



효소 처리 니파야자 추출물의 효능 평가

이용직¹ · 김명기^{2,*}

¹서원대학교 바이오코스메틱학과, ²서원대학교 식품공학과

Efficacy evaluation of enzyme-treated *Nypa fruticans* extracts

Yong-Jik Lee¹ and Myong-Ki Kim^{2,*}

¹Department of Bio-Cosmetics, Seowon University, Cheongju 28674, Korea

²Department of Food Science & Engineering, Seowon University, Cheongju 28674, Korea

Abstract

Nypa fruticans has long served various purposes in daily life. Recent studies have explored the physiological properties, such as antioxidant and anti-inflammatory activities of *N. fruticans* secondary metabolites, along with methods to improve extraction efficiency. This study evaluated the efficacy of an enzyme-treated *N. fruticans* extract, as well as its extraction efficiency after hydrolytic enzyme treatment. Based on bioactive compound analysis, the optimal treatment temperature for *N. fruticans*'s cellulase and viscozyme was confirmed to be 55°C. The polyphenol and flavonoid contents of enzyme-treated *N. fruticans*, extracted using 50% ethanol, were determined to be 179.8 and 102.6 mg/g, respectively. The DPPH radical scavenging ability and SOD-like activity of the enzyme-treated *N. fruticans* extract were determined to be 74.9% and 19.8%, respectively, at 200 mg/L. No cytotoxicity was observed below 100 µg/mL. At this concentration, the extract inhibited NO production by 52.4%. The enzyme-treated *N. fruticans* extract exhibited various physiological activities, highlighting its potential as a functional food ingredient.

Keywords: *Nypa fruticans*, Enzyme, DPPH, SOD, NO

서론

니파야자(*Nypa fruticans*)은 동남아시아의 맹그로브 숲에서 주로 서식하는 독특한 야자나무의 일종으로, 예전부터 줄기와 잎은 건축 자재로 사용되었으며, 수액은 설탕, 식초와 주류 제조 등의 다양한 용도로 사용됐다(Hossain & Islam, 2015; Cheablam & Chanklap, 2020). 최근에는 니파야자가 풍부하게 포함하고 있는 폴리페놀(polyphenol)과 플라보노이드(flavonoid) 등과 같은 이차대사 산물에 의한 항산화(antioxidant) 효과, 항염증(anti-inflammatory) 활성 등과 같은 생리학적 활성이 다양한 연구를 통해 규명되고 있다(Prasad et al., 2013; Evelyn et al., 2022; Islam et al., 2025). 이에 니파야자의 잎, 줄기, 열매 등 부위에 따른 이차대사 산물의 추출 효율을 높이기

위한 최적 추출 조건 확립을 위한 연구도 보고되면서, 식품이나 화장품산업에서 새로운 기능성 소재로서의 가치가 주목받고 있으나(Kim, 2021; Evelyn et al., 2022; Islam et al., 2025), 국내외에서 니파야자 추출물, 특히, 추출물의 이차대사 산물과 같은 유용 성분의 함량을 높이는 추출 효율을 향상시키기 위한 연구는 미흡하다.

최근에는 식물성 소재로부터 유용 성분의 추출 효율을 높이기 위해 열과 압력과 같은 물리적인 조건의 변화(pressurized hot water extraction)를 통한 연구뿐만 아니라 가속 용매 추출(accelerated solvent extraction), 마이크로웨이브 추출(microwave-assisted extraction), 초음파 추출(ultrasound-assisted extraction), 초임계 추출(supercritical fluid extraction)과 효소를 활용한 추출(enzyme-assisted extraction) 방법들이 많이 활용되고 있다(Bitwell et al.,

Received: Apr 9, 2026 / Revised: May 6, 2026 / Accepted: Jul 23, 2026 / Published: Aug 12, 2026

Corresponding author: Myong-Ki Kim, Department of Food Science & Engineering, Seowon University, Cheongju 28674, Korea

E-mail: mkkim@seowon.ac.kr

Copyright © 2026 Korean Society for Food Engineering.

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.

2023). 이 중 효소를 활용한 추출은 가수분해 효소를 사용해 식물 세포벽을 분해하여 유용 성분의 추출을 용이하게 하고, 특정 성분을 생체 흡수가 더 쉬운 형태로 전환시키기 위한 목적으로 많이 사용되고 있는 추출 방법으로 효소 가수분해(enzymatic hydrolysis)라고도 한다. 예를 들면 아로니아 추출에 셀룰라아제(cellulase)와 펙티나아제(pectinase)를 사용하여 폴리페놀과 안토시아닌의 추출 수율 및 항산화 활성을 증진시킨 연구처럼 특정 가수분해 효소나 효소 복합제(enzyme cocktails)를 사용하여 특정 생리활성 성분의 수율을 높이거나, 새로운 기능성 물질을 생성하는 데 초점을 맞추고 있는 것으로 가수분해 효소 처리가 기존 용매 추출보다 훨씬 효과적임을 보여주는 연구결과도 보고되고 있다(Granato et al., 2022; Bitwell et al., 2023). 이러한 효소 가수분해 기술을 니파야자에 적용한 연구는 거의 찾아볼 수 없으며, 이러한 기술적 한계는 니파야자의 상업적 활용을 제한하는 주요 원인 중 하나이다. 니파야자의 잠재적 가치를 극대화하고, 이를 활용한 고부가가치 소재를 개발하기 위해서는 추출 방법의 최적화와 함께 효소 처리와 같은 새로운 가공 기술을 도입하는 연구가 요구된다.

본 연구는 이전 연구에서 니파야자의 잠재적 가치를 확인하고, 이를 활용한 기능성 소재 개발의 기초 자료를 제공하는 것을 목적으로 폴리페놀과 플라보노이드 등의 함량 비교 분석을 통한 최적 추출 조건 확립을 위한 연구를 수행하였다(Kim, 2021). 따라서 본 연구에서는 가수분해 효소 처리를 통한 니파야자 추출물의 생리활성 성분의 함량 변화와 항산화와 항염증 활성을 확인하였다.

재료 및 방법

효소처리 조건

니파야자(Indonesia)의 효소 최적 처리 조건을 확인하기 위하여 셀룰라아제, 비스코자임(viscozyme)을 사용하였다. 온도에 따른 효소처리 조건을 확인하기 위해 시료 1 g에 100 mL 정제수를 200 mL 삼각플라스크에 넣었다. 이에 셀룰라아제, 비스코자임을 각각 0.2 g 씩 혼합 처리한 후 45, 50, 55°C에서 2시간 효소 반응시켰다. 반응물을 90°C에서 10분간 처리하여 분해효소를 불활성화한 후 0.22 µm 시린지 필터로 여과하여 분석용 시료를 제조한 후 냉장보관 하면서 분석용으로 사용하였다. 효소 처리 온도에 따른 유효성분 평가를 위해 효소 처리 시료에 대해 폴리페놀과 플라보노이드 함량을 측정하였다.

폴리페놀 함량 측정

처리구별 니파야자의 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu 방법을 이용하여 측정하였다. 시료 0.1 mL에 증류수 2.5 mL를 넣고 혼합

한 후 Folin-Ciocalteu reagent 0.1 mL를 첨가하였다. 이에 20% 탄산나트륨(Na_2CO_3) 용액 0.5 mL를 넣고 혼합 교반한 다음 30분간 20°C 암실에서 방치한 후 microplate reader (Epoch, BioTek Instruments Inc, Winooski, VT, USA)를 이용하여 760 nm 파장에서 반응물의 흡광도를 측정하였다. 표준물질로 사용된 gallic acid는 1,000 µg/mL의 농도로 stock solution을 제조한 다음 0, 100, 200, 500, 1,000 µg/mL로 희석하였다. 각 농도별 흡광도 측정값으로 표준곡선을 작성한 후 폴리페놀 함량을 구하였다. 각 시료의 폴리페놀 함량은 mg/g gallic acid (mg GAE/g)로 나타내었다.

플라보노이드 함량 측정

처리구별 니파야자의 총 플라보노이드 함량은 colorimetric 방법을 이용하여 측정하였다. 니파야자 시료 0.25 mL와 (+)-catechin 표준물질 용액에 1.25 mL의 증류수를 첨가한 후 0.075 mL의 5% NaNO_2 용액을 혼합하였다. 6분 경과 후 0.15 mL의 10% AlCl_3 용액을 가하여 5분 동안 반응하였다. 그 다음 1 M NaOH 용액 0.5 mL를 첨가하여 반응을 종료하였다. 이에 증류수 0.225 mL를 넣어 총량이 2.5 mL가 되도록 한 후 교반한 다음 510 nm에서 microplate reader를 이용하여 흡광도를 측정하였다. 플라보노이드 함량은 catechin 농도별(0, 100, 200, 500, 1,000 µg/mL)로 희석하여 검량선을 작성한 후 mg/g (+)-catechin (mg CE/g)으로 나타내었다.

효소처리 시료 용매 추출

시료 1 g에 50 mL 정제수를 넣고 효소 0.2 g을 첨가하여 폴리페놀 및 플라보노이드 함량이 가장 높게 나타난 효소 처리 조건인 55°C에서 2시간 동안 반응시켰다. 반응 후 효소를 불활성화 하고 50 mL의 에탄올을 넣고 추출한 후 0.22 µm 시린지 필터로 여과한 후 냉장보관하면서 분석용으로 사용하였다.

DPPH radical 소거능

0.2 mM DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) 용액을 준비하였다. 시료는 10, 50, 100, 200 µg/mL 3종류의 농도 범위로 준비하였고 양성 대조군으로 ascorbic acid 100 µg/mL 농도로 준비하였으며 대조군으로는 증류수를 준비하였다. DPPH solution 100 µL에 시료 100 µL를 섞어 준 후 시료를 37°C에서 30분간 반응시켰다. 반응 완료 후 microplate reader를 이용하여 515 nm에서 흡광도를 측정하였다. 흡광도 측정값으로부터 라디칼 소거능은 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{DPPH radical 소거능 (\%)} = \left(1 - \frac{\text{반응구의 흡광도}}{\text{대조구의 흡광도}}\right) \times 100$$

SOD (superoxide dismutase) 유사활성 측정

SOD 유사활성 측정은 과산화수소로 전환시키는 반응을 촉매하는 pyrogallol의 생성량을 측정하여 SOD 유사활성으로 나타낸다. 7.2 mM pyrogallol solution, pH 8.5 Tris-HCl buffer (50 mM tris[hydroxy-methyl] amino-methane, 10 mM EDTA, pH 8.5) 준비하였다. 시료는 100, 200, 500, 1,000 µg/mL 4종류의 농도범위로 준비하였다. 양성대조군으로 ascorbic acid 100 µg/mL 농도로 준비하였으며 대조군으로는 증류수를 준비하였다. 시료 20 µL에 Tris-HCl buffer 20 µL, 7.2 mM pyrogallol 20 µL를 섞어 주었다. 각 시료는 25°C에서 10분간 반응시킨 후 1N HCl 100 µL를 가해 반응을 정지시킨 후, microplate reader를 이용하여 420 nm에서 흡광도를 측정하였다. 다음과 같은 식을 이용해 SOD 유사활성도를 계산하였다. 시료색이 존재할 경우, 반응구의 흡광도 값에서 시료색의 흡광도 값을 빼서 흡광도 값을 보정하였다.

$$\text{SOD 유사활성 (\%)} = \left(1 - \frac{\text{반응구의 흡광도}}{\text{대조구의 흡광도}}\right) \times 100$$

세포 독성 평가

니파야자 추출물은 4개의 최종 농도(12.5, 25, 50, 100 µg/mL)가 되도록 희석하여 측정하였다. 96 well plate에 세포를 5×10^5 cell/well 농도로 190 µL씩 분주하고, 37°C, 5% CO₂ 배양기에서 4시간 배양하였다. 세포 분주 4시간 후에 양성 대조물질과 시험물질을 농도별로 5 µL씩 처리하고 1시간 후에 LPS (lipopolysaccharide)를 5 µL씩 처리하여 37°C, 5% CO₂ 배양기에서 24시간 배양하였다. NO 생성 저해 활성 확인을 위해 상층액 10 µL를 제외한 세포와 남은 배지에 WST (water-soluble tetrazolium) 시약을 10:1의 비율로 처리하여 2시간 동안 37°C, 5% CO₂ 배양기에서 배양하였다. 2시간 배양 후, microplate reader를 이용하여 450 nm 파장에서 흡광도를 측정하여 세포 생존율을 확인하였다.

$$\text{세포 생존율 (\%)} = \frac{\text{반응구의 흡광도}}{\text{대조구의 흡광도}} \times 100$$

NO (nitric oxide) 생성 억제 평가

니파야자 추출물을 4개 최종 농도(12.5, 25, 50, 100 µg/mL)가 되도록 희석하여 사용하였다. 96 well plate에 세포를 5×10^5 cell/well 농도로 190 µL씩 분주하고, 37°C, 5% CO₂ 배양기에서 4시간 배양하였다. 세포 분주 4시간 후에 양성 대조물질과 시험물질을 농도별로 5 µL씩 처리하고 1시간 후에 LPS를 5 µL씩 처리하여 37°C, 5%

CO₂ 배양기에서 24시간 배양하였다. 세포배양액과 Griess 시약을 1:1로 혼합하여 10분 후 550 nm 파장에서 흡광도를 측정하여 NO 생성 억제 효과를 평가하였다.

통계처리

실험 결과는 3회 이상 반복실험을 통해 평균±표준편차(standard deviation, SD)로 나타내었다. 실험결과에 대한 통계처리는 SPSS Software package (Version 22.0, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 ANOVA 분석 후, Duncan의 다중범위검정(Duncan's multiple range test)을 실시하여 *p*-value가 0.05 미만일 경우 유의한 것으로 판정하였다.

결과 및 고찰

폴리페놀 함량

니파야자의 효소 최적 처리 조건을 확인하기 위하여 셀룰라아제, 비스코자임을 이용하여 45, 50, 55°C에서 2시간 처리한 후 폴리페놀을 분석한 결과 55°C에서 19.5 mg/g으로 가장 높게 나타났다(Fig. 1). 45, 50°C에서 효소처리한 결과 각각 12.4, 14.1 mg/g로 55°C에서 처리한 결과보다는 낮은 함량을 보였다. 효소 활성이 가장 좋은 온도인 55°C에서 효소 반응 후 50% 에탄올을 추출하여 폴리페놀 함량을 분석한 결과 179.8 mg/g로 나타났다(Table 1). Kim (2021)은 효소 처리 없이 추출 용매에 따른 폴리페놀 함량을 분석한 결과 50% 에탄올을 이용하여 60°C에서 6시간 동안 추출 시 40.83 mg/g의 함

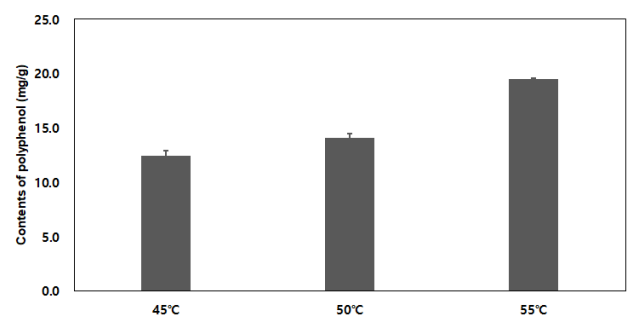


Fig. 1. Contents of polyphenol of ethanol extracts after enzymes treatment with *Nypa fruticans* at 45°C, 50°C and 55°C, respectively. Vertical bars represent the mean±SD of three replicates.

Table 1. Contents of polyphenol and flavonoid of *Nypa fruticans* treated with cellulase and viscozyme

Component	Content (mg/g)
Polyphenol (mg GAE/g)	179.8±0.5
Flavonoid (mg CE/g)	102.6±0.6

량을 보였다고 보고하였다. 이에 반해 본 연구에서는 효소 처리가 유효성분의 추출 효율을 증대시킨 것으로 판단된다. 이는 효소 반응을 통해 식물 세포벽의 성분인 셀룰로오스의 분해를 통해 내부의 유효 성분의 추출 효율이 증대된 것으로 판단된다. Kim & Jeon (1998)은 CMC (carboxymethyl cellulose)를 기질로 셀룰라아제의 효소처리 온도를 평가한 결과 30–50°C에서 완전한 최댓값을 보였으며 60°C 이상에서는 활성이 감소하였다. *Rosa roxburghii*에 셀룰라아제를 처리한 결과 폴리페놀 함량이 25.68% 증가하였으며 셀룰라아제 가수분해를 통해 바람직하지 않은 향미 화합물을 감소시키는 반면, 에틸 포르메이트, 펜탄알, 2,3-부탄디올 및 에스테르와 같은 방향족 화합물의 양을 증가시켜 향미에 대한 품질 개선 효과도 있다고 보고되었다(Jiang et al., 2024).

플라보노이드 함량

효소처리한 니파야자를 여과하여 플라보노이드 함량을 분석한 결과 55°C에서 11.4 mg/g으로 가장 높은 함량을 보였다(Fig. 2). 50°C에서 추출한 결과 7.3 mg/g으로 나타났지만 45°C로 처리한 시료에서는 플라보노이드가 측정되지 않았다. 55°C에서 효소 처리 후 50% 에탄올을 추출하여 플라보노이드 함량을 분석한 결과 102.6 mg/g의 함량을 나타내었다(Table 1). Park et al. (2019)은 굴 껍질에 비스코자임 처리 시 총 폴리페놀 함량이 최대 45.01 µg GAE/mg, 총 플라보노이드 함량은 21.77 µg QE/mg로 유의미하게 증가하였다고 보고하였다. 비스코자임 처리 시 식물 조직 내에 결합된 페놀성 화합물을 유리시켜 항산화 물질의 농도를 높이는 것으로 판단된다.

DPPH radical 소거능

효소처리 한 니파야자 추출물에 대한 항산화 효과를 확인하기 위해 DPPH radical 소거능을 확인한 결과 200 µg/mL 농도에서 74.9%로 가장 높은 활성을 보였다(Fig. 3). 10, 50, 100 µg/mL 농도에서

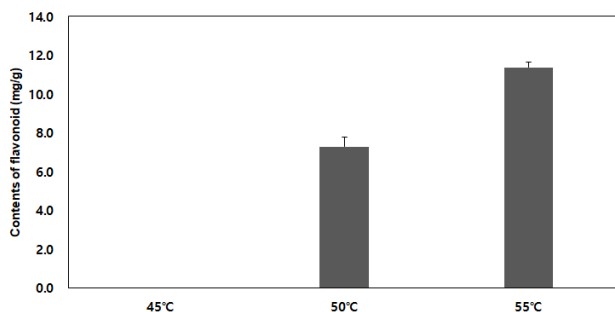


Fig. 2. Contents of flavonoid of ethanol extracts after enzymes treatment with *Nypa fruticans* at 45°C, 50°C and 55°C, respectively. Vertical bars represent the mean±SD of three replicates.

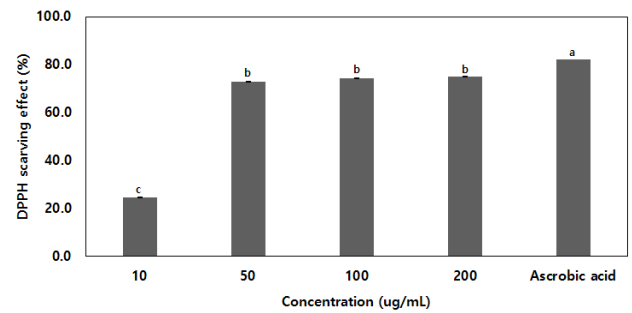


Fig. 3. DPPH scavenging effects of ethanol extracts after enzymes treatment with *Nypa fruticans*. Vertical bars represent the mean±SD of three replicates. Values with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

각각 24.6, 72.8, 74.4% DPPH radical 소거 활성을 보였다. 양성 대조군인 ascorbic acid 대비 200 µg/mL 농도에서 91.3% DPPH radical 소거능을 보였으며 동일 농도인 50 µg/mL에서 ascorbic acid 대비 88.6%의 DPPH radical 소거능을 보였다. Kim et al. (2008)은 홍삼에 0.5% 셀룰라아제를 처리한 결과 무처리구보다 효소 처리한 시료가 더 높은 DPPH radical 소거능이 있다고 보고하였다.

SOD 유사활성 측정

효소 처리된 니파야자 추출물의 SOD 유사활성을 측정한 결과 1,000 µg/mL의 농도에서 28.1%의 가장 높은 유사활성을 보였다(Fig. 4). 100, 200, 500 µg/mL의 농도에서 각각 11.9, 19.8, 21.4%의 유사활성을 나타냈다. Oh et al. (2025)는 증숙한 송이버섯에 비스코자임을 처리하여 추출한 경우, 비증숙 열수 추출물에 비해 SOD 유사활성이 높게 나타나 효소처리를 통한 항산화 활성에 대한 가능성이 증대되었다고 보고하였다. 효소 처리 시 식물성 원료의 세포벽을 분해하여 폴리페놀, 플라보노이드 등 유효 성분의 용출을 증대시키며, 이에 따라 항산화 효과가 증대된 것으로 판단된다.

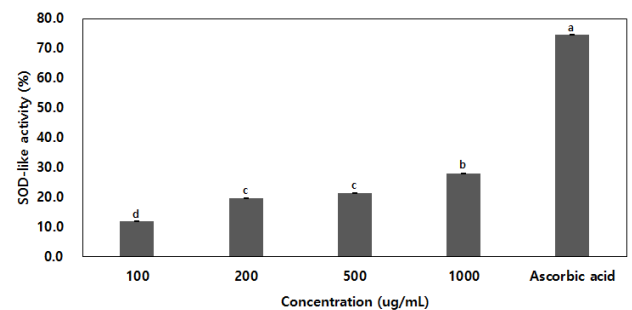


Fig. 4. SOD-like activities effects of ethanol extracts after enzymes treatment with *Nypa fruticans*. Vertical bars represent the mean±SD of three replicates. Values with different letters are significantly different ($p < 0.05$).

세포 독성 평가

효소 처리한 니파야자 추출물의 세포독성 결과 고농도인 100 $\mu\text{g/mL}$ 에서 89%의 세포 생존율을 보였고, 12.5, 25, 50 $\mu\text{g/mL}$ 에서 각각 106, 109, 90%로 모든 처리 농도에서 세포 독성이 없는 것으로 평가되었다(Fig. 5). Bae & Park (2016)은 MTT 방법을 이용하여 니파야자의 물 추출물에 대한 세포의 생존을 평가한 결과 200 $\mu\text{g/mL}$ 농도까지 세포 독성이 나타나지 않는다고 보고하였다. 본 연구에서는 에탄올 보다는 물 추출물 시 상대적으로 독성이 적은 것으로 판단된다.

NO 생성 억제 평가

효소 처리 니파야자 추출물을 세포독성이 없는 농도 범위에서 NO 생성 억제율을 확인한 결과 100 $\mu\text{g/mL}$ 에서 52.4%의 NO 생성 억제율을 보였다(Fig. 6). 12.5, 25, 50 $\mu\text{g/mL}$ 에서 각각 12.2, 16.7, 17.9%로 추출물의 처리 농도 의존적으로 NO 생성 억제율이 증가하였다. RAW 264.7 세포를 이용한 NO 생성 억제시험을 평가한 결과 니파야자 복합추출물 시료의 최고 처리 농도인 100 $\mu\text{g/mL}$ 에서 50%가 넘는 NO 생성 억제율을 보여 항염 활성이 있는 것으로 확인되었다. Kim et al. (2020)은 노니주스 제조 시 기능성을 증대하

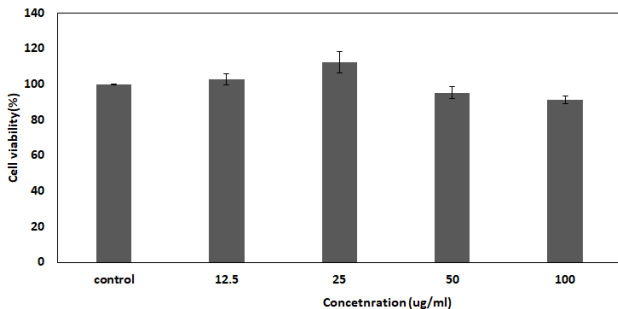


Fig. 5. Cell viability of ethanol extracts after enzymes treatment with *Nypa fruticans*. Values are represented to the mean $\pm$ standard deviation of three replicates.

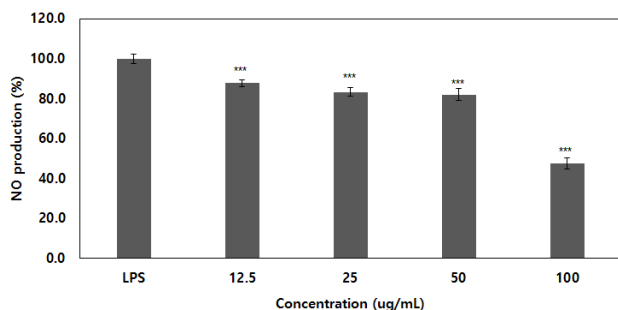


Fig. 6. NO production inhibition effects of ethanol extracts after enzymes treatment with *Nypa fruticans*. Values are represented to the mean $\pm$ SD of three replicates. *** p < 0.001 compared with LPS.

기 위해 셀룰라아제 효소를 처리한 결과 높은 스코폴레틴과 폴리페놀 함량을 보였으며 NO 생성 억제율을 나타냈다고 보고하였다. Oh et al. (2010)은 늙은 호박, 단 호박 및 애호박 분말에 전분분해효소, 섬유소 분해효소, 비스코자임을 처리한 결과 비스코자임 분해물에서 다른 효소 처리구에 비해 높은 nitric oxide 소거활성 효과가 있다고 보고하였다. 따라서 기능성 소재 개발 시 효소처리를 통해 기능성 성분의 함량 및 생리기능성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 또한 천연물 소재와 효소의 종류에 따라 기능성 성분 및 생리활성이 다르게 나타남에 따라 이에 대한 지속적 연구의 필요성이 있다고 판단된다.

요약

니파야자는 예전부터 일상생활에 차(茶), 건축자재 등 다양한 용도로 사용되어 왔다. 최근에는 니파야자 추출물에 포함되어 있는 다양한 이차대사 산물의 항산화와 항염증 활성 등 생리학적 활성에 대한 연구가 수행되고 있으며, 추출 효율을 높이기 위한 연구도 수행되고 있다. 본 연구에서는 가수분해 효소처리를 통한 추출 효율과 함께 효소 처리 니파야자 추출물의 효능을 평가하기 위해 수행되었다. 유효성분 검증 결과, 니파야자의 셀룰라아제와 비스코자임의 최적 처리 온도는 55 $^{\circ}\text{C}$ 임을 확인하였다. 효소처리 니파야자의 폴리페놀과 플라보노이드 함량을 50% 에탄올로 추출하여 분석한 결과, 각각 179.8 mg/g과 102.6 mg/g이었다. 효소처리 니파야자 추출물의 DPPH 라디칼 소거능과 SOD 유사 활성을 측정한 결과, 200 mg/L에서 각각 74.9%와 19.8%로 나타났다. 100 $\mu\text{g/mL}$ 이하에서는 세포독성이 없음을 확인하였고, 100 $\mu\text{g/mL}$ 에서는 52.4%의 NO 생성 억제 효과를 보였다. 상기 연구결과를 통하여 니파야자 효소처리 추출물은 다양한 생리활성을 가지는 것으로 확인되어 식품 소재로서의 활용 가능성을 확인하였다. 본 연구를 통해 산업적으로 효소처리 니파야자 추출물을 활용한 건강기능식품, 화장품과 의약품 등의 새로운 기능성 소재 개발에 대한 과학적 기초 데이터를 제공하고 기능성 소재 개발에 필요한 실용적인 정보를 제시함으로써, 니파야자의 산업적 활용 범위를 넓히는 데 기여할 것으로 생각된다.

ORCID

Yong-Jik Lee

<https://orcid.org/0000-0002-0047-2302>

Myong-Ki Kim

<https://orcid.org/0000-0002-2956-7006>

Conflict of interests

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgements

This work was supported by the Industry University Research Cooperation Technology Development Program (First-step) (Project No. S2685259) funded by the Ministry of SMEs and Startups (MSS, Korea).

Data availability

Upon reasonable request, the datasets of this study can be available from the corresponding author.

Authorship contribution statement

Conceptualization: Lee YJ, Kim MK.

Data curation: Lee YJ, Kim MK.

Formal analysis: Kim MK.

Methodology: Lee YJ, Kim MK.

Software: Kim MK.

Validation: Kim MK.

Investigation: Lee YJ, Kim MK.

Writing - original draft: Lee YJ, Kim MK.

Writing - review & editing: Lee YJ, Kim MK.

Ethics approval

Not applicable.

References

- Bae GS, Park SJ. 2016. The Anti-inflammatory effect of *Nypa fruticans* Wurmb. fruit on lipopolysaccharide-induced inflammatory response on RAW 264.7 cells. *Kor. J. Herbol.* 31: 79-84.
- Bitwell C, Indra SS, Luke C, Kakoma MK. 2023. A review of modern and conventional extraction techniques and their applications for extracting phytochemicals from plants. *Sci. Afr.* 19: e01585.
- Cheablam O, Chanklap B. 2020. Sustainable nipa palm (*Nypa fruticans* Wurmb.) product utilization in Thailand. *Scientifica.* 2020: 3856203.
- Evelyn E, Sunarno N, Andrio D, Aman A, Ohi H. 2022. *Nypa fruticans* frond waste for pure cellulose utilizing sulphur-free and totally chlorine-free processes. *Molecules.* 27: 5662.
- Granato D, Fidelis M, Haapakoski M, dos Santos Lima A, Viil J, Hellström J, Rätsep R, Kaldmäe H, Bleive U, Azevedo L, Marjomäki V, Zharkovsky A, Pap N. 2022. Enzyme-assisted extraction of anthocyanins and other phenolic compounds from blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) press cake: from processing to bioactivities. *Food Chem.* 391: 133240.
- Hossain F, Islam S. 2015. Utilization of mangrove forest plant: nipa palm (*Nypa fruticans* Wurmb.). *Am. J. Agric. For.* 3: 156-160.
- Islam MN, Promie AR, Siddika R, Mim SH, Islam MA, Billah MM, Das AK, Saifuzzaman M, Rakhe FA, Kubra MK. 2025. Nutritional composition, anti-oxidant, anthelmintic and anti-diabetic properties of juice and molasses of *Nypa fruticans* collected from coastal areas of Bangladesh. *Food Humanity* 5: 100692.
- Jiang G, Li B, Ding Z, Zhu J, Li S. 2024. Effect of cellulase on antioxidant activity and flavor of *Rosa roxburghii* Tratt. *Food Chem.* 21: 101148.
- Kim BH, Jeon Y. 1998. Purification properties and treatment conditions of cellulase for papermaking processes. *J. Korea Tappi.* 30: 18-28.
- Kim HJ, Yang SA, Im NK, Jhee KH, Lee IS. 2008. Antioxidant effect of oil containing cellulase-treated red ginseng. *J. Life Sci.* 18: 323-328.
- Kim JM, Jeon YH, Jeong YJ, Yoon KY. 2020. Comparison of bioactive composition, antioxidant activity, and nitric oxide inhibition effect of enzyme-treated and commercial noni juice. *Korean J. Food Sci. Technol.* 52: 75-80.
- Kim MK. 2021. Ingredient contents of nipa palm (*Nypa fruticans* Wurmb.) according to different extraction methods. *J. Converg. Inf. Technol.* 11: 104-110.
- Oh CK, Kim MC, Oh MC, Yang TS, Hyun JS, Kim SH. 2010. Antioxidant activities in enzymatic hydrolysates of pumpkin powder (*Cucurbita* spp.). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 39: 172-178.
- Oh YJ, Kim YS, Park SP, Kim SJ, Na CS, Park CS. 2025. Changes in β -glucan content and bioactivities of *Tricholoma matsutake* through steaming and enzymatic treatment. *J. Nat. Polym.* 30: 219-225.
- Park GH, Park JY, Chang YH. 2019. Changes in flavonoid aglycone contents and antioxidant activities of citrus peel depending on enzyme treatment times. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 48: 542-550.
- Prasad N, Yang B, Kong KW, Khoo HE, Sun J, Azlan A, Ismail A, Romli ZR. 2013. Phytochemicals and antioxidant capacity from *Nypa fruticans* Wurmb. fruit. *Evid. Based Complement. Alternat. Med.* 2013: 154606.