ISSN 2466-2046 (Print)
ISSN 2466-2054 (Online)
Asian J Beauty Cosmetol 2024; 22(4): 609-618
http://dx.doi.org/10.20402/ajbc.2024.0075

RESEARCH ARTICLE Open Access

Evaluation of Antioxidant and Anti-aging Effects of Hawaiian Sandalwood (*Santalum paniculatum*) Essential Oil as a Cosmetic Ingredient

So Young Shin[1], Seokmuk Park[1], Bo Liu[1,2*]
[1]Department of Cosmetics Engineering, Graduate School of Konkuk University, Seoul, Korea
[2]Department of Beauty Health, Namseoul University, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, Korea

[*]**Corresponding author:** Bo Liu, Department of Beauty Health, Namseoul University, 91, Daehak-ro, Seonghwan-eup, Seobuk-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do 31020, Korea
Tel.: +82 41 580 3543
Fax: +82 41 580 2936
Email: yb108@nsu.ac.kr

Received October 7, 2024
Revised November 17, 2024
Accepted December 10, 2024
Published December 30, 2024

Abstract

Purpose: This study aimed to assess the anti-oxidant and anti-aging properties of Hawaiian Sandalwood (*Santalum paniculatum*) essential oil (HSEO) to investigate its potential as a functional cosmetic ingredient. **Methods:** The antioxidant components of HSEO were quantified with the total phenolic content and total flavonoid content assays. Its antioxidant efficacy was further evaluated through the 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (ABTS) and 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assays. An *in vitro* experiment was conducted on CCD-986sk cells, focusing on its ability to inhibit collagen degradation, to assess its anti-aging effect. **Results:** HSEO contained 1.703±0.050 mg of GAE/g of polyphenols and 0.291±0.017 mg of QE/g of flavonoids. These abundant natural anti-oxidant compounds endowed HSEO with notable radical scavenging activities, as evidenced by its 92.2%±0.6% DPPH and 99.8%±0.1% ABTS radical scavenging activities at a 1 mg/mL concentration. Additionally, ultraviolet B (20 mJ/cm^2) irradiation reduced collagen levels in CCD-986sk cells to 38.42%±1.17%. However, HSEO cotreatment at 3.125, 6.25, and 12.5 ng/mL concentrations restored collagen levels to 58.32%±2.36%, 77.50%±0.60%, and 98.77%±1.38%, respectively, exhibiting its significant anti-aging potential. **Conclusion:** These results indicate that HSEO possesses significant anti-oxidant and anti-aging properties, supporting its potential as an effective functional cosmetic ingredient.

Keywords: Hawaiian sandalwood essential oil, *Santalum paniculatum*, Antioxidant, Anti-aging, Natural cosmetic material

Introduction

피부 노화는 나이가 들어감에 따라 발생하는 자연적인 현상으로 내인성 노화와 주위 환경 특히 자외선 등에 의한 외인성 노화로 나뉜다(Kim & Kim, 2023). 생체 내의 활성산소종(reactive oxygen species, ROS)의 과도한 발생은 산화 방어계(antioxidant defense system)에 심각한 불균형을 초래하여 산화적 스트레스(oxidative stress)를 발생시키고, 이를 통해 내인성 노화를 촉진하는 것으로 알려져 있다(Devasagayam *et al.*, 2004; Valko *et al.*, 2007). 여러 원인에 의해 증가되는 활성산소는 염증성 사이토카인을 분비하고, 이는 진피층의 섬유아세포(fibroblasts, HDFs)에서 합성되는 collagen의 전구체인 procollagen을 감소시켜 피부 탄력 감소 및 주름을 더욱 깊어지게 만든다(Seo *et al.*, 2018). 반면 외인성 피부 노화의 주요 원인은 자외선(ultraviolet)으로, UV의 지속적인 노출은 진피층에 존재하는 HDFs의 콜라겐 발현량을 감소시키고, 콜라겐 분해효소의 발현량을 증가시켜 피부 내 extracellular matrix (ECM)를 분해한다(Pittayapruek *et al.*, 2016). 특히 HDFs에서 matrix metalloproteinase-1 (MMP-1), MMP-3의 지속적인 증가는 피부 처짐의 원인이 되기도 하므로, 피부 노화 억제에 있어서도 MMP-1, MMP-3의 발현 감소가 중요하다(Quan *et al.*,2013; Lan *et al.*, 2020). MMP-1의 경우 콜라겐 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ 타입을 분해할 수 있는 collagenases 중 하나이며(Vincenti *et al.*, 1996), MMP-3의 경우

Copyright ⓒ Korea Institute of Dermatological Sciences.
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

여러 ECM 분자를 분해할 수 있는 stromelysins 중 하나이다(Nagase *et al*.,2006). 내인적, 외인적 환경으로 인한 MMP1, MMP3의 발현의 증가는 피부 노화 촉진의 원인이 된다(Quan *et al*., 2009).

다른 물질의 산화 속도를 지연 및 예방하는 물질이 항산화제(Moon & Shibamoto, 2009)이며, 체내에서 생성되는 항산화제로는 catalase, superoxide dismutase, glutathione peroxidase 등이 존재한다. 그 외에도 전자 공여로 자유라디칼을 환원시키는 대표적인 항산화제인 비타민 C, 비타민 E, 폴리페놀, 카로티노이드, 플라보노이드 등과 구리, 망간, 셀레늄, 아연과 같은 항산화 효소의 조효소로 작용하는 성분들이 생체 내 항산화 시스템을 구성한다(Jorge & Gonsebatt, 2009). 최근에는 안전성에 대한 소비자들의 높은 관심으로 인해, 식물 유래의 추출물을 활용한 안전하면서도 효과적인 항산화제에 대한 개발(Yang & Lee, 2019)이 활발히 진행되고 있다. 건강에 미치는 악영향을 치유하기 위해 고도로 발전된 현대의학이 활용되었으나 인체를 지나치게 세분화하여, 질병 자체에만 집착할 뿐 인체에 대한 전체적인 접근의 중요성을 상실한 측면이 발견되었다. 정신적, 육체적인 측면의 강력하고 긍정적인 영향을 주는 소재로 에센셜 오일이 논의되며, 피부 및 심리 건강 등 많은 분야에 널리 사용되고 있다.

에센셜 오일(essential oil)은 식물 내 강한 향과 휘발성을 가지는 화합물이 농축된 액체로 향수, 메이크업 화장품, 천연 약재 등에 이용되고 있다(Choi *et al*., 2019). 아로마 에센셜 오일은 인체에 활용 시 즉각적으로 다양한 약용 효능을 체험할 수 있다는 장점이 알려져 있다(Bae *et al*., 2023). 특히, 에센셜 오일에는 휘발성 화합물인 monoterpenoids, sesquiterpenoids 및 diterpenoids류가 함유되어 있으며, 이러한 화학 조성물들은 물리화학적 특성과 향취 특성으로 인해 향장품(fragrance), 향신료(flavor) 및 가정용품 등의 여러 산업제품 개발에 활용되고 있다(Kim *et al*., 2018). 선행 연구에서는 전 세계 에센셜 오일 시장 규모를 약 7억 달러로 추산하고 있으며, 장기간 사용 시에도 유전 독성이 적고, 생산 비용이 저렴하며, 인체 내 다양한 건강 증진 효과를 가진다는 특성으로 인해 에센셜 오일의 산업 내 이점을 강조하고 있다(Raut & Karuppayil *et al*., 2014). 따라서 이러한 내용을 바탕으로, 최근 연구가 활발히 이루어져 항산화(Scartezzini & Speroni, 2000; Jagetia & Baliga, 2004), 항균(Jagetia & Baliga, 2004) 및 항염 효과(Banerjee *et al*., 1993) 등의 유효성이 보고되어 있는 샌달우드 에센셜 오일을 이용한 화장품 소재로의 적용은 필요할 것으로 보인다.

하와이안 샌달우드 에센셜 오일(Hawaiian sandalwood essential oil, HSEO)은 백단향(Santalum)에 속하며 샌달우드 에센셜 오일 단향과(Santalaceae)와 같은 군으로 하와이 섬에 서식하는 샌달우드의 종류이다(Merlin *et al*., 2006). 하와이안 샌달우드는 4개의 종으로 분류되는데(Wagner *et al*., 1999), *Santalum ellipticum*, *Santalum freycinetiannum*, *Santalum haleakalae* 및 *Santalum paniculatum*이다. 샌달우드 에센셜 오일의 항산화 효과(Lee, 2008; Jung, 2013; Park & Jung, 2013; Lee, 2019; Yun *et al*., 2009)에 대해 연구가 진행된바 있지만 아직 미미한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 하와이안 샌달우드 에센셜 오일(HSEO)의 항산화 및 항노화에 대한 기초적인 생리활성을 확인하여 화장품 소재로서의 응용 가능성을 확인하고자 한다.

Methods

1. 시료 준비

본 연구에서 사용된 HSEO는 도테라 코리아(유)회사 온라인 스토어(doTERRA Korea)에서 구매하여 사용하였다. HSEO는 하와이 섬에서만 자생하고 있는 *S.paniculatum*을 스팀 증류 방법을 통해 얻은 오일로 시험에서 적용하였다.

2. 항산화 효력 분석

항산화 효력 분석에 사용된 시약인 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS), ascorbic acid 및 quercetin은 Sigma-Aldrich (USA)에서 구입해 사용하였다. 또한 total phenolic contents assay에 사용된 Folin-Ciocalteu reagent (FCR)와 gallic acid는 Junsei Chemical Co. (Japan)에서 구입해 사용하였다.

1) DPPH radical scavenging activity

DPPH assay 실험방법은 선행 연구에서 기술된 방법을 변형하여 사용되었다(Blois, 1958). 시료는 0.016, 0.031, 0.063, 0.125, 0.25, 0.5, 1 mg/mL의 농도가 되도록 70% ethanol로 희석한 뒤 사용하였다. 시료 0.2 mL과 DPPH 용액 1 mL을 test tube에 주입한 뒤, 혼합하여 20 min 동안 반응시켰다. 반응이 끝난 시료 100 μL를 96 well plate에 옮긴 뒤 microplate reader (Synergy HT; Biotek, USA)를 이용하여 540 nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH radical scavenging activity는 아래와 같이 백분율로 표기하였다.

DPPH radical scavenging activity (%)=(1-(시료 첨가군의 흡광도)/(시료 무첨가군의 흡광도))×100

2) ABTS radical scavenging activity

ABTS assay는 Re *et al*.(1999)의 방법을 응용 후 진행하였다. 시료는 0.016, 0.031, 0.063, 0.125, 0.25, 0.5, 1 mg/mL의 농도가 되도록 70% ethanol로 희석하여 사용하였다. 우선 2.45 mM의 ammonium persulfate (Sigma-Aldrich), 7.4 mM의 ABTS (Sigma-Aldrich)를 혼합하여 8 h 동안 발색을 유도한 뒤, 향후 실험 조건에서 740 nm 파장의 흡광도가 1.00이 되도록 희석시켰다. 이후, HSEO는 70% ethanol용액으로 희석하여 각 농도별 용액으로 제조되었고, ABTS 용액 1 mL와 희석 시료 0.2 mL를 test tube에 주입한 후 혼합하여 20 min간 반응시켰다. 반응이 끝난 시료 100 μL는

http://dx.doi.org/10.20402/ajbc.2024.0075

96 well plate에 옮긴 뒤 microplate reader (Synergy HT; Biotek)를 이용하여 740 nm파장의 흡광도를 측정하였다. ABTS radical scavenging activity는 실험군 및 양성대조군(ascorbic acid)의 흡광도를 이용해 아래와 같이 백분율로 표기하였다.

ABTS radical scavenging activity (%)=(1−(시료 첨가군의 흡광도)/(시료 무첨가군의 흡광도))×100

3) Total phenolic content

Total phenolic contents 측정 방법은 Folin−Denis (1912) 방법을 참고하여 사용하였다. 페놀성 화합물과 Folin−Ciocalteu's phenol reagent가 반응하여 환원력을 가지게 되면 몰리브덴 청색으로 발색되는 원리를 적용하여 정량하였다(Gutiginger, 1981). HSEO (10 mg/mL)는 70% ethanol 용액으로 10배 희석하여 사용하였다. 희석시료(1 mg/mL) 1 mL과 FCR 1 mL을 혼합하고 15 min간 반응시킨 뒤, 10% Na_2CO_3 1 mL을 추가로 첨가하였다. 반응이 끝난 시료 200 μL를 96 well plate에 옮긴 뒤 microplate reader (Synergy HT; Biotek)를 이용하여 740 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 폴리페놀 함량은 표준물질 garlic acid를 사용하여 얻은 검량 곡선(standard curve)을 통해 측정하였다.

4) Total flavonoid content

HSEO 내 플라보노이드 화합물의 총 함량은 Moreno *et al*. (2000)의 방법을 이용하여 측정하였다. 희석시료(1 mg/mL) 1 mL과 10% aluminum ion 1 mL을 혼합하여 15 min 동안 반응시킨 뒤, 반응이 끝난 시료 200 μL을 96 well plate에 옮겨 450 nm파장의 흡광도를 측정하였다. 총 플라보노이드 함량은 표준물질 quercetin을 사용하여 얻은 검량 곡선으로부터 HSEO의 총 플라보노이드 함량을 계산하였다.

3. 세포 생존율 측정 및 광노화 억제 효과 측정

1) CCD−986sk에 대한 세포 독성 측정

본 연구에 사용한 세포주는 CCD−986sk (한국세포주은행, Korea)를 사용하였으며, 세포 배양 배지로는 Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM; GE healthcare, USA)을 fetal bovine serum (FBS; Sigma−Aldrich) 및 100X penicillin−streptomycin solution (Sigma−Aldrich)와 혼합하여 사용하였다. HSEO는 DMEM 용액을 용매로 하여 희석하였고, 최종적으로 세포에는 0−100 ng/mL 농도로 처리하였다. 사전에 배양된 CCD−986sk를 96 well plate에 well 당 5×10^4 cells이 되도록 주입 후 24 h 동안 37℃, 5% CO_2 배양기에서 세포를 배양하였다. 배양이 끝난 후 상층액을 제거한 뒤 각 농도의 HSEO (3.125, 6.25, 12.5, 25, 50, 100 ng/mL)를 세포에 처리하였고, 37℃ 및 5% CO_2 incubator (Celltec CI150S; Celltec, Korea) 조건에서 48 h 동안 추가 배양하였다. 2차 배양된 세포는 PBS (Welgene, Korea)로 세척한 뒤, lysis buffer (Sigma−Aldrich)를 첨가한 후 원심분리(10,000 x g)하였다. 이후 과정에서는 상등액을 제거한 후 MTT solution (Sigma−Aldrich)을 5 mg/mL씩 처리하여 3 h 동안 결정화 시켰다. 각 well에 생성된 결정이 없어지지 않도록 상등액을 제거한 뒤, DMSO (Sigma−Aldrich) 0.1 mL을 처리하여 결정화된 MTT를 다시 용해시켰으며, 540 nm파장에서 흡광도를 통해 결정화된 MTT양을 측정하였다. MTT의 결정 생성은 NADH의 양과 비례하며, 생존한 세포수에 비례한다. 세포 생존율은 다음과 같이 계산하였다.

세포 생존율(%)=(시료 첨가군의 흡광도)/(시료 무첨가군의 흡광도)×100

2) CCD−986sk에 대한 광노화 억제 효과 측정

광노화 억제 효과를 측정하기 위해 연구에 사용된 세포주는 CCD−986sk가 사용되었다. 사전에 배양된 CCD−986sk를 96 well plate에 각 well 당 5×10^4 cells이 되도록 주입한 후, 24 h 동안 37℃, 5% CO_2 배양기에서 세포를 배양하였다. 배양이 끝난 후 상층액을 제거한 후 각 농도의 HSEO (0, 3.125, 6.25, 12.5 ng/mL)를 세포에 처리한 후 48 h 동안 추가 배양하였다. 상층액 100 μL를 96 well plate에 옮긴 후 콜라겐의 양을 microplate reader (SynergyHT; Biotek)를 이용하여 405 nm에서 흡광도를 측정하였다. CCD−986sk가 UVB에 노출되었을 경우 콜라겐 분해 효소를 생산하는 것을 이용하여 HSEO가 광노화 과정에서 미치는 영향을 확인하여 백분율로 표시하였고, 콜라겐 함량은 다음의 식에 따라 산출하였다.

콜라겐 생합성양 (%)=(시료 첨가군의 흡광도)/(시료 무첨가군의 흡광도)×100

4. 통계분석 방법

본 연구는 동일하고 독립적인 조건하에 3회 이상의 반복 실험을 실시하였다. 통계 분석에는 GraphPAD Prism 8.0 (GraphPad Software, USA)이 사용되었으며, 각 실험에 관하여 one−way ANOVA를 실시하였다. 통계적 유의성이 확인된 경우 Tukey's test를 통해 사후 검정하였고, 그룹 간의 유의성은 p−value〈0.05 ($^{*}p$〈0.05, $^{**}p$〈0.01, $^{***}p$〈0.001) 이하일 경우 통계적으로 유의하다고 판정하였다.

Results and Discussion

1. DPPH radical scavenging activity

자유 라디칼(free radical)은 세포 손상을 유발하는 요인으로, 산화적 스트레스를 유발하여 세포의 산화 · 환원 시스템의 불균형을 유도한다. 이는 피부 노화를 유발할 수 있는 주요 원인이 된다. 본 연구에서 HSEO의 항산화 효과를 알아보기 위해 DPPH 라디컬 소거능을 평가를 진행하였고, 양성 대조군인 ascorbic acid와 비교 평가하였다. 그 결과, HSEO는 농도의존적으로 항산화 효과가 증가하는 것

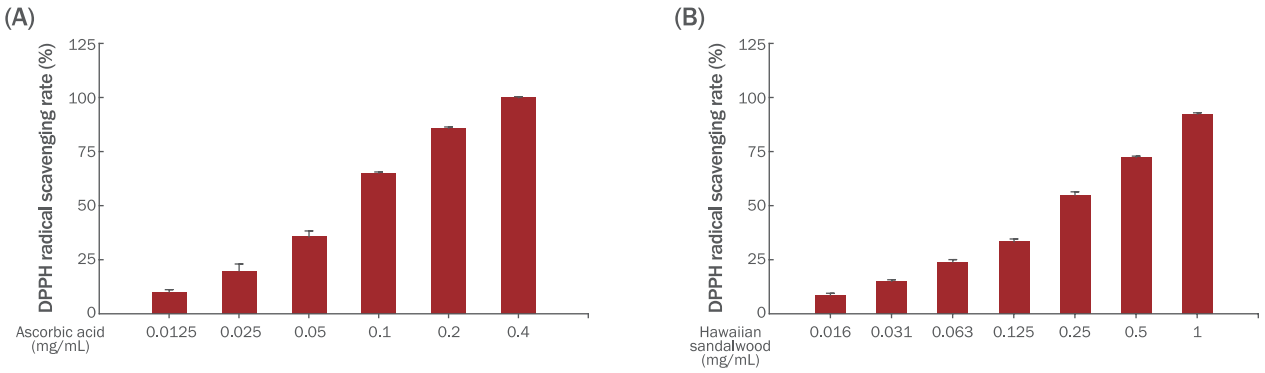

Figure 1. DPPH radical scavenging activity of Hawaiian sandalwood essential oil.
The DPPH radical scavenging activity of Hawaiian sandalwood essential oil (B) was evaluated with ascorbic acid (A), serving as a positive control. Both Hawaiian sandalwood essential oil and ascorbic acid exhibited a concentration-dependent increase in activity. The data are expressed as the mean±standard deviation (SD) from three independent experiments.

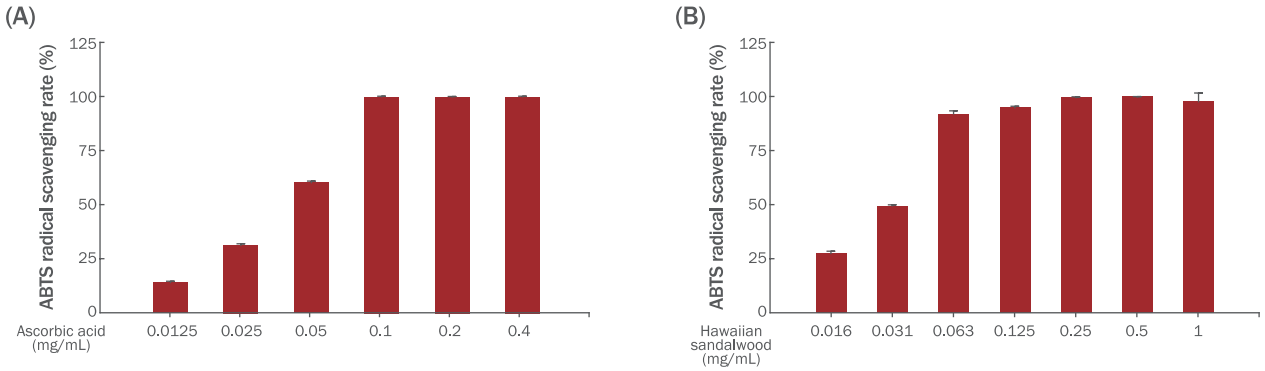

Figure 2. ABTS radical scavenging activity of Hawaiian sandalwood essential oil.
Ascorbic acid (A) was utilized as a positive control. The ABTS radical scavenging assay was conducted to assess the antioxidant effects of Hawaiian sandalwood essential oil (B). Both Hawaiian sandalwood essential oil and ascorbic acid demonstrated a concentration-dependent increase in activity. The data are expressed as mean±SD from three independent experiments.

을 확인하였고 최고 농도인 1 mg/mL의 경우 92.2±0.6%의 radical 소거 활성을 나타냄을 확인하였다(Figure 1B). 그리고 양성 대조군 ascorbic acid는 농도가 0.4 mg/mL일 경우 100%±0.5의 radical 소거 활성을 나타냄으로써(Figure 1A), HESO의 높은 DPPH 소거능을 확인하였다. 그리고 Misra & Dey (2012) 연구에서 샌달우드 에센셜 오일이 100 μg/mL농도에서 98.3%의 DPPH radical소거능이 보고되어 본 연구와 비슷한 결과를 가져왔다.

2. ABTS radical scavenging activity

ABTS 라디컬 소거 활성 측정 방법은 넓은 범위의 pH에서 안정적으로 항산화 효능을 평가할 수 있는 시험법이다. Figure 2에서는 HSEO의 DPPH radical 소거능을 확인하였기 때문에, 이후 실험에서는 양이온 radical인 ABTS의 소거 활성을 확인하여 HSEO의 항산화 능을 추가 검증하고자 하였다. 그 결과, HSEO는 0.031 mg/mL부터 49.5±0.4% 라디컬 소거능 효과가 있는 것을 확인하였으며, 최고 농도인 1 mg/mL에서는 99.8±0.1% 라디컬 소거능 효과가 있음을 확인하였다. 이는 양성 대조군 ascorbic acid의 농도가 0.4 mg/mL일 경우 100%±0.2의 radical 소거 활성을 나타낸 것과 유사한 결과를 나타냈다(Figure 2A). 선행 연구(Jung & Jung, 2022)에서 국내산 식물 3종의 복합 오일의 농도가 1 mg/mL일 때 94.66%의 ABTS 라디컬 소거 활성을 나타냈는데, 이는 본 연구와 비슷한 결과를 나타내서 HSEO의 항산화 활성이 우수함을 다시 한번 확인하였다.

3. 총 폴리페놀 및 플라보노이드 함량 측정 결과

총 폴리페놀 및 총 플라보노이드는 체내의 활성 산소 제거에 중요한 역할을 하고, 활성 산소에 의한 세포 손상 보호 효과로 인해 다양한 질병 유발에 대한 위험도가 감소되는 것으로 밝혀져 있다(Perron & Brumaghim, 2009). HSEO의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함량을 계산하여 Table 1에 나타내었다. HSEO는 총 폴리페놀 1.703±0.050 mg GAE/g, 총 플라보노이드 0.291±0.017 mg QE/g이 함유됨을 확인하였다.

본 연구 결과에서 HSEO의 총 폴리페놀 및 총 플라보노이드 함유

http://dx.doi.org/10.20402/ajbc.2024.0075

Table 1. Quantitative estimation of the total phenolic and total flavonoid contents in Hawaiian Sandalwood essential oil

Sample	Total polyphenol (mg of GAE/g)	Total flavonoid (mg of QE/g)
Hawaiian Sandalwood essential oil	1.703±0.050	0.291±0.017

결과와 더불어 DPPH, ABTS 소거능 활성 결과를 통해 항산화 효능이 있을 것으로 판단된다.

4. HSEO의 항노화 결과

1) CCD-986sk에 대한 세포 독성 측정 결과

HSEO의 항노화효과를 확인하기 위해 CCK-96sk 세포의 세포독성을 측정하였다. 그 결과, 12.5 ng/mL 농도로 처리시 세포 생존율이 88% 이상으로 나타났다(Figure 3). 이에 본 연구에서는 HSEO의 total collagen 함량에 대한 분석은 12.5 ng/mL 이하의 농도 범위에서 진행하였다.

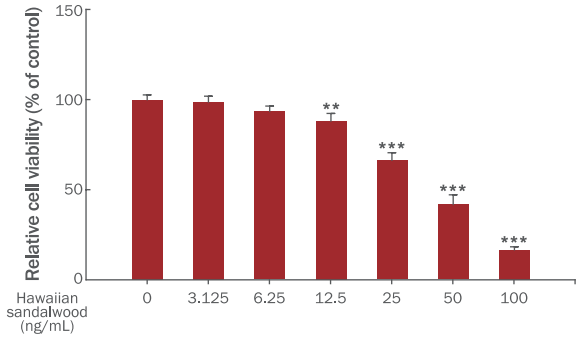

Figure 3. Cell survival rate analysis of Hawaiian sandalwood essential oil on CCD-986sk cells.
CCD-986sk cells were seeded in 96 well plates at a 5×10^4 cells/well density and treated with various HSEO concentrations from 0 to 100 ng/mL for 24 h. Cell viability was evaluated using the MTT assay. The data are presented as mean±SD from three independent experiments. Statistical significance was identified with one-way ANOVA, followed by Tukey's test. $^{**}p<0.01$; $^{***}p<0.001$ compared to the control group.

2) CCD-986sk에 대한 광노화 억제 효과 측정 결과

피부에 자외선이 조사되면 각질형성세포가 과증식하고 주름이 거칠게 생성되며 피부가 늘어지거나 거칠어지는 등의 전형적인 피부의 광노화가 특징적으로 나타나게 된다(Oh *et al.*, 2014). 이에 따라 자외선 조사 전에 피부를 광노화로부터 보호할 수 있는 소재를 찾는 연구가 진행되고 있는데 이러한 연구에서 특히 할 수 있는 것은 광노화 억제 프로세스에서 세포 내의 콜라겐 생성율이 그 기준이 된다는 점이다(Oh *et al.*, 2014; Seo *et al.*, 2020).

본 연구에서는 HSEO의 자외선 노출에 의한 콜라겐 발현량 감소 억제를 평가하기 위해 CCD-986sk세포 내 UVB를 조사하여 콜라겐 발현 감소를 유도한 후, HSEO처리를 통해 UVB에 의한 콜라겐 감소를 개선하는지 여부를 평가하였다. CCD-986sk 세포를 96 well plate에 각 well 당 5.0×10^4 cells이 되도록 접종한 후, UVB (20 mJ/cm^2)와 HSEO를 병용 처리하였다. 그 결과, UVB 단독 처리군에서 감소된 총 콜라겐 함량이 38.42±1.17%로 나타나고, HSEO의 병용 처리에 의해서 회복되는 것을 확인할 수 있었다. 특히 3.125, 6.25, 12.5 ng/mL의 HSEO 처리 시 58.32±2.36%, 77.50±0.60%, 98.77±1.38%로 세포 내 콜라겐 함량이 유의하게 개선됨을 확인하였다($p<0.001$, Figure 4).

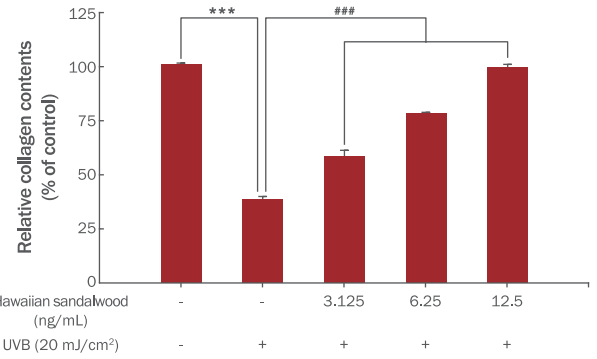

Figure 4. Effect of Hawaiian sandalwood essential oil on total collagen content in UVB-irradiated CCD-986sk cells.
CCD-986sk cells were treated with indicated HSEO concentrations (3.125, 6.25, and 12.5 ng/mL) for 24 h. The total collagen content was assessed after exposure to UVB irradiation at 20 mJ/cm^2. The data are presented as mean±SD from three independent experiments. Statistical significance was identified with one-way ANOVA, followed by Tukey's test. $^{***}p<0.001$ compared to the control group. $^{\#\#\#}p<0.001$ compared to the UVB-irradiated group.

Conclusion

본 연구에서는 HSEO의 화장품 소재로서 기초 자료를 제공하고 나아가 항산화 및 항노화 효과가 있는지를 검증하고, 화장품 소재로서의 활용 가능성을 확인하고자 하였다. HSEO의 항산화 효과를 측정한 결과, HSEO에는 상당량의 폴리페놀 및 플라보노이드 화합물이 함유되었고, 농도 의존적으로 DPPH 및 ABTS radical의 소거 활성을 나타내어 천연 항산화제로써 활용 가능성을 나타내었다. 또한 CCD-986sk 세포 내 HSEO의 항노화 효능 분석 결과, UVB 조사에 의해서 감소된 콜라겐 함량을 HSEO가 농도의존적으로 회복시킴을 나타내었고, 특히 농도가 12.5 ng/mL에서 콜라겐 함량이 98.77±1.38%까지 회복되어 대조군과 유사한 수준으로 광노화가 개선되는 것을 확인할 수 있었다. 이로써, HSEO는 항산화 및 항노화 효과가 뛰어난 기

능성 화장품 원료로서 그 응용 가능성이 증명되었다. 향후, HSEO가 함유된 화장품의 항산화, 항 광노화 및 항 주름 효과를 입증할 수 있는 인체 적용시험에서 그 효능을 추가적으로 검증이 필요할 것으로 사료된다.

Author's contribution

Conceptualization and Methodology, SYS and BL; Software, SYS; Validation, SYS, SMP; Resources and Date curation, SYS, SMP and BL; Writing–original draft preparation, SYS and BL; Writing–review and editing, SYS, SMP and BL; All authors read and agreed to the published version of the manuscript.

Author details

So Young Shin (Graduate Student), Department of Cosmetics Engineering, Graduate School of Konkuk University, 120 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 05029, Korea; Seokmuk Park (Graduate Student), Department of Cosmetics Engineering, Graduate School of Konkuk University, 120 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 05029, Korea; Bo Liu (Graduate Student), Department of Cosmetics Engineering, Graduate School of Konkuk University, 120 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 05029, Korea and (Assistant Professor), Department of Beauty Health, Namseoul University, Cheonan-si, Chungchengnam-do 31020, Korea.

References

Bae MG, Jo AR, Lee CM. A study on aroma essential oil for inner beauty. *Journal of Beauty Industry*, 17: 5-24, 2023.

Banerjee S, Ecavade A, Rao AR. Modulatory influence of sandalwood oil on mouse hepatic glutathione S-transferase activity and acid soluble sulphydryl level. *Cancer Letters*, 68: 105-109, 1993.

Choi IH, Hwang DI, Kim DY, Kim HB, Lee HM. A study on the anti-wrinkle properties of cosmetics containing essential oil from *Chrysanthemum boreale* MAKINO. *Journal of Life Science*, 29: 442-446, 2019.

Devasagayam TP, Tilak JC, Boloor KK, Sane KS, Ghaskadbi SS, Lele RD. Free radicals and antioxidants in human health: current status and future prospects. *The Journal of the Association of Physicians of India*, 52: 794-804, 2004.

Jagetia GC, Baliga MS. The evaluation of nitric oxide scavenging activity of certain indian medicinal plants *in vitro*: a preliminary study. *Journal of Medicinal Food*, 7: 343-348, 2004.

Jorge Limón-Pacheco, María E. Gonsebatt. The role of antioxidants and antioxidant-related enzymes in protective responses to environmentally induced oxidative stress. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 674: 137-147, 2009.

Jung SH, Jung HS. A study on the physiological activity effect as a cosmetic material using 3 kinds of domestic plants and combination oil. *Journal of the Korean Oil Chemists' Society*, 39: 303-313, 2022.

Jung SH. A comparative study on the inhibitory effects of aroma essential oils on nitric oxide. *International Journal of Beauty Cultural Arts*, 2: 32-40, 2013.

Kim JY, Kim BR. Anti-aging and antimicrobial effects of the stems and roots of *Sedum kamtschaticum* in cosmetic production. *Asian Journal of Beauty and Cosmetology*, 21: 371-382, 2023.

Kim MJ, Yang BH, Kim SM. Effect of fragrance of weeds on the behavior of consumers. *Weed and Turfgrass Science*, 7: 98-110, 2018.

Lan Y, Wang Y, Lu H. Opsin 3 is a key regulator of ultraviolet A-induced photoageing in human dermal fibroblast cells. *British Journal of Dermatology*, 182: 1228-1244, 2020.

Lee JS. Effects of sandalwood and rose absolute oils on proliferation and differentiation in normal human epidermal keratinocyte. *Journal of the Korean Society of Cosmetology*, 14: 1503-1509, 2008.

Lee SM. A study of frankincese, fennel, thyme and sandalwood essential oil-induced cytotoxicity in mouse melanoma cells. *The Journal of the Korean Society of Knit Design*, 17: 10-16, 2019.

Merlin MD, Thomson LA, Elevitch CR. *Santalum ellipticum*, *S. Freycinetianum*, *S. haleakalae*, and *S. paniculatum* (Hawaiian sandalwood). In Traditional Trees of the Pacific Islands: Their culture, environment, and use. Craig R (Editor), Permanent Agriculture Resources, pp695-714, 2006.

Misra BB, Dey S. Phytochemical analyses and evaluation of antioxidant efficacy of *in vitro* callus extract of east

http://dx.doi.org/10.20402/ajbc.2024.0075

Indian sandalwood tree (*Santalum album* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 1: 7-16. 2012.

Moon JK, Shibamoto T. Antioxidant assays for plant and food components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57: 1655-1666, 2009.

Nagase H, Visse R, Murphy G. Structure and function of matrix metalloproteinases and TIMPs. *Cardiovascular Research*, 69: 562–573, 2006.

Oh JE, Kim MS, Jeon WK, Seo YK, Kim BC, Hahn JH, Park CS. A nuclear factor kappa B-derived inhibitor tripeptide inhibits UVB-induced photoaging process. *Journal of Dermatological Science*, 76: 196-205, 2014.

Park JS, Jung SH. Effects of sandalwood essential oil on the iNOS expression and proinflammatory cytokine production. *Yakhak Hoeki*, 57: 70-75, 2013.

Perron NR, Brumaghim JL. A review of the antioxidant mechanisms of polyphenol compounds related to iron binding. *Cell Biochemistry and Biophysics*, 53: 75-100, 2009.

Pittayapruek P, Meephansan J, Prapapan O, Komine M, Ohtsuki M. Role of matrix metalloproteinases in photoaging and photocarcinogenesis. *International Journal of Molecular Sciences*, 17: 868, 2016.

Quan T, Qin Z, Xia W, Shao Y, Voorhees J, Fisher GJ. Matrix-degrading metalloproteinases in photoaging. *The Journal of Investigative Dermatology Symposium Proceedings*, 14: 20-24, 2009.

Quan T, Little E, Quan H, Voorhees JJ, Fisher GJ. Elevated matrix metalloproteinases and collagen fragmentation in photodamaged human skin: impact of altered extracellular matrix microenvironment on dermal fibroblast function. *Journal of Investigative Dermatology*, 133: 1362-1366, 2013.

Raut JS, Karuppayil SM. A status review on the medicinal properties of essential oils. *Industrial Crops and Products*, 62: 250-264, 2014.

Scartezzini P, Speroni E. Review on some plants of Indian traditional medicine with antioxidant activity. *Journal of Ethnopharmacology*, 71: 23-43, 2000.

Seo SA, Ngo HTT, Hwang E, Park B, Yi TH. Protective effects of *Carica papaya* leaf against skin photodamage by blocking production of matrix metalloproteinases and collagen degradation in UVB-irradiated normal human dermal fibroblasts. *South African Journal of Botany*, 131: 398-405, 2020.

Seo SJ, Park GE, Jang MJ, Lee YS. Anti-aging effects of *Ailanthi radicis* Cortex extract. *Journal of Investigative Cosmetology*, 14: 179-186, 2018.

Valko M, Leibfritz D, Moncol J, Cronin MTD, Mazur M, Telser J. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. *The International Journal of Biochemistry and Cell Biology*, 39: 44-84, 2007.

Vincenti MP, White LA, Schroen DJ, Benbow U, Brinckerhoff CE. Regulating expression of the gene for matrix metalloprotein nase-1 (collagenase): mechanisms that control enzyme activity, transcription, and mRNA stability. *Critical Reviews in Eukaryotic Gene Expression*, 6: 391-411, 1996.

Wagner WL, Herbst D, Sohmer SH. Manual of flowering plants of Hawaii (Vols. I and II, revised edition). Bishop Museum Press, Honolulu, p1919, 1999.

Yang Y, Lee JA. Antioxidant and anti-inflammatory effect of *Pyracantha Angustifolia* fruit extracts. *Journal of Convergence for Information Technology*, 9: 294-301, 2019.

Yun MY, Chin CH, Jung KC, Bang MJ. The effect of anti-oxidative and anti-inflammatory functional in SanDalWood oil. *Asian Journal of Beauty and Cosmetology*, 7: 267-274, 2009.

국문초록

화장품 소재로서 Hawaiian Sandalwood (*Santalum paniculatum*) Essential Oil의 항산화 및 항노화 효능 분석

신소영[1], 박석묵[1], 유보[1,2*]
[1]건국대학교 화장품공학과, 서울, 한국
[2]남서울대학교 뷰티보건학과, 충청남도 천안시, 한국

목적: 본 연구는 하와이안 샌달우드(*Santalum paniculantum*) 에센셜 오일(HSEO)의 항산화 및 항노화 특성을 평가하고, 상기 결과를 기반으로 기능성 화장품 소재로의 개발 가능성을 탐색하고자 하였다. **방법:** HSEO의 항산화 성분은 총 폴리페놀 함량 및 총 플라보노이드 함량 분석법을 통해 정량화되었다. HSEO의 항산화 효능은 ABTS 및 DPPH radical 소거 활성 시험을 통해 평가되었고, HSEO의 항노화 효과는 UVB가 조사된 CCD-986sk 세포를 이용한 *in vitro* 시험을 통해 수행되었다. **결과:** HSEO는 1.703±0.050 mg GAE/g의 폴리페놀과 0.291±0.017 mg QE/g의 플라보노이드를 포함하고 있는 것으로 확인되었다. 이러한 천연 항산화 성분들로 인해, 1 mg/mL 농도의 HSEO는 92.2±0.6%의 DPPH radical 소거 활성과 99.8±0.1%의 ABTS radical 소거 활성을 나타내는 등 뛰어난 항산화 효능을 보였다. 또한 UVB (20 mJ/cm^2) 조사로 인해 CCD-986sk 세포 내 콜라겐 함량이 38.42±1.17%로 감소하였으나, HSEO를 3.125, 6.25, 12.5 ng/mL 농도로 처리한 경우 각각 58.32±2.36%, 77.50±0.60%, 98.77±1.38%로 콜라겐 함량이 상당히 회복됨을 나타냈다. 이러한 결과는 세포 내 UVB에 의한 콜라겐 감소를 HSEO가 개선시킬 수 있음을 보여준다. **결론:** 따라서 본 연구 결과를 통해 HSEO는 상당한 항산화 및 항노화 효과를 보유하고 있음을 보여주며, 이를 통해 안전하면서도 효과적인 기능성 화장품 원료로의 활용 가능성을 제시한다.

핵심어: 하와이안 샌달우드 에센셜 오일, *Santalum paniculantum*, 항산화, 항노화, 천연 화장품 소재

참고문헌

김민주, 양병화, 김성문. 잡초의 향기가 소비자 행동에 미치는 영향. *Weed and Turfgrass Science*, 7: 98-110, 2018.
김자영, 김보라. 기린초 줄기, 뿌리 분획물의 항노화 및 항균 활성에 때한 화장품 응용 연구. *아시안뷰티화장품학술지*, 21: 371-382, 2023.
박정숙, 정숙희. Sandalwood Essential Oil의 iNOS 발현과 염증성사이토카인의 생성에 미치는 영향. *약학회지*, 57: 70-75, 2013.
배민규, 조애란, 이채미. 이너 뷰티를 위한 아로마 에센셜 오일 고찰 연구. *뷰티산업연구*, 17: 5-24, 2023.
서수정, 박가은, 장민정, 이양숙. 저근백피 추출물의 항노화 활성에 관한 연구. *대한미용학회지*, 14: 179-186, 2018.
양양, 이지안. 적양자 추출물의 항산화 및 항염 효능. *융합정보논문지*, 9: 294-301, 2019.
윤미영, 진정화, 정광조, 방민정. 샌달우드 오일의 항산화 및 항염증에 관한 효과. *아시안뷰티화장품학술지*, 7: 263-274, 2009.
이선미. 향기요법에 적용되는 Frankincese, Fennel, Thyme, Sandalwood Essential oil의 세포 독성에 관한 연구. *패션과 니트*, 17: 10-16, 2019.
이종순. 샌달우드와 로즈 엡솔루트 오일이 피부 각질형성세포의 증식과 분화에 미치는 영향. *한국미용학회지*, 14: 1503-1509, 2008.
정숙희, 정희숙. 국내산 식물 3종과 조합 오일의 화장품 소재로서의 생리활성 효과 연구. *한국응용과학기술학회지*, 39: 303-313, 2022.

http://dx.doi.org/10.20402/ajbc.2024.0075

최인호, 황대일, 김도윤, 김하빈, 이환명. 산국 에센셜오일을 함유한 화장품의 주름개선 임상효능에 관한 연구. *생명과학회지*, 29: 442-446, 2019.

中文摘要

夏威夷檀香精油作为化妆品成分的抗氧化和抗衰老效果评价

申昭英[1]，朴碩默[1]，刘博[1,2*]
[1]建国大学化妆品工学科，首尔，韩国
[2]南首尔大学美容保健学科，忠清南道天安市，韩国

目的： 本研究旨在评估夏威夷檀香精油(HSEO)的抗氧化和抗衰老特性，以探讨其作为功能性化妆品成分的潜力。**方法：** 通过总酚含量和总黄酮含量测定对 HSEO 的抗氧化成分进行定量。通过2,2'-连氮基-双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸(ABTS)和1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)自由基清除测定进一步评估其抗氧化功效。体外实验是对CCD-986sk细胞进行研究，重点关注其抑制胶原蛋白降解的能力，以评估其抗衰老效果。**结果：** HSEO含有1.703±0.050 mg GAE/g多酚和0.291±0.017 mg QE/g类黄酮。这些丰富的天然抗氧化化合物赋予HSEO显着的自由基清除活性，其在1 mg/mL浓度下的DPPH为 2.2%±0.6%和ABTS自由基清除活性为99.8%±0.1%。此外，紫外线 B (20 mJ/cm^2) 照射将 CCD-986sk细胞中的胶原蛋白水平降低至38.42%±1.17%。然而，3.125、6.25和12.5 ng/mL浓度的HSEO共同处理使胶原蛋白水平分别恢复至58.32%±2.36%、77.50%±0.60%和98.77%±1.38%，显示出其显着的抗衰老潜力。**结论：** 这些结果表明，HSEO具有显着的抗氧化和抗衰老特性，支持其作为有效功能性化妆品成分的潜力。

关键词： 夏威夷檀香精油，檀香，抗氧化，抗衰老，天然化妆品原料

http://dx.doi.org/10.20402/ajbc.2024.0075