa. *Inform* 16: 273-275.
21. Malachi OI, Ajayi OB, Akomolafe SF. 2014. Effects of shea butter based diet on hepatic and renal enzymes and plasma lipid profile in albino rats. *Adv Biochem* 2: 80-84.
22. AOCS. 1990. *Official methods and recommended practices of the AOCS*. 4th ed. American Oil Chemists' Society, Champaign, IL, USA. Method Cc1-25.
23. Ministry of Food and Drug Safety. 2016. *Food Code*. Cheongju, Korea.
24. Lee JH, Son JM, Akoh CC, Kim MR, Lee KT. 2010. Optimized synthesis of 1,3-diacylglycerol-rich triacylglycerol via interesterification catalyzed by a lipase from *Thermomyces lanuginosus*. *New Biotechnol* 27: 38-45.
25. Versantvoort CHM, Oomen AG, Van de Kamp E, Rompelberg CJM, Sips AJAM. 2005. Applicability of an in vitro digestion model in assessing the bioaccessibility of mycotoxins from food. *Food Chem Toxicol* 43: 31-40.
26. Li Y, McClements DJ. 2010. New mathematical model for interpreting pH-stat digestion profiles: Impact of lipid droplet characteristics on in vitro digestibility. *J Agric Food Chem* 58: 8085-8092.
27. Arishima T, Tachibana N, Kojima M, Takamatsu K, Imaizumi K. 2009. Screening of resistant triacylglycerols to the pancreatic lipase and their potentialities as a digestive retardant. *J Food Lipids* 16: 72-88.
28. Redgrave TG, Kodali DR, Small DM. 1988. The effect of triacyl-sn-glycerol structure on the metabolism of chylomicrons and triacylglycerol-rich emulsions in the rat. *J Biol*

- Chem* 263: 5118-5123.
29. Brink EJ, Haddeman E, de Fouw NJ, Weststrate JA. 1995. Positional distribution of stearic acid and oleic acid in a triacylglycerol and dietary calcium concentration determines the apparent absorption of these fatty acids in rats. *J Nutr* 125: 2379-2387.
 30. Hyeon JW, Lee KT. 2013. Enzymatic synthesis of asymmetric structured lipids containing 1,2-disaturated-3-unsaturated glycerol using acyl migration. *CNU J Agric Sci* 40: 367-375.
 31. Lipp M, Anklam E. 1998. Review of cocoa butter and alternative fats for use in chocolate-Part A. Compositional data. *Food Chem* 62: 73-97.
 32. Karupaiyah T, Sundram K. 2007. Effects of stereospecific positioning of fatty acids in triacylglycerol structures in native and randomized fats: a review of their nutritional implications. *Nutr Metab* 4: 16.
 33. Mattil KF, Higgins JW. 1945. The relationship of glyceride structure to fat digestibility. I. Synthetic glycerides of stearic and oleic acids. *J Nutr* 29: 255-260.
 34. Siew WL. 2001. Crystallisation and melting behaviour of palm kernel oil and related products by differential scanning calorimetry. *Eur J Lipid Sci Technol* 103: 729-734.
 35. Livesey G. 2000. The absorption of stearic acid from triacylglycerols: an inquiry and analysis. *Nutr Res Rev* 13: 185-214.