ISSN 2466-2046 (Print)
ISSN 2466-2054 (Online)
Asian J Beauty Cosmetol 2026; 24(2): 175-183
http://dx.doi.org/10.20402/ajbc.2025.0107

RESEARCH ARTICLE Open Access

Evaluation of *Eclipta prostrata*-derived Exosome as Functional Cosmetic Ingredients with Anti-inflammatory and Moisturizing Activities

Jung-Wook Kang
College of Fusion and Convergence, Seowon University, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, Korea

Corresponding author: Jung Wook Kang, College of Fusion and Convergence, Seowon University, 377-3, Musimseo-ro, Seowon-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do 28674, Korea.
Tel.: +82 43 299 8519
Fax: +82 43 299 8682
Email: jwkkang@gmail.com

Received November 7, 2025
Revised February 25, 2026
Accepted April 20, 2026
Published June 30, 2026

Abstract

Purpose: Plant-derived exosomes are promising bioactive mediators of intercellular communication. This study aimed to isolate and characterize exosomes derived from *Eclipta prostrata* and evaluate their potential anti-inflammatory and moisturizing effects on the skin. **Methods:** *E. prostrata* exosomes were isolated using the ExoQuick system and characterized through nanoparticle tracking analysis and an antibody array. Their biological activities were evaluated. **Results:** *E. prostrata*-derived exosomes had an average diameter of 107±5.4 nm and a concentration of 1.82×10^{11} particles/mL. Treatment with *E. prostrata*-derived exosomes significantly inhibited nitric oxide production and downregulated COX-2 protein expression in LPS-stimulated RAW 264.7 cells. In keratinocytes, there was a concentration-dependent increase in hyaluronic acid production compared to the positive control, indicating enhanced skin hydration potential. **Conclusion:** These results suggest that *E. prostrata*-derived exosomes possess physiological activities and could serve as promising natural functional ingredients for cosmeceutical applications.

Keywords: *Eclipta prostrata*, Exosome, Inflammation, Hyaluronic acid, Cosmetics

Introduction

소비자들은 화장품 산업은 인간의 욕구를 충족시켜 주는 소비제품으로 피부에 안전하고 유용한 성분으로 제조된 화장품을 점점 선호하고 있다. 코스메슈티컬 제품의 등장은 고기능을 가진 소재를 통해 피부 내 미백개선, 노화방지, 보습, 염증완화 등의 효과를 보여주며 고기능성을 강조하고 있다(An *et al*., 2023). 고기능을 가진 소재의 니즈가 증가하면서 화장품과 의약품의 경계가 불분명해지고 생체분자라고 하는 비타민, 펩타이드, 줄기세포 유래 물질, 엑소좀 등의 물질의 연구가 지속적으로 확장되고 있다.

엑소좀은 나노 사이즈의 베지클(nanovesicles)로 다양한 유전적 정보를 포함하는 30–200 나노미터의 크기를 가진 세포외 소포체를 말한다(Thakur *et al*., 2023). 지질 이중층 구조를 가진 엑소좀은 DNA, RNA, 지질, 대사산물, 세포질 및 세포 표면 단백질 등 다양한 세포 구성 요소를 포함한다(Nemati *et al*., 2022). 다양한 세포에서 분비되어 혈류에 따라 순환되는 엑소좀은 세포막이 세포 내 소포(intraluminal vesicles)를 포함한 다중 소포 엔도좀(multi–vesicular endosomes)의 안쪽으로 함몰되는 형태로 형성되며 엔도좀 라이소좀(endosomal lysosomal) 경로를 통해 세포 밖으로 분비되어 생성된다(Van Niel *et al*., 2018). 엑소좀은 세포 간 신호전달, 조직 손상 회복, 면역 반응 조절 등 다양한 생물학적 과정에서 관여하며 생체 분자를 통해 정보 전달 기능을 담당한다(Zhang *et al*., 2022; Thakur *et al*., 2022). 엑소좀의 생리활성 특성은 세포에서 불필요한 성분을 제거하여 항상성을 유지하는데 기초로 한다(Gurung *et al*., 2021). 최근 연구에 따르면 세포 간 신호전달에 중요한 역할을 하며 면역 반응과 암발병 등의 생물학적 반응의 조절에 관여한다고 보고되었다(Kalluri & Lebleu, 2020; Tai *et al*., 2018). 더욱이 엑소좀의 스킨케어의 유효성 소재로 가능성을 확인하는 연구가 보고되고 있다. 대식세포 유래 엑소좀은 염증

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.

성 사이토카인과 효소 분비를 억제시켜 상처치유 효능이 보고되었다(Li *et al*., 2019). 블루베리에서 분리한 엑소좀은 피부 세포의 독성과 활성산소를 억제하여 염증 완화 효과를 나타냈다(De Robertis *et al*., 2020). 세포 전달 물질인 엑소좀은 각질세포, 섬유아세포, 면역세포 등 다양한 피부 세포 사이를 이동하여 피부 장벽 개선 노화 방지, 피부 재생 등에 관여하는 것으로 보고되고 있다(Xiong *et al*., 2021). 선행 연구에서 티트리에서 분리한 엑소좀에서 염증인자인 *TNF-α*, *IL-1* 및 *COX-2* 등의 유전자 발현 감소를 통해 항염 활성을 가진 것으로 보고되었다(Ryu & Bae, 2024). 특히 인삼 등의 식물의 추출물과 엑소좀 추출을 비교를 통해 기존 추출물보다 피부장벽 및 보습에 관여하는 *VIM*, *KRT1* 및 *ELOVL3* 유전자와 염증과 재생에 관여하는 *FGF12*, *HS3ST3A1* 및 *LOX* 등의 2차 대사산물의 유전자 발현 차이를 통해 엑소좀이 기존 추출물과 다른 특성을 나타냄을 확인하였다(Cho *et al*., 2022). 이는 기존 추출물과 다른 효능을 가진 엑소좀이 코스메슈티컬에 기능성 소재로 잠재적 활용가능성에 대한 가능성을 확인하였다.

한련초(*Eclipta prostrata*)는 쌍떡잎식물인 초롱꽃목 국화과에 속하는 한해살이풀로 주로 제주도와 경기도에 서식하는 것으로 보고되고 있다. 한련초는 전통적으로 음을 보양하는 약초로 현기증, 이명 및 출혈 등과 같은 상태를 완화하는데 사용되었다. 한련초는 phenolics, flavonoids, saponins, alkaloids, lipids 등의 화합물을 포함하고 있다고 보고되고 있으며 특히 flavonoid 중 3′-O-methylorobol과 apigenin 7-sulfate 물질은 항산화 및 항암 효과에 우수한 효능을 검증하였다(Yang *et al*., 2023). 뿐만 아니라 초음파 추출법을 활용한 한련초 추출물이 기존 에탄올 추출 공정보다 피부세포에서 prostaglandin E2 생성 감소가 증가한 결과를 통해 다양한 추출법 적용을 통해 생리활성을 검증하고 있는 것으로 확인되었다(Feng *et al*., 2019). 하지만 한련초를 이용하여 식물 유래 엑소좀을 추출하여 생리활성을 확인한 연구는 아직 보고되지 않았다. 본 연구는 한련초를 이용하여 식물 유래 엑소좀을 확인하고 이를 활용하여 피부 세포에 유효성을 검증하여 화장품 소재로 가능성을 확인하고자 한다.

Methods

1. 한련초 유래 엑소좀 추출 및 특성 평가

본 연구에서 사용한 한련초는 ㈜두래 제주바이오센터에서 공급받아 실험을 진행하였다. 엑소좀을 추출하기 위해 Huang *et al*. (2021)의 방법을 변형하여 추출하였다. 한련초를 시료의 10배의 양의 PBS를 가하여 균질기로 파쇄를 수행 후 원심분리기를 이용하여 1,000 g에서 10 min 고액 분리하였다. 세포 파쇄 후 수득한 상층액을 원심분리기를 이용하여 10,000 g에서 1 h 동안 2차 분리하였다. 수득된 상층액을 ExoQuick system (ExoQuick-TCTM, System Biosciences Inc., USA)을 활용하여 엑소좀 추출을 진행하였다. 상층액과 ExoQuick을 5:1 비율로 혼합하여 4℃에서 18 h 이상 침지시킨 뒤 배양된 한련초 엑소좀을 1,500 g, 4℃에서 20 min 동안 원심분리하였다. 엑소좀 펠렛을 PBS과 재부유 후 본 연구의 시료로 사용하였다. 한련초 엑소좀의 분리와 특성을 확인하기 위해 nanoparticle tracking analysis (NTA, NanoSight NS300; Malvern panalytical, UK)를 분석을 진행하였다.

2. Exosome antibody array

한련초 유래 엑소좀의 바이오마커를 확인하고자 Exo-Check™ exosome antibody array (System Bioscience Inc., USA)를 사용하여 검증하였다. 8개의 양성 마커, 음성 마커, 양성대조군, blank로 구성되어 있으며 실험방법은 제조사의 protocol에 따라 진행하였다. 구체적으로 PBS에 현탁 후 한련초 유래 엑소좀을 라벨링 된 시약과 혼합하였다. Membrane에 표지된 엑소좀 용해물과 blocking buffer를 overnight 하였다. 다음날 membrane에 WesternBright Sirius HRP substrate (Advansta, USA)를 이용하여 밴드를 확인하였다.

3. 세포 배양

인체각질형성세포인 HaCaT cells과 대식세포인 RAW 264.7세포는 ATCC (Manassas, USA)에서 분양 받아 실험에 사용하였다. 세포를 배양하기 위해 100 U/mL penicillin/streptomycin (Thermo Scientific, USA)과 fetal bovine serum (FBS) (Thermo Scientific)를 함유하는 Dullbecco's Modified Eagle's Medium (DMEM) (Thermo Scientific)배지에 넣고 배양기에서 배양을 통해 실험을 진행하였다.

4. 세포 생존율 측정

각질형성세포와 대식세포에 대한 세포 생존율을 측정하기 위해 각각의 세포를 96 well plate에 1×10^4 cells/well씩 각각 분주하여 배양기에서 24 h 배양 후 plate에 부착하였다. 다음날 배양액을 제거하고 한련초 유래 엑소좀을 농도별로 처리한 배지로 추가 배양을 하였다. 다음날 배양 후 2.5 mg/mL 3-[4,5-dimethylthiazol-2-yl]-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT; Sigma Chemical Co., USA)시약을 이용하여 세포 독성을 측정하였다. 세포 생존율은 흡광도 측정기기를 이용하여 540 nm의 흡광도를 측정하여 판정하였다.

5. Nitric oxide (NO) 저해 활성

대식세포를 이용하여 Green *et al*. (1982)의 방법을 변형하여 수행하였다. 6-well plate에 세포를 3×10^5 cells/well씩 분주한 후 24 h 배양하였다. 자극제인 lipopolysaccharide (10 μg/mL, LPS) 농도로 처리 후 2 h 뒤 한련초 엑소좀을 농도별로 추가하여 배양하였다. 다음날 세포 배양액과 griess reagent (Sigma Chemical Co.)를 반응시켜 540 nm에서 흡광도 측정을 통해 NO 생성능을 관찰하였다.

6. iNOS 및 COX-2 단백질 발현량 확인

염증 관련 유전자인 iNOS와 COX-2의 단백질 발현 변화를 확인

http://dx.doi.org/10.20402/ajbc.2025.0107

하기 위해 RAW 264.7 세포를 2×10^6 cells/well로 처리 후 24 h 동안 배양하였다. 배지를 제거하여 LPS (10 μg/mL)로 전처리 후 한련초 유래 엑소좀을 농도별로 더한 후 24 h 동안 배양하였다. 배양 후 PBS를 이용하여 세척한 후 배양된 세포에 lysis버퍼를 통해 세포를 파괴하여 추출 후 원심분리기를 이용하여 20 min 분리하였다. 상층액은 단백질을 정량 후 SDS-PAGE겔을 이용하여 분리하였다. Polyvinylidene fluoride (PVDF) membrane을 이용하여 transfer후 skim milk를 이용하여 blocking을 1 h 동안 교반 하였다. 일차 항체는 염증 유전자 iNOS (1:1,000, Cell signaling Technology, USA)와 COX-2 (1:1000, Cell signaling Technology, USA), housekeeping gene인 β-actin (1:1000, Santa Cruz Biotechnology, Inc., USA)을 추가하여 24 h 배양한 후 TBST로 세척하였다. 이 후 iNOS의 이차 항체는 anti-rabbit (1:3000, Cell signaling Technology, USA), *COX-2*와 β-actin의 이차 항체인 anti-mouse (1:2500, Santa Cruz Biotechnology, Inc., USA)를 사용하여 배양 후 세척한 후 기기를 통해 최종적으로 밴드를 확인하였다.

7. 피부 보습인자 hyaluronic acid (HA) 생성 변화

각질형성세포를 1.5×10^4 cells/well을 plate에 분주한 후 24 h 동안 배양하였다. 24 h 배양 후 한련초 유래 엑소좀을 농도별로 처리하여 배양 후 HA Elisa kit (R&D system, USA)를 이용하여 제조사의 프로토콜에 따라 실험 후 450 nm에서 흡광도를 측정하여 HA양을 측정하였다. 최종 HA의 양은 단백질 당 HA의 양으로 변환하여 음성대조군과 확인하였다.

8. 통계분석

모든 실험 결과는 독립적으로 3회 반복 실시 후 결과 데이터를 분석하였으며, 각 항목의 평균±표준편차를 표기하였다. 유의성 평가를 위해 IBM SPSS Statistics (23, IBM Corp., USA)을 사용하여 통계적 유의성을 평가하였으며 $^*p<0.05$로 표현하였다.

Results and Discussion

1. 한련초 엑소좀 분석

엑소좀을 분리하는 방법은 전통적으로 초원심분리법이 가장 널리 사용되는 방법이며 고분자 기반 침전 방법을 응용한 ExoQuick 통해 고분자 네트워크를 형성하여 고순도의 엑소좀 분리가 가능하다는 보고되고 있다(Peterson *et al.*, 2015). 본 연구에서는 ExoQuick 이용하여 한련초에서 엑소좀을 분리하였으며 나노 입자 추적 분석하였다. 그 결과 한련초 유래 엑소좀의 평균 직경은 107±5.4 nm 이며 30-150 nm 범위내의 크기임을 확인하였으며 농도는 1.82×10^{11} particles/mL을 관찰하였다(Figure 1A). 천연물 고수를 이용한 엑소좀 분리 연구에서 약 152.3 nm의 크기를 보고하였으며, 우유를 이용한 엑소좀 분리도 약 156.2 nm 크기를 보고한 연구 결과와 유사한 결과를 확인하였다(Park *et al.*, 2024; Kwon *et al.*, 2022). 엑소좀 마커로 알려진 CD63, CD81, programmed cell death 6 interacting protein (ALIX), flotillin-1 (FLOT1), intercellular adhesion molecule (ICAM1), epithelial cell adhesion molecule (EpCam), Annexin A5 (ANXA5) 및 tumor susceptibility gene101 (TSG101)의 양성 발현 확인하였으며 cis-Golgi matrix protein (GM130)은 음성발현을 확인하였다(Figure 1B). 엑소좀은 막 결합 운반체로 단백질, 핵산, 대사산물을 포함하고 있으며 세포질에 존재하는 tetraspanin계열(CD9, CD63 및CD81), endosomal sorting complex required for transport (ESCRT) 및 TSG101 등의 단백질들이 주요 구성성분으로 보고되었다(Gurung *et al.*, 2021). 특히 식물 유래 엑소좀 내부에 존재하는 생체활성 인자의 활성이 피부 미용에 도움을 준다고 알려져 있다(Karamanidou & Tsouknidas, 2022). 이에 한련

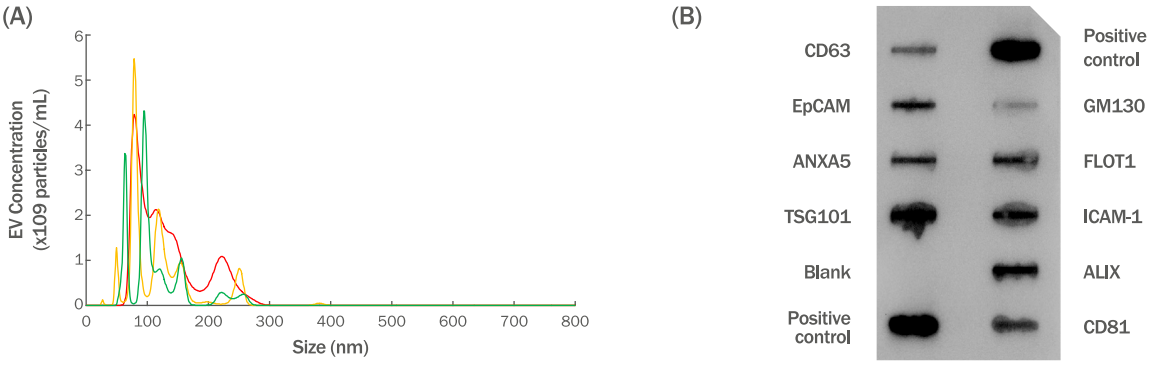

Figure 1. Characterization of the *Eclipta prostrata*-derived exosome.
(A) Particle size of isolated *E. prostrata* exosomes. (B) Exosome antibody array with 8 positive markers (CD63, EpCAM; ANXA5, TSG101, FLOT1, ICAM-1, ALIX, and CD81 and four controls including GM130 as a negative marker, 2 positive controls, and a blank control (blank). EpCAM, epithelial cell adhesion molecule; ANXA5, annexin A5; TSG101, tumor susceptibility gene 101; FLOT1, flotillin-1; ICAM-1, intercellular adhesion molecule-1; ALIX, programmed cell death 6 interacting protein; GM130, cis-Golgi matrix protein.

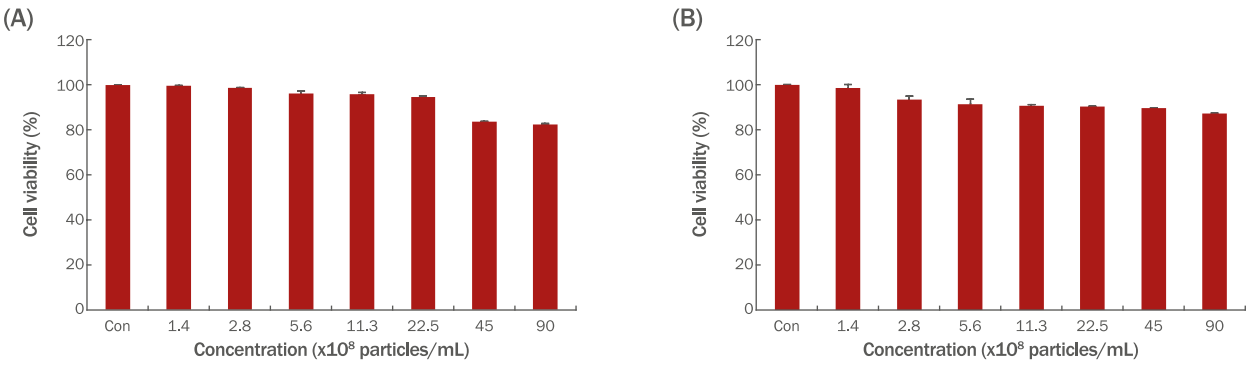

Figure 2. Effect of *Eclipta prostrata*-derived exosome on cell toxicity.
(A) RAW 264.7 and (B) HaCaT cells were treated with samples. Cytotoxicity was measured using the MTT assay. Bars represent mean±SD; statistical significance is indicated.

초 유래 엑소좀을 이용하여 피부유래세포의 생리활성을 조사하였다.

2. 세포 독성능 평가

한련초 유래 엑소좀의 생리활성을 확인하고자 각질형성세포와 대식세포의 세포 독성능력을 확인하였다. *Murine leukemia*에서 유래한 RAW 264.7세포의 세포독성을 확인한 결과 2.25×10^9 particles/mL이하의 농도 처리 시 세포 활성이 90% 이상 나타난 것을 확인하였다(Figure 2A). Human keratinocyte에서 유래한 HaCaT 세포의 세포독성을 확인한 결과, 4.5×10^9 particles/mL이하의 농도에서도 10%이하의 세포독성을 관찰하였다(Figure 2B). 피부유래 세포 2종에서 세포독성이 없는 농도를 확인하였으며 각각의 세포활성에 영향을 미치지 않는 3개 농도를 선택하여 유효성 평가를 진행하였다.

3. NO 생성 억제 활성 평가

염증반응은 다양한 면역 세포에 의해 조절되며 그 중 대식세포의 활성 증가는 면역과 염증유발 및 증대에 중요한 역할을 한다(Guo *et al.*, 2022). 염증 유도 물질인 LPS를 이용하여 대식세포의 활성을 증가시킨 후 한련초 유래 엑소좀을 처리하여 nitric oxide (NO)발현의 변화를 관찰하였다. 그 결과, 한련초 유래 엑소좀 $0.56-2.25\times10^9$ particles/mL에서 유의적으로 NO 생성을 억제하는 것을 확인하였다(Figure 3). 특히 2.25×10^9 particles/mL 농도에서 최대 31.6% 활성 억제능이 나타나 피부 염증 소재로 가치가 있는 것으로 확인되었다. 엑소좀의 나노운반체 역할을 통해 세포 간 소통을 통해 염증 및 면역조절에 중요한 역할을 한다고 보고되었다(Chan *et al.*, 2019). 염증 관련 역할에 대한 연구가 진행되고 있는 엑소좀 유래 효능은 염증 과정을 매개하는 방식을 규명하기 위한 지속적인 연구가 필요하다.

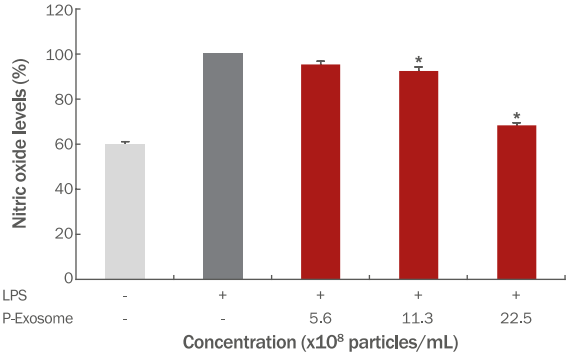

Figure 3. Effect of *Eclipta prostrata*-derived exosome on nitric oxide levels in LPS-stimulated RAW 264.7 cells.
Cells were treated with LPS (10 μg/mL) for 2 h and added to various P-Exosomes. Results are presented as mean±SD from 3 experiments. $^*p<0.05$ compared to LPS only. LPS, lipopolysaccharide; P-Exosome, *Eclipta prostrata*-derived exosome.

4. iNOS 및 COX-2 저해 활성 평가

사이토카인 등을 통한 네트워크가 염증을 유발 또는 억제하는 매개체 역할을 한다고 알려져 있으며 엑소좀과 광범위하게 연관되어 있는것으로 보고되었다(Chan *et al.*, 2019). 이전 연구에서는 iNOS, COX-2 등의 염증 유발 사이토카인과 엑소좀과의 연관성을 보고하였다(Piszczatowska *et al.*, 2021). 한련초 유래 엑소좀을 세포 독성이 없는 농도로 처리하여 iNOS 및 COX-2의 발현을 western blotting으로 확인한 결과, iNOS의 발현은 크게 변화가 없는 것으로 확인되었으나, COX-2 유전자 발현이 농도 의존적으로 유의미하게 감소된 것을 확인하였다(Figure 4). iNOS의 발현은 세포 내 Ca^{2+} 농도와 관계없이 산화적 스트레스 등에 따라 유리된 다양한 cytokine에 의해 유도된다(Chang *et al.*, 2018). COX-2는 prostaglandin생성을 유도하는 효소로 작용하며 염증 발생의 원인으로 알려져 있는 효소로 LPS에 의해 증가된 염증반응에 의해 COX-2 등의 활성에 관여하고 NO 생성을 통해 조직 손상이 나타난다고 보고되었다(Finetti *et al.*, 2020). Hinz 등의 보고에 의해 세포 내 PGE2 및 cAMP 등의 발현 변화가 COX-2의 발현을 유도하거나 기저 수준으로 유도가 가능하다(Hinz *et al.*, 2000). 또한 NO 생성을 통한 염증 및 세포 손상 유발은 iNOS 및 COX-2 발현뿐만 아니라 NOS의 cAMP response

http://dx.doi.org/10.20402/ajbc.2025.0107

element (CRE), mitogen-activated protein kinase (MAPK), NOS 유도체(nNOS, eNOS) 등의 다양한 조절인자들의 가교 역할을 통한 복합적인 발현 변화가 나타난다(Farahani *et al.*, 2025). 본 연구에서 한련초 유래 엑소좀의 iNOS 발현 변화가 없더라도 COX-2 등의 다른 조절인자의 발현을 변화를 통해 NO 생성에 영향을 미쳤을 것으로 예측된다. 결국 한련초 유래 엑소좀의 COX-2발현 억제를 통해 항염 효능을 확인하였으며 NO 생성 억제 효능과 연관되는 다른 cytockine 등의 염증 인자들의 변화를 관찰하여 구체적인 경로를 통해 항염증 효과에 대한 연구에 지속성이 필요할 것으로 사료된다.

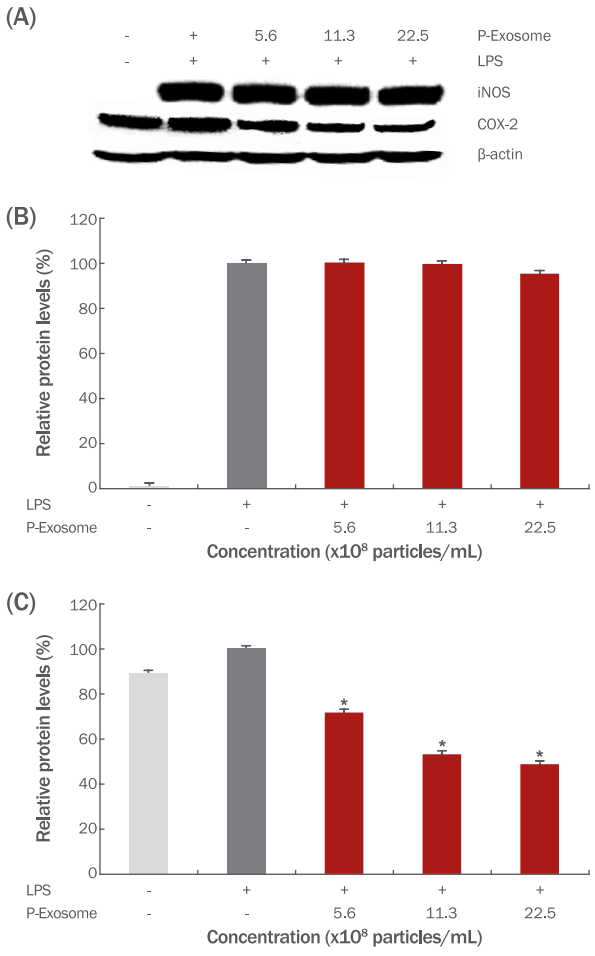

Figure 4. Effect of *Eclipta prostrata*-derived exosome on iNOS and COX-2 expression in LPS-stimulated RAW 264.7 cells.
Representative western blots (A) and relative densitometric quantification of (B) iNOS and (C) COX-2 protein expression measured by western blotting. Results are presented as mean±SD from 3 experiments. $^{*}p<0.05$ compared to LPS only. LPS, lipopolysaccharide; P-Exosome, *Eclipta prostrata*-derived exosome.

5. HA 생성량 평가

피부장벽은 지질과 수분으로 구성되어 있으며 피부 장벽 기능 유지

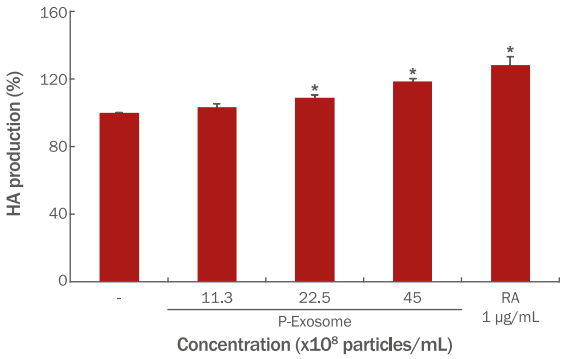

Figure 5. Effects of *Eclipta prostrata*-derived exosome on HA production.
Cells were treated with P-Exosome and retinoic acid (1 μg/mL, positive control). Results are presented as mean±SD from 3 experiments. $^{*}p<0.05$ compared to the control group. RA, retinoic acid.

하기 위해서 수분 함량과 밀접한 관련이 있다. 진피와 표피의 핵심 수분 공급 분자인 HA는 수분 손실로 인해 감소하여 피부 노화에 영향을 미친다. 이에 따라 한련초 유래 엑소좀을 각질형성세포에서 HA의 활성 변화를 확인한 결과, 농도가 증가할수록 HA 생성량이 증가한 것을 확인하였다(Figure 5). 양성 대조군으로 사용한 retinoic acid 1 μg/mL의 발현량과 유사한 발현을 확인하였으며 한련초 유래 엑소좀은 보습 인자인 HA 발현을 증가시키는 것으로 확인되었다.

Conclusion

본 연구는 한련초를 이용하여 엑소좀을 분리 후 특성을 확인하고 이를 활용하여 피부 유래 세포에서 생리활성을 규명하여 화장품 소재로 가능성을 확인하였다. 한련초 유래 엑소좀을 나노 입자 추적 분석하였을 때 평균 크기는 107±5.4 nm이며 농도는 1.82×10^{11} particles/mL로 확인되어 고순도의 엑소좀 분리를 확인하였다. 한련초 유래 엑소좀의 피부유래 세포의 생존율이 90% 이상의 세포생존율이 나타난 농도를 선정하여 항염증 효능을 확인하고자 NO 생성에 미치는 영향을 확인한 결과 농도의존적으로 유의하게 NO 생성을 억제하는 것을 확인하였다. 또한, iNOS 및 COX-2 등의 단백질 발현 변화를 관찰한 결과 LPS에 의해 증가된 COX-2의 발현을 농도 의존적으로 감소하였다. 각질형성세포에 피부 보습에 관여하는지 HA 발현변화를 확인한 결과, 한련초 유래 엑소좀은 농도가 증가할수록 HA 생성을 증가시키는 것으로 확인되었다. 결국, 한련초 유래 엑소좀은 피부유래 세포를 통해 항염증 및 보습 활성에 관여하는 것으로 확인되었다. 더나아가 실제 화장품에 적용하기 위해 추출 공정의 최적화를 통해 인체 피부에 유효성을 반영시킬 수 있는 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Author's contribution

JWK: Methodology, Formal analysis, Conceptualization, Validation, Funding Acquisition. Conceptualization, Methodology, Supervision, Validation, Writing– Original Draft, Writing– Review & Editing, Funding Acquisition, Project administration. All authors read and confirmed the final version of the manuscript.

Author details

Jung Wook Kang (Professor), College of Fusion and Convergence, Seowon University, 377–3 Musimseoro, Seowon–gu, Cheongju, Chungbuk, 28674, Korea.

References

An SY, Park JS, Chung YM. Current applications of biomolecules as cosmetics ingredients. *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 24: 21-31, 2023.

Chan BD, Wong WY, Lee MML, Cho WCS, Yee BK, Kwan YW, Tai WCS. Exosomes in inflammation and inflammatory disease. *Proteomics*, 19: 1800149, 2019.

Chang SJ, Jeon NB, Park JW, Jang TW, Jeong JB, Park JH. Antioxidant activities and anti-inflammatory effects of fresh and air-dried *Abeliophyllum distichum* Nakai leaves. *Food Science and Preservation*, 25: 27-35, 2018.

Cho JH, Hong YD, Kim D, Park SJ, Kim JS, Kim HM, Yoon EJ, Cho JS. Confirmation of plant-derived exosomes as bioactive substances for skin application through comparative analysis of keratinocyte transcriptome. *Applied Biological Chemistry*, 65: 8, 2022.

De Robertis M, Sarra A, D'Oria V, Mura F, Bordi F, Postorino P, Fratantonio D. Blueberry-derived exosome-like nanoparticles counter the response to TNF-induced change on gene expression in EA.hy926 cells. *Biomolecules*, 10: 742, 2020.

Farahani A, Farahani A, Kashfi K, Ghasemi A. Inducible nitric oxide synthase (iNOS): more than an inducible enzyme? Rethinking the classification of NOS isoforms. *Pharmacological Research*, 216: 107781, 2025.

Feng L, Zhai YY, Xu J, Yao WF, Cao YD, Cheng FF, Bao BH, Zhang L. A review on traditional uses, phytochemistry and pharmacology of *Eclipta prostrata* (L.) L. *Journal of Ethnopharmacology*, 245: 112109, 2019.

Finetti F, Travelli C, Ercoli J, Colombo G, Buoso E, Trabalzini L. Prostaglandin E2 and cancer: insight into tumor progression and immunity. *Biology*, 9: 434, 2020.

Green LC, Wagner DA, Glogowski J, Skipper PL, Wishnok JS, Tannenbaum SR. Analysis of nitrate, nitrite, and [15N] nitrate in biological fluids. *Analytical Biochemistry*, 126: 131-138, 1982.

Guo Z, Wang L, Liu H, Xie Y. Innate immune memory in monocytes and macrophages: the potential therapeutic strategies for atherosclerosis. *Cells*, 11: 4072, 2022.

Gurung S, Perocheau D, Touramanidou L, Baruteau J. The exosome journey: from biogenesis to uptake and intracellular signaling. *Cell Communication and Signaling*, 19: 47, 2021.

Hinz B, Brune K, Pahl A. Cyclooxygenase-2 expression in lipopolysaccharide-stimulated human monocytes is modulated by cyclic AMP, prostaglandin E2, and nonsteroidal anti-inflammatory drugs. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 278: 790-796, 2000.

Huang Y, Wang S, Cai Q, Jin H. Effective methods for isolation and purification of extracellular vesicles from plants. *Journal of Integrative Plant Biology*, 63: 2020-2030, 2021.

Kalluri R, LeBleu VS. The biology, function, and biomedical applications of exosomes. *Science*, 367: eaau6977, 2020.

Karamanidou T, Tsouknidas A. Plant-derived extracellular vesicles as therapeutic nanocarriers. *International Journal of Molecular Sciences*, 23: 191, 2022.

Kwon JH, Seo HJ, Kwun IS, Baek MC, Cho YE. Effects of cow milk-derived extracellular vesicles on the differentiation and mineralization of osteoblastic MC3T3-E1 cells. *Journal of the Korean society of Food Science and Nutrition*, 51: 1158-1165, 2022.

Nemati M, Singh B, Ahmad Mir R, Nemati M, Babaei A, Ahmadi M, Rasmi Y, Golezani AG, Rezaie J. Plant-derived extracellular vesicles: a novel nanomedicine approach with advantages and challenges. *Cell Communication and Signaling*, 20: 69, 2022.

Li M, Wang T, Tian H, Wei G, Zhao L, Shi Y. Macrophage-derived exosomes accelerate wound healing through their anti-inflammation effects in a diabetic rat model. *Artificial Cells*

http://dx.doi.org/10.20402/ajbc.2025.0107

Nanomedicine and Biotechnology, 47: 3793-3803, 2019.

Park HY, Lee SY, Kang MH, Park JE, Kim JW. Melanin synthesis gene inhibition effect through inhibition of tyrosinase and TRPs expression of *Coriandrum sativum*-derived exosome. *Asian Journal of Beauty and Cosmetology*, 22: 393-402, 2024.

Peterson MF, Otoc N, Sethi JK, Gupta A, Antes T. Integrated systems for exosome investigation. *Methods*, 87: 31-45, 2015.

Piszczatowska K, Czerwaty K, Cyran AM, Fiedler M, Ludwig N, Brzost J, Szczepański MJ. The emerging role of small extracellular vesicles in inflammatory airway diseases. *Diagnostics*, 11: 222, 2021.

Ryu JH, Bae SH. Improvement of inflammatory reaction control, through signal transmission control of tea tree-derived exosomes. *Journal of Beauty Art Management*, 18: 89-102, 2024.

Tai YL, Chen KC, Hsieh JT, Shen TL. Exosomes in cancer development and clinical applications. *Cancer Science*, 109: 2364-2374, 2018.

Thakur A, Shah D, Rai D, Parra DC, Pathikonda S, Kurilova S, Cili A. Therapeutic values of exosomes in cosmetics, skin care, tissue regeneration, and dermatological diseases. *Cosmetics*, 10: 65, 2023.

Thakur A, Liang L, Ghosh D, Cili A, Zhang K. Identification and functional analysis of exosomal miR-16-5p, miR-6721-5p, and miR-486-5p associated with immune infiltration for potential vitiligo theranostics. *Clinical Immunology Communication*, 2: 110–117, 2022.

Van Niel G, d'Angelo G, Raposo G. Shedding light on the cell biology of extracellular vesicles. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 19: 213-228, 2018.

Xiong M, Zhang Q, Hu W, Zhao C, Lv W, Yi Y, Wang Y, Tang H, Wu M, Wu Y. The novel mechanisms and applications of exosomes in dermatology and cutaneous medical aesthetics. *Pharmacological Research*, 166: 105490, 2021.

Yang J, Kim JS, Kwon YS, Seong ES, Kim MJ. Antioxidant and antiproliferative activities of *Eclipta prostrata* (L.) L. extract and isolated compounds. *Molecules*, 28: 7354, 2023.

Zhang W, Yan Y, Peng J, Thakur A, Bai N, Yang K, Xu Z. Decoding roles of exosomal incRNAs in tumor-immune regulation and therapeutic potential. *Cancers*, 15: 286, 2022.

국문초록

화장품 소재로 한련초 유래 엑소좀의 생리활성 연구

강정욱
서원대학교 융복합대학, 충청북도 청주시, 한국

목적: 식물 유래 엑소좀은 세포 간 신호전달을 매개하는 유효 생리활성 물질로 주목받고 있다. 본 연구에서 한련초에서 분리한 엑소좀을 이용하여 특성을 파악하고 항염증 및 보습 효능을 확인하였다. **방법:** 한련초 유래 엑소좀은 ExoQuick 시스템을 이용하여 분리하였으며 나노입자추적분석법을 통해 확인하였다. 이후 생리활성 평가를 위해 대식세포와 각질형성세포를 이용하여 세포 실험을 진행하였다. **결과:** 한련초 유래 엑소좀은 평균 입자 크기 107±5.4 nm, 농도 1.82×10^{11} particles/mL로 확인되었다. LPS로 자극된 대식세포에서 한련초 유래 엑소좀 활성을 확인한 결과 NO생성을 유의하게 억제하고 COX-2 단백질 발현을 감소시켰다. 한련초 유래 엑소좀은 각질형성세포에서 히알루론산 생산을 농도 의존적으로 증가시켜 우수한 피부 보습 잠재력을 확인하였다. **결론:** 한련초 유래 엑소좀을 분리하여 특성을 확인하였으며 항염 및 보습 활성 등의 생리활성을 통해 기능성 화장품 소재로 가능성을 확인하였다.

핵심어: 한련초(*Eclipta prostrata*), 엑소좀, 염증, 히알루론산, 화장품소재

참고문헌

권재희, 서현주, 권인숙, 백문창, 조영은. MC3T3-E1 조골세포의 분화와 무기질화에 대한 우유 유래 Extracellular Vesicles의 효과. *한국식품영양과학회지*, 51: 1158-1165, 2022.

박하영, 이선용, 강민호, 박정은, 김진우. 고수 엑소좀의 Tyrosinase와 TRPs 발현 억제를 통한 피부 미백 증진 효과. *아시안뷰티화장품학술지*, 22: 393-402, 2024.

안소연, 박종순, 정영미. 화장품 소재로의 생체분자 활용 동향. *한국산학기술학회논문지*, 24: 21-31, 2023.

오희경. 추출용매에 따른 한련초의 항산화 활성 및 항염증 효과 비교. *한국동물보건학회지*, 3: 233-243, 2024.

유진희, 배승희. 티트리 유래 엑소좀의 각질세포 내 염증성 반응 억제 효과. *미용예술경영연구*, 18: 89-102, 2024.

장성준, 전남배, 박주원, 장태원, 정진부, 박재호. 건조방법에 따른 미선나무 잎의 항산화 및 항염증 효과. *한국식품저장유통학회지*, 25: 27-35, 2018.

http://dx.doi.org/10.20402/ajbc.2025.0107

中文摘要

化妆品原料用墨旱莲来源外泌体的生理活性研究

姜政旭
西原大学融合大学，忠清北道清州市，韩国

目的： 植物来源的外泌体被认为是具有潜力的细胞间通讯生物活性介质。本研究旨在分离并表征来源于墨旱莲(*Eclipta prostrata*)的外泌体，并评估其对皮肤的抗炎及保湿作用。**方法：** 采用ExoQuick系统分离墨旱莲来源的外泌体，并通过纳米颗粒追踪分析及抗体阵列对其进行表征，同时评估其生物学活性。**结果：** 墨旱莲来源的外泌体平均直径为107±5.4 nm，浓度为1.82×10^{11}个颗粒/mL。在脂多糖(LPS)刺激的RAW 264.7细胞中，墨旱莲外泌体处理显著抑制了一氧化氮的产生，并下调了COX-2蛋白表达。在角质形成细胞中，与阳性对照相比，其透明质酸的生成呈浓度依赖性增加，表明具有增强皮肤保湿的潜力。**结论：** 上述结果表明，墨旱莲来源的外泌体具有一定的生理活性，可作为一种有前景的天然功能性成分应用于功效型化妆品领域。

关键词： 墨旱莲，外泌体，炎症，透明质酸，化妆品原料