

과 제 구 분	기관고유	과 제 번 호	LP004573	
과학기술분류	LBO207	품목표준코드	FT-04-0611	
주 관 과 제 명	지역 농특산자원 우수소재 개발 및 산업화			
과 제 책 임 자	성 명	직 급	소속기관 및 부서	
	이 재 희	지방농업연구사	농식품연구소	
연 구 기 간	2023 ~ 2025	참여연구기관		
세부과제명		부 서	세부책임자	연구기간
1) 토종다래의 기능성 소재화를 위한 효능 연구		농식품연구소	이재희	'23~'25
2) 농업부산물 업사이클링 소재 개발		농식품연구소	이재희	'24~'25
키 워 드	토종다래, 업사이클링, 기능성, 농업부산물			

## ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the potential of *Actinidia arguta* (*A. arguta*) as a functional bioresource and to explore the upcycling value of agricultural by-products as high-value functional materials. In Subproject 1, the physiological and industrial potential of *A. arguta* was investigated through the assessment of intestinal function improvement and constipation relief, proteolytic enzyme activity, meat tenderization efficacy, and the antioxidant and anti-inflammatory activities of pruning-derived stems. The results showed that *A. arguta* improved defecation-related parameters and intestinal tissue condition in a constipation model, exhibited increased proteolytic activity in ripened fruits, enhanced meat tenderness when crude enzyme extracts were applied, and demonstrated significant antioxidant and anti-inflammatory potential in stem extracts, indicating its potential as a functional food ingredient, enzyme source, and bioactive material. In Subproject 2, agricultural by-products, including potato peels and radish leaves, were evaluated as upcycled functional resources. Potato peel extracts showed strong antioxidant activity and exerted skin-soothing and anti-aging effects through the promotion of cell regeneration and protection against photoaging-related responses, while radish leaf extracts exhibited anti-inflammatory, anti-allergic, and anti-atopic effects in both *in vitro* and *in vivo* models. These findings suggest that *A. arguta* and agricultural by-products can be effectively utilized as promising functional ingredients in food, cosmetic, and healthcare industries, while also supporting resource recycling and the development of sustainable high-value biomaterials.

## 1 연구목표

최근 건강기능식품, 천연 바이오소재, 친환경 화장품 소재에 대한 수요가 증가함에 따라, 국내 농산자원과 농업부산물의 생리활성을 과학적으로 구명하고 이를 고부가가치 소재로 활용하기 위한 연구의 필요성이 증대되고 있다. 특히 토종다래는 국내 고유 자원으로서 장 건강 증진, 효소 활성 및 식품 가공 적성 등 다양한 기능적 가능성을 지니고 있으며, 감자껍질과 시래기무 등 농업부산물 또한 항산화, 항염, 피부 진정 및 항알러지 활성 등 유용한 생리활성 성분을 함유하고 있음에도 불구하고, 기능성 소재로서의 체계적인 평가와 산업적 활용 기반은 아직 충분히 마련되지 않은 실정이다. 이에 본 연구는 토종다래의 기능성 소재화와 농업부산물의 업사이클링 가능성을 동시에 검토하여 자원의 활용 가치를 높이고, 식품·바이오·헬스케어·화장품 분야에 적용 가능한 고부가가치 소재 개발의 기초자료를 확보하고자 수행하였다. 구체적으로 제1세부과제에서는 토종다래를 대상으로 장 기능 개선 및 변비완화 효능을 평가하고, 품종 및 숙기별 효소 활성을 분석하여 기능성 효소 소재로서의 활용 가능성을 검토하며, 조효소액의 연육 효과를 통해 식품 가공소재로서의 적용성을 확인하고, 전정 부산물인 토종다래 줄기의 항산화 및 항염 활성을 분석하여 부산물 자원의 기능성 소재화 가능성을 구명하고자 하였다. 또한 제2세부과제에서는 감자껍질과 시래기무 등 농업부산물을 대상으로 유효성분과 생리활성을 평가하여 업사이클링 소재로서의 가치를 검토하고, 감자껍질 추출물의 항산화 성분 및 피부 진정·피부노화 개선 효능과 시래기무 추출물의 항염·항알러지 및 항아토피 활성을 세포 및 동물실험 수준에서 검증함으로써 농업부산물 유래 기능성 소재의 실용화 가능성을 제시하고자 하였다.

## 2 재료 및 방법

### <제1세부과제: 토종다래의 기능성 소재화를 위한 효능 연구>

#### (시험 1) 토종다래의 장 기능 및 변비개선 효능 평가

본 연구는 토종다래의 장 기능 개선 및 변비완화 효능을 구명하고자 변비 유발 랫드 모델을 이용하여 수행하였다. 시험동물에 변비를 유도한 후 토종다래를 처리하여 체중 증가량과 사료 섭취량을 조사하였으며, 배변 관련 지표로서 변의 개수, 변 중량 및 변 수분함량을 측정하였다. 또한 실험 종료 후 대장을 적출하여 원위 결장 부위에 잔류하는 변의 개수를 조사하였고, 장점막 및 장근육층의 조직병리학적 변화를 관찰하여 토종다래 섭취가 장내 배변 기능과 장 조직 상태에 미치는 영향을 종합적으로 평가하였다.

#### (시험 2) 토종다래 내 효소 활성 검정

본 연구는 토종다래의 기능성 효소 소재로서의 활용 가능성을 검토하고자 후숙된 토종다래 가식부위를 이용해 조효소액을 추출하고, 단백질분해효소 활성을 검정하였다. 시료 100g에 protein lysis buffer(10 mM EDTA, 10 mM sodium phosphate, pH 6.5)를 가하여 4℃에서 1시간 추출한 후 여과 및 원심분리를 통해 조효소액을 확보하였다. 확보된 조효소액은 식품공전법에 따라 단백질분해효소 활성을 측정하였으며, SDS-PAGE 분석을 통해 주요 효소 단백질인 액티니딘(actinidin)의 존재를 확인하였다. 이를 통해 토종다래 유래 효소의 추출 가능성과 효소 활성 수준을 구명하고자 하였다. 토종다래의 숙기별 효소 활성 차이를 구명하고자 '청산', '그린하트', '대보' 품종의 미숙과, 적숙과 및 후숙과를 시험재료로 사용하여 수행하였다. 각 숙기별

시료로부터 조효소액을 추출한 후 SDS-PAGE 분석을 통해 액티니딘 함량을 비교하였고, 단백질분해효소 활성을 함께 측정하여 숙성과정에 따른 효소 발현 및 활성 변화를 조사하였다. 이를 통해 토종다래의 품종 및 숙기에 따른 효소 소재로서의 활용 적기를 설정하고자 하였다.

### (시험 3) 토종다래 내 효소 활용 연육 효과 검정

본 연구는 토종다래 조효소액의 식품 가공소재로서의 활용 가능성을 평가하고자 한돈 사태 및 한우 사태를 대상으로 연육 효과를 검정하였다. 토종다래로부터 추출한 조효소액을 처리한 후 육질 변화를 비교하고자 전단력을 측정하였으며, 아울러 육색, 가열감량 및 보수력을 조사하여 조효소액 처리가 육질 특성에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 통해 토종다래 유래 단백질분해효소가 육류의 물성 개선 및 천연 연육 소재로 활용될 수 있는지를 검토하였다.

### (시험 4) 토종다래 줄기의 시기별 항염 활성

본 연구는 토종다래 전정 부산물의 기능성 소재 활용 가능성을 검토하고자 동계전정(2월 중) 및 하계전정(8월 상) 시 발생한 다래줄기를 수집하여 수행하였다. 다래줄기는 에탄올 및 물을 용매로 추출하여 추출 수율을 산정하였고, 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량을 분석하였다. 또한 항산화 활성을 평가하고자 ABTS 및 DPPH 라디칼 소거능을 조사하였으며, RAW 264.7 세포를 이용하여 세포독성과 nitric oxide(NO) 생성 억제능을 측정함으로써 항염 활성을 검정하였다. 이를 통해 전정 시기와 추출용매에 따른 토종다래 줄기의 기능성 차이를 비교하고, 부산물의 고부가가치 소재화 가능성을 평가하였다.

## <제2세부과제: 농업부산물 업사이클링 소재 개발>

### (시험 1) 감자껍질의 유효성분 분석

본 연구는 농업부산물인 감자껍질의 기능성 소재 활용 가능성을 검토하고자 감자껍질과 감자속을 각각 에탄올 및 물로 추출한 총 4종의 시료를 제조하여 수행하였다. 유효성분 분석은 감자껍질 에탄올추출물, 감자껍질 물추출물, 감자속 에탄올추출물 및 감자속 물추출물을 대상으로 실시하였다. 먼저 총폴리페놀(total polyphenol content, TPC) 및 총플라보노이드(total flavonoid content, TFC) 함량을 분석하여 각 추출물에 함유된 대표적인 항산화 관련 성분의 수준을 비교하였다. 이어서 동일한 4종의 시료를 이용하여 ABTS 라디칼 소거능 및 DPPH 라디칼 소거능을 측정함으로써 감자껍질과 감자속 유래 추출물의 항산화 활성을 평가하였다. 이를 통해 추출 부위와 추출용매에 따른 기능성 성분 함량 및 항산화 활성 차이를 구명하고, 감자껍질의 고부가가치 기능성 소재화 가능성을 검토하고자 하였다.

### (시험 2) 감자껍질의 피부 진정 효능 검정

본 연구는 감자껍질 추출물의 피부 진정 및 노화 개선 소재로서의 활용 가능성을 검토하고자 각질형성세포(HaCaT)와 피부섬유아세포(HDF)를 이용하여 수행하였다. 먼저 HaCaT 세포를 대상으로 시료 농도별 세포 생존률을 측정하여 감자껍질 추출물의 세포독성을 검정하였으며, 이후 세포 스크래치 실험을 실시하여 일정 시간 경과 후 상처 치유 정도를 비교함으로써 피부 재생 및 진정 효능을 평가하였다. 또한 HDF 세포를

이용하여 시료 농도별 세포 생존율을 조사하여 세포독성을 확인한 후, UVB를 조사하여 노화가 유도된 세포 모델에서 감자껍질 추출물의 개선 효과를 검정하였다. UVB 자극 후에는 pro-collagen type I, reactive oxygen species(ROS), matrix metalloproteinase-1(MMP-1), SA- $\beta$ -galactosidase를 정량 분석하여 콜라겐 생성, 산화스트레스, 기질분해 및 세포 노화 지표의 변화를 평가하였다. 이를 통해 감자껍질 추출물이 피부 진정, 상처 회복 및 UVB 유도 피부노화 개선에 미치는 영향을 종합적으로 구명하고자 하였다.

### (시험 3) 시래기무 추출물의 항알러지 효능 검정 (*in vitro*)

본 연구는 시래기무 추출물의 항알러지 효능을 세포수준에서 평가하고자 수행하였다. 시험재료는 시래기무를 물 및 에탄올로 각각 추출하여 제조한 추출물을 사용하였으며, 추출 용매에 따른 생리활성 차이를 비교하고자 하였다. 먼저 세포독성 여부를 확인하고자 RAW264.7 등 관련 세포주를 이용하여 농도별 세포 생존율을 측정하였고, 이를 통해 후속 효능평가에 적용 가능한 안전 농도 범위를 설정하였다. 항염 효능 평가는 염증 유도 조건에서 시래기무 추출물 처리에 따른 염증 관련 반응의 변화를 분석하는 방법으로 수행하였으며, 세포 수준에서의 염증 매개 반응 억제 여부를 확인하였다. 또한 항아토피 효능 평가는 아토피 관련 염증 반응과 연관된 세포 반응 변화를 중심으로 분석하여, 시래기무 추출물이 알러지성 염증 완화에 미치는 영향을 검토하였다. 이를 통하여 시래기무 물 추출물과 에탄올 추출물의 항염 및 항아토피 활성을 비교하고, 기능성 소재로서의 활용 가능성을 평가하고자 하였다.

### (시험 4) 시래기무 추출물의 항알러지 효능 검정 (*in vivo*)

본 연구는 시래기무 추출물의 항아토피 효능을 동물실험 수준에서 검증하고자 마우스의 아토피 유도모델을 이용하여 수행하였다. 시험군은 정상군, 아토피 유도군, 시래기무 추출물 200 mg/kg 처리군, 시래기무 추출물 400 mg/kg 처리군 및 양성대조군인 dexamethasone 1 mg/kg 처리군으로 구분하여 총 5개 군으로 설정하였다. 각 처리군은 실험 기간 동안 정해진 조건에 따라 추출물 또는 대조물질을 투여하였으며, 아토피 유도에 따른 생리적 및 조직학적 변화를 비교 분석하였다. 효능 평가는 실험동물의 전반적인 건강상태를 반영하는 체중 변화를 측정하고, 피부 장벽 손상 정도를 확인하고자 경피수분손실량(TEWL)을 분석하였다. 또한 면역반응과 관련된 변화를 확인하고자 비장 및 림프질의 무게를 측정하였으며, 아토피 유발에 따른 조직 손상과 염증세포 침윤 정도를 평가하고자 피부조직을 채취한 후 조직학적 분석을 실시하였다. 이를 통하여 시래기무 추출물이 아토피 증상 완화, 피부장벽 회복 및 면역조절에 미치는 영향을 종합적으로 검토하고자 하였다.

## 3 결과 및 고찰

### <제1세부과제: 토종다래의 기능성 소재화를 위한 효능 연구>

#### (시험 1) 토종다래의 장 기능 및 변비개선 효능 평가

토종다래의 장 기능 및 변비개선 효능을 평가한 결과, 실험기간 동안 각 처리구의 체중 증가량은 유의적인 차이를 보이지 않았으며, 식이섭취량 또한 loperamide 처리군에서 정상대조군보다 다소 감소하는 경향은

있었으나 전반적인 성장 및 섭식 상태에 큰 변화는 없었다. 특히 토종다래 5% 및 10% 첨가군에서도 추가적인 체중 감소나 섭식 저하는 나타나지 않아, 이후 관찰된 배변 관련 개선 효과는 체중 또는 식이섭취량 차이에 의한 것이 아니라 토종다래 자체의 생리활성에 기인한 것으로 판단된다(표 1).

표 1. Loperamide 및 다래 추출물 투여 후 랫드의 체중 및 식이섭취량(g)

검정항목	Day	Con	Lop	Lop+다래5%	Lop+다래10%
체중 (g)	1	241.70±10.36	240.90±11.79	239.90±9.96	240.80±10.02
	3	275.40±10.30	267.40±12.40	270.50±12.5	265.90±13.5
식이섭취량 (g/day)	1	24.43±1.13	23.87±1.51	24.18±1.25	24.13±2.02
	2	24.61±4.52	17.21±1.35	19.21±1.95	16.52±1.49
	3	24.47±1.99	21.95±1.20	21.19±2.03	20.45±0.93
	4	25.19±0.92	21.57±1.37	21.42±1.27	20.00±1.09
	5	25.97±1.28	26.51±1.77	26.58±1.53	24.86±2.86

배변 특성을 조사한 결과, 정상 대조군은 실험기간 동안 비교적 안정적인 변 배설량을 유지한 반면, loperamide 단독 처리군은 변의 중량과 개수가 모두 감소하여 변비가 효과적으로 유도되었음을 확인할 수 있었다. 변의 중량은 loperamide 처리군에서 2일째 1.97 g/day, 3일째 1.81 g/day로 정상대조군 대비 유의적으로 감소하였으며, 4일째에도 낮은 수준이 지속되었다. 이에 비해 토종다래 첨가군은 변 중량이 점진적으로 회복되었고, 특히 10% 첨가군에서는 4일째 2.42 g/day로 loperamide 단독 처리군 대비 유의적으로 증가하여 용량 의존적인 개선 효과를 나타냈다(그림 1). 변의 개수 또한 동일한 경향을 보여, loperamide 처리군은 2일째 15.8개, 3일째 19.2개로 정상 대조군보다 현저히 감소하였으나, 토종다래 5% 및 10% 첨가군에서는 2~4일째 전반에 걸쳐 변 배설 개수가 증가하였고, 특히 10% 첨가군은 3일째와 4일째에 정상대조군 수준에 근접하는 회복 양상을 보였다(그림 2). 이러한 결과는 토종다래가 저하된 장 운동성을 개선하여 배변 횟수와 배변량을 동시에 증가시키는 데 효과적임을 시사한다.

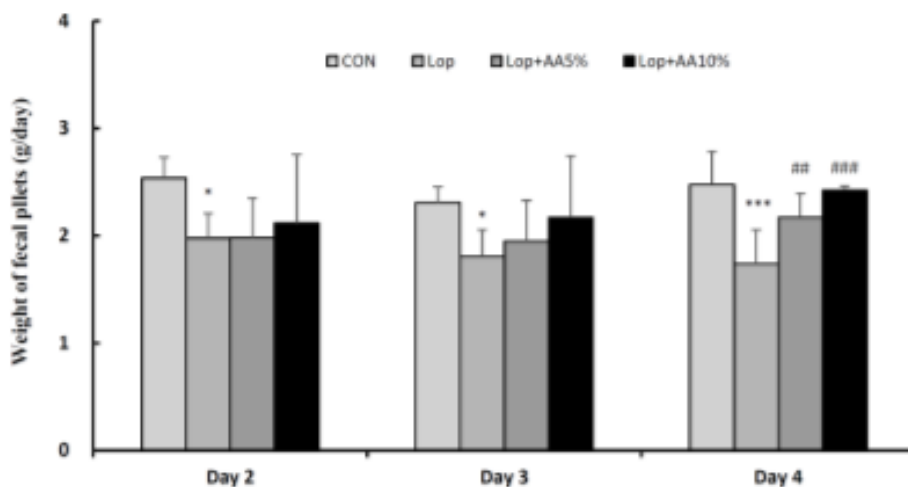


그림 1. 로페라미드 투여로 변비 유도 랫드에서의 변 중량

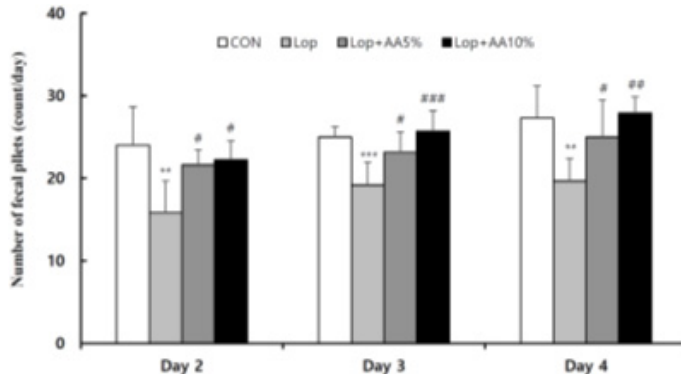


그림 2. 로페라마이드로 투여 변비 유도 랫드에서의 변의 개수

변 수분함량 역시 변비 개선 효과를 뒷받침하였다. 정상 대조군에서는 비교적 높은 수준의 변 수분함량이 유지된 반면, loperamide 단독 처리군은 2일째 30.8%, 3일째 22.3%, 4일째 20.9%로 감소하여 건조하고 단단한 변 형성이 유도되었음을 보여주었다. 반면 토종다래 첨가군에서는 변 수분함량이 유의적으로 증가하였으며, 특히 3일째와 4일째에 10% 첨가군에서 가장 큰 회복 효과가 나타났다(그림 3). 이는 토종다래가 단순히 배변량만 증가시키는 것이 아니라 장내 수분 유지와 변의 연화에도 기여함으로써 변비 완화에 복합적으로 작용함을 의미한다.

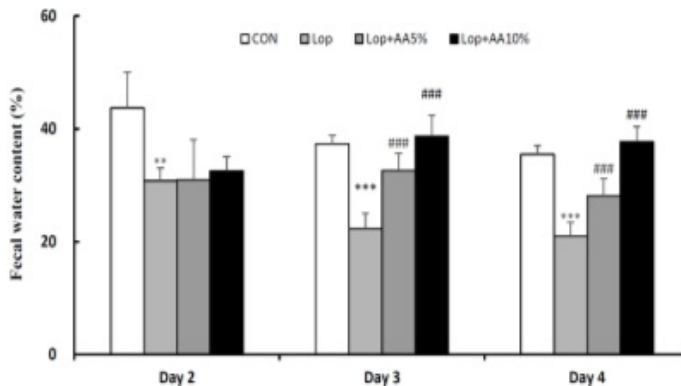


그림 3. 로페라마이드로 투여 변비 유도 랫드에서의 변의 수분함량

원위 결장 내 잔류 변량을 조사한 결과에서도 토종다래의 효과가 명확하게 확인되었다. 정상 대조군의 잔류 변 개수는 평균 4.0개였으나, loperamide 처리군에서는 7.0개로 유의적으로 증가하여 장내 변 정체와 심화된 상태를 나타냈다. 이에 비해 토종다래 5% 및 10% 첨가군에서는 잔류 변 개수가 각각 5.2개와 4.4개로 감소하였으며, 특히 10% 첨가군은 정상대조군 수준에 가까운 회복 양상을 보였다. 결장 형태를 시각적으로 비교한 결과에서도 loperamide 처리군은 장 내 변 저류가 뚜렷하게 관찰된 반면, 토종다래 첨가군은 장내 정체가 완화된 모습을 보여 정량 결과와 일치하였다(그림 4). 이러한 결과는 토종다래가 결장 통과시간을 개선하고 장내 내용물의 정체를 줄이는 데 기여함을 보여준다.

조직학적 관찰 결과, loperamide 처리군은 정상대조군에 비해 점막층이 얇아지고 crypt 구조가 불규칙해지며 상피 높이가 감소하는 등 대장 조직의 형태학적 손상이 뚜렷하게 나타났다. 반면 토종다래 첨가군에서는 점막 주름과 crypt 구조가 보다 규칙적으로 회복되었으며, 전반적인 대장 조직 구조가 정상군에 가까워지는

경향을 보였다(그림 5). 정량 분석에서도 이러한 경향이 분명하게 확인되었는데, 점막층 두께는 정상대조군 315.1  $\mu\text{m}$ 에 비해 loperamide 처리군에서 244.9  $\mu\text{m}$ 로 유의적으로 감소하였으나, 토종다래 5% 및 10% 첨가군에서는 각각 304.8  $\mu\text{m}$ 와 334.3  $\mu\text{m}$ 로 회복되었고, 특히 10% 첨가군에서 가장 뚜렷한 개선 효과를 나타냈다. 장근육층 두께 역시 정상대조군 239.2  $\mu\text{m}$ 에서 loperamide 처리군 195.5  $\mu\text{m}$ 로 감소하였으나, 토종다래 5% 및 10% 첨가군에서는 각각 224.0  $\mu\text{m}$ 와 233.9  $\mu\text{m}$ 로 회복되어 장 운동과 관련된 구조적 기반이 개선된 것으로 판단된다(그림 6).

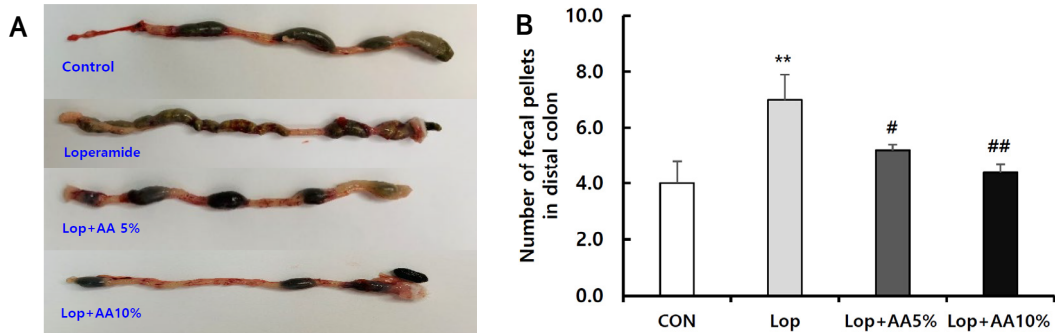


그림 4. 원위 결장의 대표 형태 및 변 잔류 정도

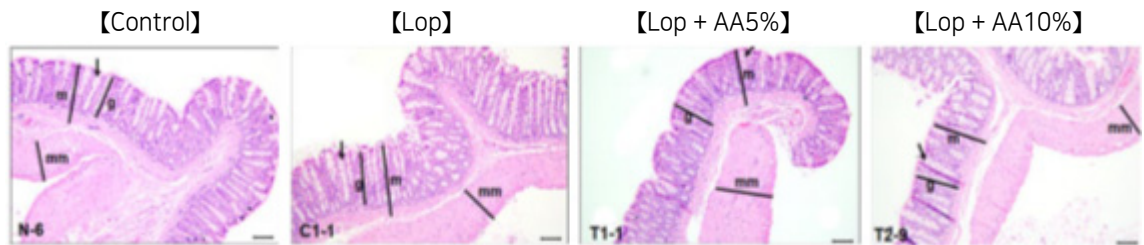


그림 5. 각 처리군의 대표적인 대장 조직학적 특징

점액 분비와 관련된 goblet cell의 변화 또한 중요한 결과를 보여주었다. goblet cell 수는 정상 대조군 21.1 cells/gland에 비해 loperamide 처리군에서 26.1 cells/gland로 증가하였고, 토종다래 5% 및 10% 첨가군에서는 각각 23.7 및 22.3 cells/gland로 감소하여 정상 범위로 회복되는 경향을 보였다. goblet cell depth 역시 정상대조군보다 loperamide 처리군에서 현저히 증가하였으나, 토종다래 첨가군에서 유의적으로 감소하였다(그림 7). 이는 변비 상태에서 점액 분비 장애로 인해 goblet cell 내 mucin 축적이 증가한 반면, 토종다래 섭취가 mucin 분비 효율과 점액층 항상성을 회복시키는 데 기여했음을 시사한다. 점액층은 장 상피를 기계적·화학적 자극으로부터 보호하고 장벽 기능을 유지하는 데 핵심적인 역할을 하므로, 이러한 회복 효과는 토종다래의 장 건강 개선 기능을 설명하는 중요한 기전적 근거가 된다.

이상의 결과를 종합하면, 토종다래는 loperamide로 유도된 변비 모델에서 변의 중량, 배변 개수 및 수분함량을 개선하고, 결장 내 잔류 변을 감소시키며, 점막층과 장근육층의 구조적 손상을 완화하고 goblet cell 기능을 정상화함으로써 다면적인 변비 개선 효과를 나타내었다. 특히 10% 첨가군에서 효과가 더욱 뚜렷하게 나타나 토종다래의 작용이 용량 의존적일 가능성을 보여주었다. 이러한 결과는 토종다래가 장 운동성 개선, 변의 수분 유지, 결장 통과 촉진 및 점막 장벽 회복을 통해 변비를 완화할 수 있음을 시사하며, 향후 장 건강 증진을 위한 기능성 식품 소재로 활용될 가능성을 뒷받침한다.

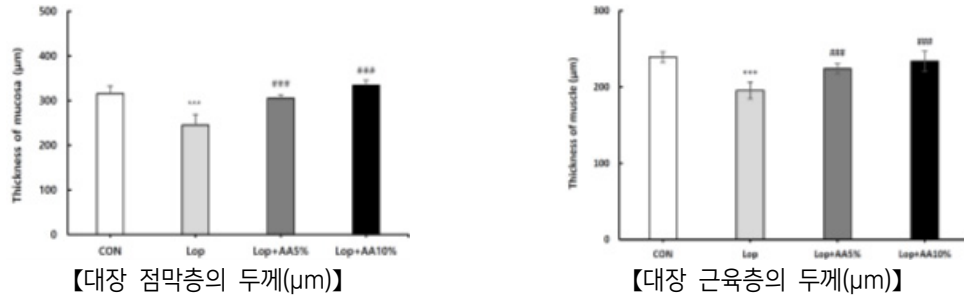


그림 6. 대장의 점막층 및 근육층의 두께

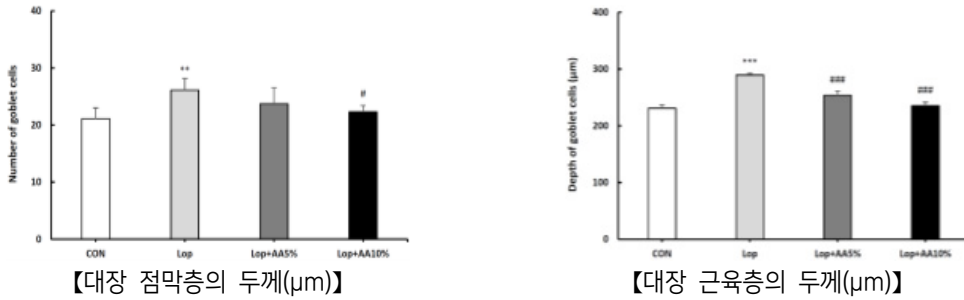


그림 7. 원위 결장에서 배상세포(Goblet cell)의 개수 및 깊이

### (시험 2) 토종다래 내 효소 활성 검정

토종다래의 효소 활성을 검정한 결과, 후숙된 가식부위를 이용한 조효소액 추출 공정이 안정적으로 확립되었으며, Protein lysis buffer를 이용한 저온 추출, 여과 및 원심분리 과정을 통해 효소 활성 분석에 적합한 조추출액을 확보할 수 있었다(그림 8). 이러한 추출 공정은 토종다래 내 단백질분해효소의 활성을 유지하면서 추출 효율을 확보하기 위한 조건으로 판단되며, 후숙 기능성 검정의 기초 공정으로 활용 가능성이 높았다.

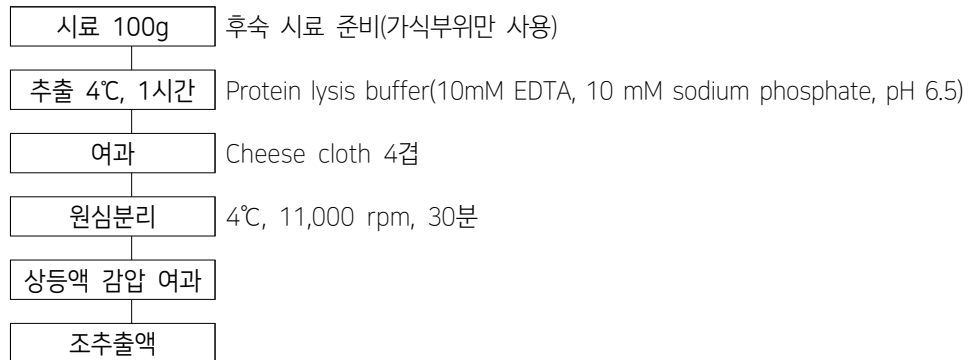


그림 8. 토종다래의 조효소액 추출 과정

토종다래 3 품종(청산, 그린하트, 스키니그린)의 숙기별 액티니딘 함량과 단백질분해효소 활성을 분석한 결과, 품종 및 숙기에 따라 뚜렷한 차이가 나타났다. SDS-PAGE 분석 결과, 모든 품종에서 액티니딘에 해당하는 밴드가 확인되었으며, 밴드의 진하기는 숙성과정에 따라 변화하는 양상을 보였다. 특히 후숙 단계 시료에서

전반적으로 밴드가 더 뚜렷하게 나타나, 토종다래의 주요 단백질분해효소인 액티니딘이 숙성 과정에서 증가하거나 활성화됨을 알 수 있다(그림 9). 이는 토종다래가 후숙됨에 따라 효소적 특성이 강화된다는 점을 시각적으로 보여주는 결과로 판단된다. 액티니딘 함량을 정량 분석한 결과에서도 이러한 경향은 명확하게 확인되었다. 3개 품종 모두 후숙 단계에서 액티니딘 함량이 가장 높게 나타났으며, 이는 액티니딘이 숙성에 따라 발현 또는 활성 수준이 증가하는 단백질이라는 일반적인 경향과 일치하였다. 품종별로 보면 청산은 미숙과 후숙 단계에서 비교적 유사한 수준을 보였으나 적숙 단계에서 다소 낮아졌고, 그린하트는 미숙과 적숙 단계에서도 높은 함량을 유지하면서 후숙 단계에서 가장 높은 수준으로 증가하였다. 스키니그린은 미숙 단계에서 매우 낮은 함량을 보였으나 적숙 이후 급격히 증가하여 후숙 단계에서 높은 수준에 도달하였다. 특히 후숙 그린하트의 액티니딘 함량이 가장 높게 나타나 품종 간 차이도 뚜렷하였다. 이러한 결과는 토종다래의 효소 소재 활용성을 극대화하기 위해서는 품종 선택과 함께 숙기 조절의 중요함을 보여준다.

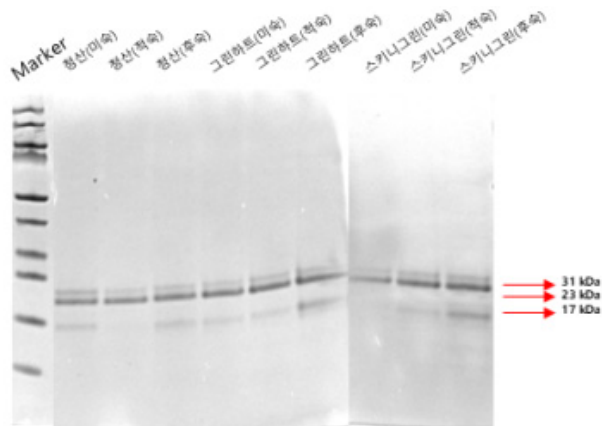
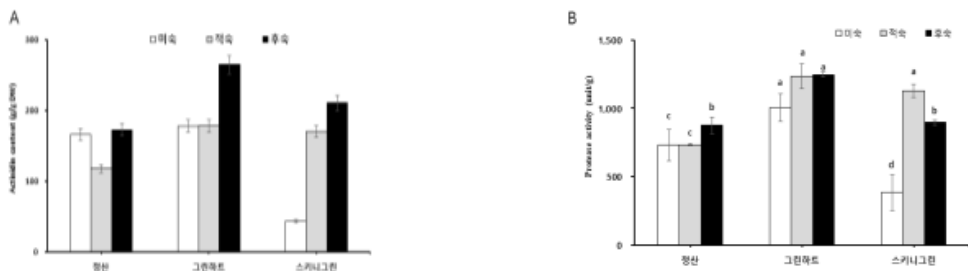


그림 9. 수확시기에 따른 토종다래에서 추출한 액티니딘의 SDS-PAGE 분석

단백질분해효소 활성 또한 전반적으로 숙기가 증가할수록 높아지는 경향을 나타냈다. 청산은 미숙 단계보다 후숙 단계에서 효소 활성이 증가하였고, 그린하트는 전 숙기에서 높은 활성을 나타내면서 특히 적숙 및 후숙 단계에서 가장 우수한 활성을 보였다. 반면 스키니그린은 미숙 단계에서 가장 낮은 활성을 보였으나 적숙 단계에서 급격히 증가하였고, 후숙 단계에서도 높은 활성을 유지하였다. 전체적으로는 그린하트의 단백질분해효소 활성이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 이는 액티니딘 함량이 높게 나타난 결과와도 잘 일치하였다. 또한 숙기 및 품종 간 통계적 유의차가 확인되어, 토종다래의 단백질분해효소 활성은 단순한 과실 성숙 정도뿐 아니라 유전적 특성에 의해서도 영향을 받는 것으로 판단된다(그림 10).



【토종다래의 품종 및 숙기별 액티니딘 함량】

【토종다래의 단백질분해효소 활성(%)】

그림 10. 토종다래의 품종 및 숙기별 액티니딘 함량 (A) 및 단백질분해효소 활성 비교 (B)

이상의 결과를 종합하면, 토종다래의 액티니딘 함량과 단백질분해효소 활성은 숙성에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 특히 후숙 단계에서 그 특성이 가장 우수하였다. 또한 품종 간에는 그린하트가 가장 우수한 효소 활성을 나타내어 기능성 효소 소재로서 활용 가능성이 가장 높은 것으로 판단된다. 반면 스키니그린은 미숙 단계에서는 활성이 낮았으나 숙성이 진행됨에 따라 급격한 증가를 보여 숙기 조절에 따라 활용성이 높아질 수 있음을 시사한다. 따라서 토종다래를 효소 소재 또는 연육 소재로 산업화하고자 할 경우, 후숙 과실을 원료로 활용하는 것이 유리하며, 품종 측면에서는 그린하트가 가장 적합한 자원으로 판단된다. 이러한 결과는 향후 토종다래의 기능성 식품 소재화 및 식육가공용 천연 효소 개발을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

### (시험 3) 토종다래 내 효소활용 연육 효과 검정

토종다래 조효소액의 연육 효과를 검정한 결과, 한돈 사태와 한우 사태 모두에서 전단력이 뚜렷하게 감소하여 유의적인 연육 효과가 확인되었다. 한돈 사태의 경우 전단력은 대조구가 623.8 N으로 가장 높았고, 물 처리구는 464.6 N, 골드키위 처리구는 438.7 N, 그린키위 처리구는 410.5 N, 토종다래 처리구는 385.6 N으로 나타났다. 특히 스키니그린 처리구는 373.4 N으로 가장 낮은 전단력을 보여 가장 우수한 연육 효과를 나타냈으며, 토종다래 처리구도 그린키위보다 낮은 수치를 보여 매우 우수한 연육 활성을 나타냈다. 즉, 토종다래 조효소액은 한돈 사태의 조직을 효과적으로 연화시켰으며, 기존에 연육 효과가 알려진 키위류와 비교해도 경쟁력 있는 수준으로 판단된다(표 2).

표 2. 품종별 전단력 검정

시료명	전단력(shear force, N)
Control	623.8a
물	464.6b
골드키위	438.7c
그린키위	410.5d
토종다래	385.6de
스키니그린(그린키위 X 토종다래)	373.4e

한돈 사태의 육색 분석 결과, 명도(L)는 대조구 47.9, 물 처리구 57.4, 골드키위 48.6, 그린키위 47.6, 토종다래 47.1, 스키니그린 45.9로 나타나 토종다래 처리구는 대조구와 유사한 수준을 유지하였다. 적색도(a)는 대조구 6.1, 토종다래 처리구 4.6으로 다소 감소하였고, 황색도(b)는 대조구 11.8에서 토종다래 처리구 8.3으로 낮아졌다. 이는 토종다래 조효소액 처리 시 연육 효과는 크지만 육색, 특히 적색도와 황색도는 다소 낮아질 수 있음을 시사한다. 그러나 값의 변화 폭이 극단적이지 않아 실제 가공 시 품질 저하로 단정하기보다는 처리 조건에 따른 색 안정성 검토가 추가로 필요할 것으로 보인다(표 3).

한돈 사태의 가열감량과 보수력을 비교한 결과, 대조구의 가열감량은 31.1%, 보수력은 55.2%였고, 토종다래 처리구는 가열감량 38.5%, 보수력 68.1%로 나타났다. 이는 토종다래 처리 시 가열과정 중 손실은 증가하지만 수분을 보유하는 능력은 향상됨을 의미한다. 특히 보수력은 대조구보다 12.9%p 높아졌으며, 골드키위 처리구의 68.6%와 유사하고, 그린키위 처리구 73.5%보다는 다소 낮았다. 반면 가열감량은 전체 처리구 중 높은 편에 속하여, 토종다래 조효소액이 근육 단백질 분해를 촉진하면서 조직 내 수분 이동 특성을 함께 변화시킨 것으로 판단된다. 따라서 한돈 사태에서는 토종다래가 연육 효과와 보수력 향상 측면에서 유리하나, 가열감량 증가를 최소화할 수 있는 처리 농도 및 시간의 세부 조정이 필요하다(표 4).

표 3. 품종별 육색 측정

시료명	Hunter's color value		
	L(명도)	a(적색도)	b(황색도)
Control	47.9NS	6.1	11.8
물	57.4	3.1	8.6
골드키위	48.6	5.4	9.6
그린키위	47.6	6.8	9.9
토종다래	47.1	4.6	8.3
스키니그린(그린키위 X 토종다래)	45.9	4.2	7.7

표 4. 품종별 가열감량(cooking loss) 및 보수력(water holding capacity) 측정

시료명	CL(%)	WHC(%)
Control	31.1c	55.2d
물	32.7b	65.9c
골드키위	37.6a	68.6b
그린키위	33.2b	73.5a
토종다래	38.5a	68.1b
스키니그린(그린키위 X 토종다래)	30.4c	66.1c

한우 사태에서도 토종다래 조효소액의 연육 효과는 더욱 분명하게 나타났다. 전단력은 대조구 1464.6 N에서 물 처리구 1196.0 N으로 감소하였고, 골드키위 처리구는 648.1 N, 그린키위 처리구는 514.7 N, 토종다래 처리구는 571.4 N, 스킨그린 처리구는 433.0 N으로 나타났다. 토종다래 처리구는 대조구 대비 약 61.0% 수준까지 전단력을 낮추어 매우 우수한 연육 효과를 보였으며, 골드키위보다 낮고 그린키위와도 근접한 수치를 보여 한우 사태의 조직을 효과적으로 연화시키는 것으로 판단된다. 특히 한돈보다 한우에서 대조구와 처리구 간 전단력 차이가 더 크게 나타나, 토종다래 효소의 연육 효과가 질긴 육질의 개선에 더욱 유리할 가능성을 시사한다(표 5). 한우 사태의 육색은 명도(L)가 대조구 34.3에서 토종다래 처리구 38.2로 다소 증가하였고, 적색도(a)는 13.0에서 10.1로 감소하였으며, 황색도(b)는 7.9에서 9.0으로 다소 증가하였다. 즉, 토종다래 처리에 따라 한우 사태는 다소 밝아지고 적색도는 낮아지는 경향을 보였으나, 전반적으로 다른 과일 처리구와 유사 범위 내의 변화를 보여 급격한 품질 저하는 아닌 것으로 판단된다. 특히 물 처리구의 명도는 44.6으로 가장 높았고, 토종다래 처리구는 그보다 낮아 상대적으로 안정적인 색 특성을 유지한 것으로 볼 수 있다(표 6).

표 5. 품종별 전단력 측정

시료명	전단력(shear force, N)
Control	1,464.6a
물	1,196.0b
골드키위	648.1c
그린키위	514.7e
토종다래	571.4d
스키니그린(그린키위 X 토종다래)	433.0f

표 6. 품종별 육색 측정

시료명	Hunter's color value		
	L(명도)	a(적색도)	b(황색도)
Control	34.3	13.0	7.9
물	44.6	10.5	11.1
골드키위	36.7	9.2	7.6
그린키위	37.5	9.0	6.7
토종다래	38.2	10.1	9.0
스키니그린(그린키위 X 토종다래)	36.3	9.5	7.1

한우 사태의 가열감량과 보수력에서는 토종다래 처리구의 특성이 더욱 두드러졌다. 대조구의 가열감량은 17.7%, 보수력은 50.7%였으나, 토종다래 처리구는 가열감량 39.0%, 보수력 69.0%로 나타났다. 이는 대조구 대비 가열감량이 크게 증가한 반면 보수력은 18.3%p 향상된 것으로, 토종다래 효소 처리로 조직 연화와 수분 결합력 증대가 동시에 일어났음을 의미한다. 보수력은 모든 처리구 중 가장 높은 수치였으며, 그린키위 처리구 64.0%, 골드키위 처리구 59.4%보다도 우수하였다. 반면 가열감량은 모든 처리구 중 가장 높아 실제 가공 적용 시에는 연육 효과를 유지하면서 가열 중 손실을 줄일 수 있는 공정 최적화가 필요하다(표 7).

표 7. 품종별 가열감량(cooking loss) 및 보수력(water holding capacity) 측정

시료명	CL(%)	WHC(%)
Control	17.7d	50.7f
물	34.2b	61.2d
골드키위	33.5b	59.4d
그린키위	35.4b	64.0b
토종다래	39.0a	69.0a
스키니그린(그린키위 X 토종다래)	30.7c	54.8e

이상의 결과를 통해, 토종다래 조효소액은 한돈과 한우 사태 모두에서 전단력을 현저히 감소시켜 우수한 연육 효과를 나타냈으며, 특히 한우에서는 보수력 향상 효과가 가장 뚜렷하였다. 한돈 사태에서는 전단력이 623.8 N에서 385.6 N으로, 한우 사태에서는 1464.6 N에서 571.4 N으로 감소하여 토종다래 효소의 실질적인 육질 개선 효과가 확인되었다. 또한 보수력은 한돈에서 68.1%, 한우에서 69.0%로 높게 나타나 가공 적성 향상 가능성을 보여주었다. 다만 가열감량이 각각 38.5%와 39.0%로 증가하는 경향이 있어, 산업적 적용을 위해서는 효소 처리 농도, 처리 시간 및 가열 조건을 정밀하게 설정할 필요가 있다. 그럼에도 불구하고 토종다래는 국내 육가공 분야에서 활용 가능한 천연 연육 소재로서 충분한 잠재력을 가진 것으로 판단된다.

#### (시험 4) 토종다래 줄기의 시기별 항염 활성

토종다래 줄기의 시기별 기능성 차이를 검토한 결과, 추출 수율은 추출용매와 전정 시기에 따라 상이한 경향을 나타내었다. 에탄올 추출의 경우 동계전정 줄기는 대보 4.3%, 청산 3.9%, 그린하트 4.2%였으며, 하계전정 줄기는 각각 6.7%, 6.1%, 5.0%로 나타나 전반적으로 하계전정 시료에서 추출 수율이 높았다.

반면 물 추출에서는 동계전정 줄기가 대보 16.9%, 청산 15.1%, 그린하트 16.0%로 하계전정 줄기(각각 13.1%, 12.8%, 11.4%)보다 높은 수율을 보였다. 이는 전정 시기와 추출용매에 따라 추출되는 성분군의 특성이 다르다는 점을 시사하며, 다래줄기의 기능성 소재화 과정에서 목적 성분에 따라 적절한 전처리 및 용매 선택이 필요함을 보여준다.

표 8. 동계 및 하계전정 다래줄기의 추출 수율(%)

동계 전정			하계 전정		
추출용매	품 종	추출수율(%)	추출용매	품 종	추출수율(%)
에탄올	대보	4.3	에탄올	대보	6.7
	청산	3.9		청산	6.1
	그린하트	4.2		그린하트	5.0
물	대보	16.9	물	대보	13.1
	청산	15.1		청산	12.8
	그린하트	16.0		그린하트	11.4

총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량 분석 결과, 두 성분 모두 에탄올 및 물 추출 조건에서 공통적으로 동계전정 줄기 추출물 > 하계전정 줄기 추출물의 경향을 나타냈다. 또한 총폴리페놀 함량은 품종별로 청산 > 그린하트 > 대보 순으로 높게 나타났다. 이러한 결과는 동계전정 시기 줄기가 하계전정 줄기보다 항산화 관련 2차 대사산물을 더 많이 축적하고 있음을 의미하며, 특히 청산 품종이 페놀성 화합물 함량 측면에서 가장 우수한 자원임을 시사한다. 폴리페놀과 플라보노이드는 식물 유래 항산화·항염 활성의 주요 지표 성분으로 알려져 있으므로, 동계전정 줄기의 높은 함량은 이후 항산화 및 항염 활성 결과와도 밀접하게 연결되는 것으로 판단된다(그림 11, 12).

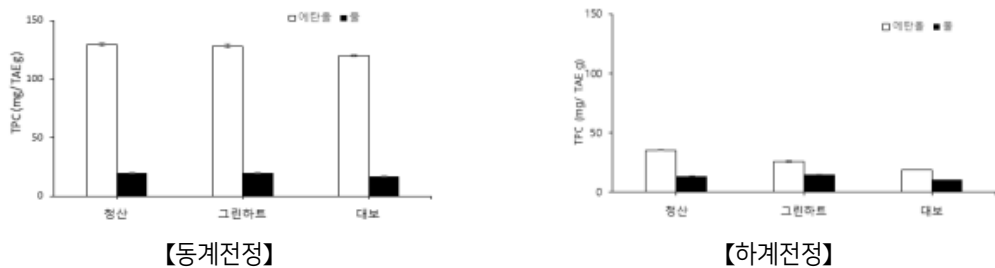


그림 11. 토종다래 줄기 추출물의 총폴리페놀 함량

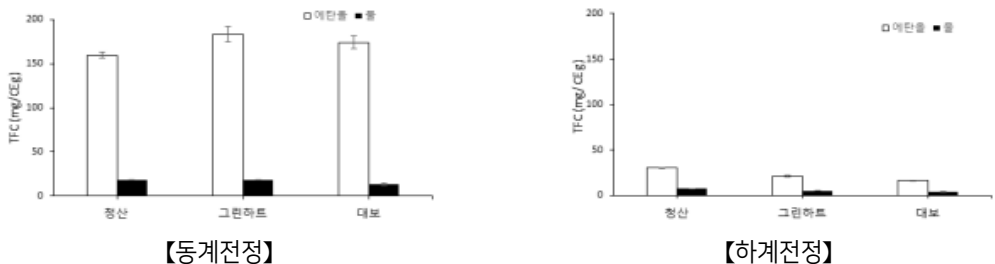


그림 12. 토종다래 줄기 추출물의 총플라보노이드 함량

항산화 활성 분석에서도 전정 시기에 따른 차이가 확인되었다. ABTS 라디칼 소거능은 에탄올 추출물에서 동계전정 > 하계전정의 경향을 보인 반면, 물 추출물에서는 하계전정 > 동계전정의 경향이 나타났다. 이는 ABTS 반응에 관여하는 항산화 성분의 조성이 추출용매에 따라 달라질 수 있음을 의미하며, 동계전정 줄기에는 에탄올에 잘 용출되는 항산화 성분이, 하계전정 줄기에는 물에 상대적으로 잘 추출되는 일부 항산화 성분이 더 많이 존재할 가능성을 시사한다. 그러나 DPPH 라디칼 소거능의 경우에는 에탄올 및 물 추출물 모두에서 동계전정 > 하계전정의 경향이 일관되게 나타나, 전체적으로는 동계전정 줄기의 항산화 활성이 더 우수한 것으로 판단된다(그림 13, 14). 이러한 결과는 동계전정 줄기가 자유라디칼 소거 측면에서 더 높은 기능성을 지니며, 기능성 소재 원료로 활용할 경우 동계전정 부산물의 가치가 더 높을 수 있음을 보여준다.

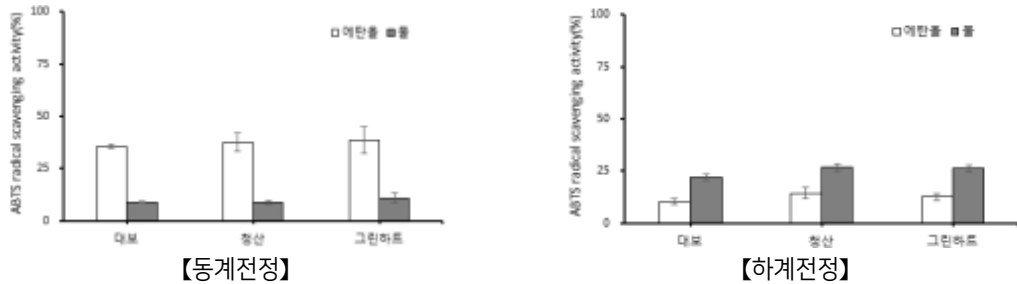


그림 13. 토종다래 줄기 추출물의 ABTS 라디칼 소거능

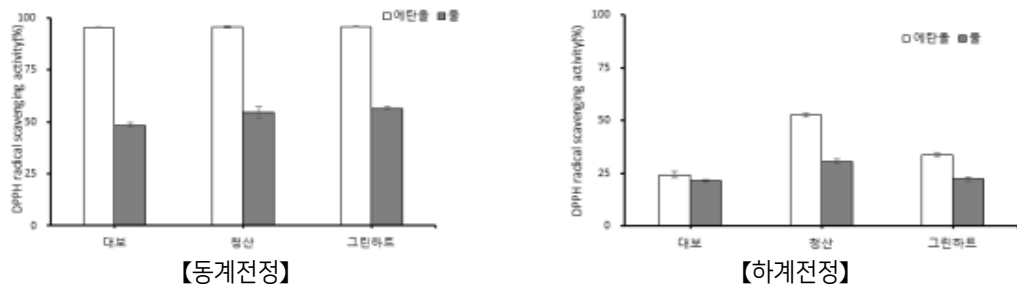


그림 14. 토종다래 줄기 추출물의 DPPH 라디칼 소거능

RAW 264.7 세포를 이용한 항염 활성 평가 결과, 동계 및 하계전정 줄기 추출물은 모두 100  $\mu\text{g/ml}$  이하 농도에서 세포독성을 나타내지 않았다. 이는 다래줄기 추출물이 세포 수준에서 비교적 안전하게 적용될 수 있음을 의미하며, 이후 관찰된 NO 생성 억제 효과가 세포 손상에 의한 비특이적 반응이 아니라 추출물 자체의 항염 활성에 기인한 것임을 뒷받침한다(그림 15). 일반적으로 세포독성이 없는 범위에서 염증성 지표를 억제하는 소재는 기능성 식품 또는 천연물 기반 소재로서 활용 가능성이 높으므로, 다래줄기 추출물 역시 항염 소재 후보로서의 기초 조건을 충족한 것으로 판단된다. NO 생성 억제능을 비교한 결과, 전반적으로 동계전정 줄기 추출물의 항염 활성이 하계전정 줄기 추출물보다 우수하였다. 또한 에탄올 추출물 기준 품종별 NO 생성 억제 경향은 그린하트 > 청산 > 대보 순으로 나타났다. 이는 항산화 성분 함량이 높다고 해서 반드시 항염 활성 순위와 완전히 일치하는 것은 아니며, 품종별로 함유된 개별 활성 성분의 조성 차이가 항염 활성에 영향을 미친 것으로 해석할 수 있다. 즉, 총폴리페놀 함량은 청산이 가장 높았지만, NO 억제능은 그린하트가 가장 우수하여 항염 활성 측면에서는 그린하트 품종의 활용 가치가 더 클 가능성을 보여준다(그림 16).

따라서 토종다래 줄기의 기능성 평가는 단순한 총함량 지표뿐 아니라 실제 생리활성 검정을 함께 수행해야 함을 시사한다.

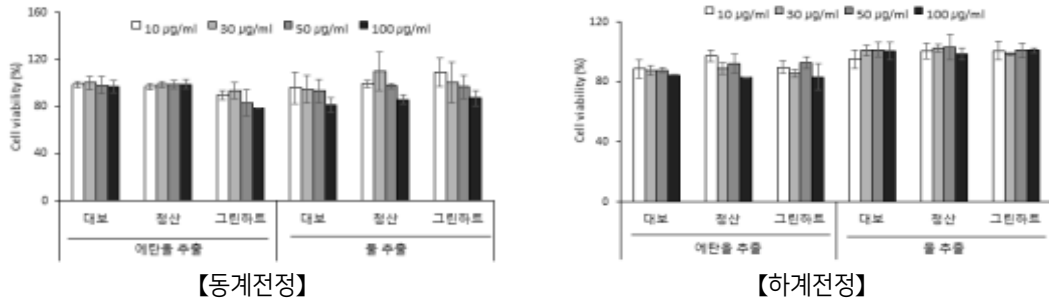


그림 15. 다래줄기 추출물의 RAW 264.7 세포 독성

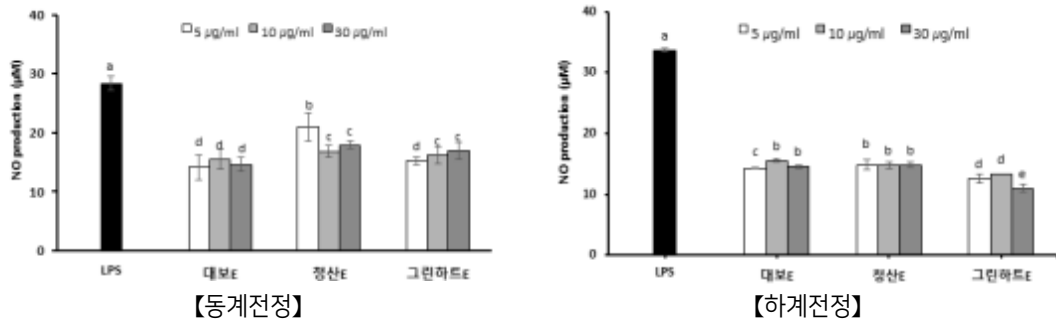


그림 16. 다래줄기 추출물의 NO 생성량

토종다래 전정 줄기는 항산화 및 항염 활성을 지닌 유용한 부산물 자원으로 평가되며, 특히 동계전정 줄기는 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량이 높고 DPPH 라디칼 소거능과 NO 생성 억제 효과가 우수하여 기능성 소재화에 더욱 적합한 것으로 판단된다. 품종별로는 총폴리페놀 함량은 청산이 우수하였으나, 항염 활성은 그린하트가 가장 우수하여 활용 목적에 따라 품종 선택을 달리할 필요가 있다. 따라서 토종다래 줄기는 단순 폐기 대상이 아닌 고부가가치 항산화·항염 소재로 활용 가능성이 높으며, 향후 활성 성분 분리·동정과 작용기전 구명을 통해 기능성 식품, 천연 항염 소재 또는 업사이클링 자원으로의 산업화가 가능할 것으로 판단된다.

## <제2세부과제: 농업부산물 업사이클링 소재 개발>

### (시험 1) 감자껍질의 유효성분 분석

감자껍질과 감자속을 에탄올 및 물로 추출한 시료의 유효성분 함량을 비교한 결과, 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량은 모두 감자껍질 에탄올 추출물(PPE)에서 가장 높게 나타났다. 총폴리페놀 함량은 PPE가 12.4 mg TAE/g dw로 가장 높았고, 이어 감자속 물 추출물(PW) 10.6 mg TAE/g dw, 감자속 에탄올 추출물(PE) 9.3 mg TAE/g dw, 감자껍질 물 추출물(PPW) 8.6 mg TAE/g dw 순으로 나타났다. 총플라보노이드 함량 또한 PPE가 25.3 mg CE/g dw로 가장 높았으며, PPW는 10.3 mg CE/g dw, PW는 6.7 mg CE/g dw, PE는 5.7 mg CE/g dw로 분석되었다(표 9). 이러한 결과는 감자 유래 기능성 성분이 감자속보다 감자껍질에 더 풍부하게 존재하며, 특히 에탄올 추출이 유효성분 회수에 보다 효과적임을 보여준다.

항산화 활성 평가에서도 동일한 경향이 확인되었다. DPPH 라디칼 소거능은 PPE가 87.5%로 가장 높았고, PE 85.1%, PW 55.7%, PPW 27.9% 순으로 나타나 PPE의 활성이 가장 우수하였다. ABTS 라디칼 소거능 역시 PPE가 55.2%로 가장 높았으며, PE 50.8%, PW 44.8%, PPW 44.0%로 분석되었다(표 10). 특히 PPE는 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량이 가장 높았을 뿐만 아니라 DPPH와 ABTS 라디칼 소거능에서도 모두 우수한 활성을 나타내어, 감자껍질 에탄올 추출물이 항산화 기능성 소재로서 가장 높은 활용 가능성을 지닌 것으로 판단된다. 이는 감자껍질이 단순 폐기 부산물이 아니라, 천연 항산화 성분을 다량 함유한 고부가가치 업사이클링 자원임을 시사한다.

표 9. 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량 분석

시료명	Total Phenolics (mg TAE/g dw)	Total Flavonoids (mg CE/g dw)
PPE	12.4a	25.3a
PPW	8.6c	10.3b
PE	9.3c	5.7c
PW	10.6b	6.7c

※ PPE, 감자껍질에탄올추출물; PPW, 감자껍질물추출물; PE, 감자속에탄올추출물; PW, 감자껍질물추출물.  
 ※  $p < 0.05$  by DMRT.

표 10. ABTS 라디칼 및 DPPH 라디칼 소거능

시료명	DPPH scavenging activity (%, 10 mg/mL)	ABTS scavenging activity (%, 10 mg/mL)
PPE	87.5a	55.2a
PPW	27.9d	44.0c
PE	85.1b	50.8b
PW	55.7c	44.8c

※  $p < 0.05$  by DMRT.

## (시험 2) 감자껍질의 피부 진정 효능 검증

감자껍질 에탄올 추출물(PPE)의 피부 진정 및 피부노화 개선 가능성을 평가하고자 각질형성세포(HaCaT)와 피부섬유아세포(HDF)를 이용한 실험을 수행한 결과, PPE는 전반적으로 세포 독성을 나타내지 않으면서 피부세포의 생존 및 회복을 촉진하고, 자외선으로 유도된 산화적 손상과 세포 노화를 효과적으로 완화하는 것으로 확인되었다. 먼저 HaCaT 세포를 대상으로 농도별 세포 생존율을 측정할 결과, PPE 처리군은 시험한 농도 범위 내에서 유의적인 독성을 나타내지 않았으며, 일부 농도에서는 대조군 대비 세포 생존율이 증가하는 경향을 보였다(그림 17). 특히 PPE를 50  $\mu\text{g/ml}$ , 100  $\mu\text{g/ml}$ , 200  $\mu\text{g/ml}$  농도로 처리하였을 때 세포 생존율은 각각 102.6%, 102.4%, 101.8%로 나타나 대조군 수준 이상을 유지하거나 이를 상회하였으며, 이는 감자껍질 추출물이 피부 자극 없이 비교적 안전하게 적용될 수 있음을 알 수 있다. 또한 이러한 결과는 감자껍질 유래 유효성분이 각질형성세포의 대사 활성 유지에 긍정적으로 작용할 가능성을 보여준다.

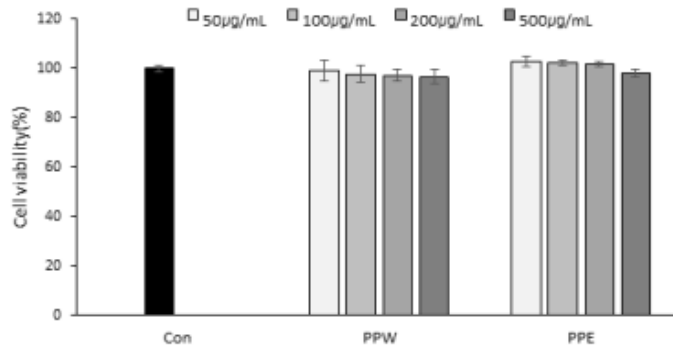


그림 17. 감자껍질 추출물의 HaCaT 세포 독성

세포 재생 및 피부 진정과 관련된 상처치유 효능을 확인하기 위해 HaCaT 세포에 스크래치 실험을 수행한 결과, PPE 처리군은 무처리군에 비해 상처면의 폐쇄 속도가 더 빠르게 나타났다(그림 18). 스크래치 직후 동일한 간격으로 형성된 세포 공백은 19시간 경과 후 대조군에서 13.2% 수준의 회복률을 나타낸 반면, PPE 100 µg/ml 처리군에서는 50.1% 수준으로 더 높은 회복률을 보였으며, 특히 300 µg/ml 농도 처리군에서 가장 우수한 세포 이동 및 상처 폐쇄 효과가 관찰되었다(그림 19). 이는 PPE가 단순히 세포 생존을 유지하는 수준을 넘어, 손상된 피부 환경에서 각질형성세포의 이동과 증식을 촉진함으로써 피부 장벽 회복에 기여할 수 있음을 의미한다. 피부 진정 소재는 자극 억제뿐 아니라 손상된 표피의 빠른 복구 능력이 중요하므로, 이러한 결과는 감자껍질 추출물이 기능성 화장품 또는 피부 보호 소재로 활용될 가능성을 뒷받침 한다.

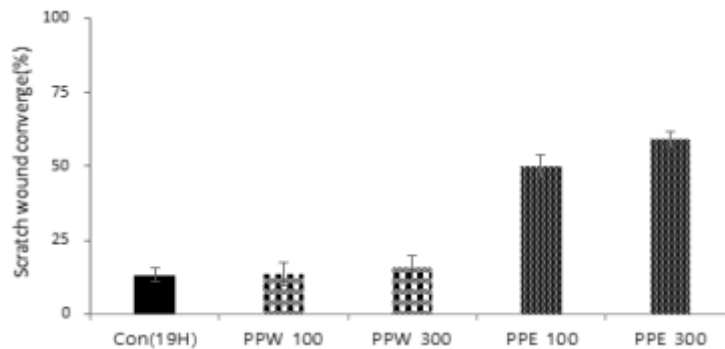
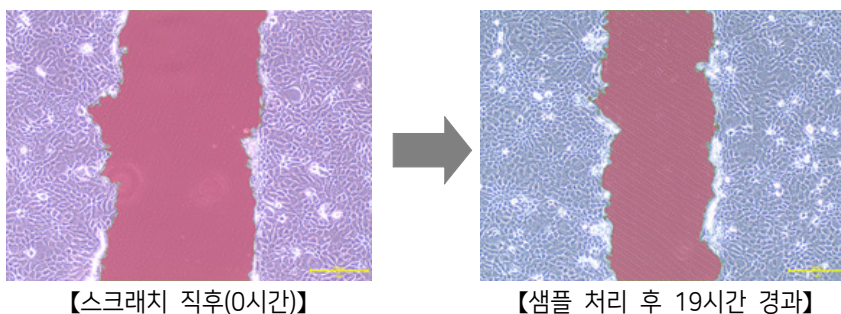


그림 18. HaCaT 세포에서 감자껍질추출물 처리 시 세포 회복 정도



【스크래치 직후(0시간)】

【샘플 처리 후 19시간 경과】

그림 19. HaCaT 세포에서 PPE 처리 시 19시간 경과 회복 정도

HDF 세포를 이용하여 감자껍질 추출물의 세포독성을 평가한 결과, 감자껍질 물 추출물(PPW)은 50, 100, 200 및 500  $\mu\text{g/ml}$ 의 처리 농도에서 전반적으로 대조군과 유사한 수준의 세포 생존율을 나타내어 뚜렷한 세포독성을 보이지 않았다(그림 20). PPW 처리군의 세포 생존율은 50  $\mu\text{g/ml}$ 에서 99.3%, 100  $\mu\text{g/ml}$ 에서 97.6%, 200  $\mu\text{g/ml}$ 에서 97.2%, 500  $\mu\text{g/ml}$ 에서 96.7%로 나타나, 모든 농도에서 비교적 안정적인 세포 생존 양상을 유지하였다. 이러한 결과는 감자껍질 물 추출물이 HDF 세포에 대해 비교적 안전한 소재로 활용될 가능성이 있음을 시사한다. 감자껍질 에탄올 추출물(PPE)은 50, 100 및 200  $\mu\text{g/ml}$  처리구에서 각각 102.6%, 10.24%, 101.8%의 세포 생존율을 나타내어 저농도 및 중간 농도 범위에서는 대조군과 유사한 수준을 유지하였으며, 유의적인 세포독성은 관찰되지 않았다.

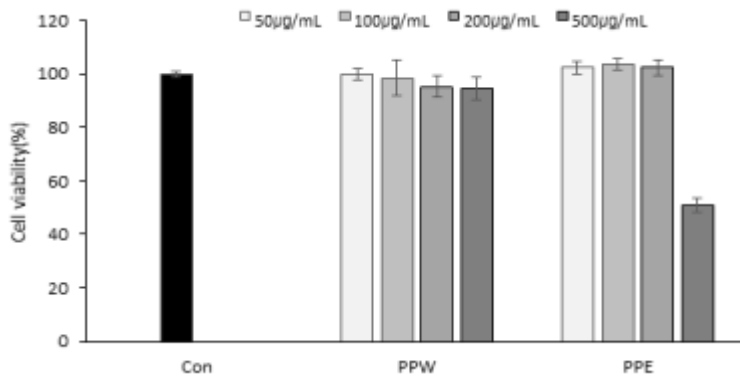


그림 20. 감자껍질 추출물의 HDF 세포 독성

감자껍질 물 추출물(PPW) 처리군에서는 50, 100 및 200  $\mu\text{g/ml}$  농도에서 type I procollagen 함량이 각각 16.6, 18.1, 18.7  $\text{ng/ml}$ 로 나타나, UVB 무처리군에 비해 전반적으로 증가하는 경향을 보였다(그림 21). 특히 농도가 증가함에 따라 procollagen 생성량이 점진적으로 회복되는 양상을 나타내어, PPW가 UVB에 의해 저하된 콜라겐 생성능을 일정 부분 개선하는 데 기여할 수 있음을 나타낸다. 다만 그 회복 수준은 정상 대조군에는 미치지 못하여, 물 추출물의 효과는 부분적인 보호 수준으로 해석된다. 반면 감자껍질 에탄올 추출물(PPE) 처리군에서는 50, 100 및 200  $\mu\text{g/ml}$  농도에서 type I procollagen 함량이 각각 27.5, 27.8, 26.3  $\text{ng/ml}$ 로 나타났으며(그림 21), 전 농도 구간에서 PPW 처리군보다 높은 수준을 유지하였다. 특히 PPE 처리군은 UVB 무처리군 대비 뚜렷한 회복 양상을 보였고, 일부 농도에서는 정상 대조군에 근접한 수준까지 증가하는 경향을 보여 감자껍질 에탄올 추출물이 콜라겐 생성 회복에 보다 효과적인 것으로 판단된다. 이러한 결과는 앞서 확인된 감자껍질 에탄올 추출물의 높은 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량, 그리고 우수한 항산화 활성과도 밀접한 관련이 있는 것으로 보인다.

PPE 처리군의 경우 50  $\mu\text{g/ml}$ 에서도 이미 UVB 무처리군보다 크게 증가한 수준을 보였고, 100  $\mu\text{g/ml}$ 와 200  $\mu\text{g/ml}$ 에서도 높은 수준을 유지하여 비교적 안정적인 콜라겐 생성 촉진 효과를 나타내는 것으로 해석된다. 이는 감자껍질의 유효성분이 에탄올 추출 과정에서 보다 효과적으로 회수되어 피부섬유아세포의 기능 유지에 긍정적으로 작용했기 때문으로 판단된다.

Type I procollagen은 피부 진피층의 주요 구조 단백질인 콜라겐의 전구체로서, 그 생성량 증가는 피부 탄력 유지와 주름 형성 억제 측면에서 중요한 의미를 가진다. 따라서 본 결과에서 감자껍질 추출물, 특히 PPE가 UVB 조사로 감소한 type I procollagen 생성을 회복시킨 것은 감자껍질이 단순한 농업부산물

아니라 피부노화 개선용 기능성 소재로 활용될 수 있는 가능성을 보여주는 중요한 근거라고 할 수 있다. 또한 PPE가 PPW보다 우수한 활성을 나타낸 점은 유효성분의 용출 효율과 활성 성분 조성 측면에서 에탄올 추출이 보다 적합할 수 있음을 시사한다.

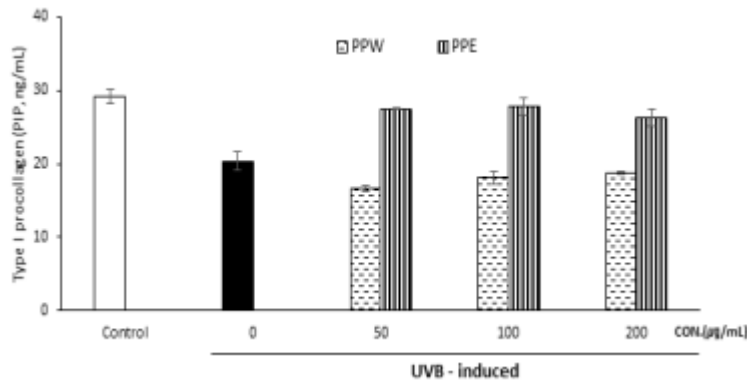


그림 21. UVB 유도 HDF 세포에서 Pro-collagen type I 정량 비교

HDF 세포에서 UVB 조사에 의해 유도된 산화적 스트레스 수준을 확인하고 감자껍질 추출물의 활성산소종 (ROS) 억제 효과를 평가한 결과, 정상 대조군의 ROS 생성 수준을 100으로 기준하면, UVB 조사 후 무처리군은 196.2로 증가하여 자외선 조사에 의해 세포 내 산화적 스트레스가 현저히 증가하는 경향을 확인할 수 있었다(그림 22). 이는 UVB 자극이 피부섬유아세포 내 활성산소 생성을 촉진하여 세포 손상과 광노화를 유도한다는 일반적인 보고와 일치하는 결과이다. 감자껍질 물 추출물(PPW) 처리군에서는 10, 20 및 40  $\mu\text{g/ml}$  농도에서 ROS 생성 수준이 각각 189.5, 180.2, 111.8로 나타나, UVB 무처리군에 비해 전반적으로 감소하는 경향을 보였다. 특히 40  $\mu\text{g/ml}$  처리구에서는 ROS 생성량이 111.8 수준까지 낮아져 대조군에 보다 가까운 수준으로 회복되는 양상을 나타내었다. 이는 PPW가 UVB에 의해 증가된 세포 내 산화적 스트레스를 완화하는 데 일정한 효과를 가지며, 특히 고농도 처리에서 ROS 억제 효과가 보다 뚜렷하게 발현될 가능성을 시사한다. 한편 감자껍질 에탄올 추출물(PPE) 처리군에서는 10, 20 및 40  $\mu\text{g/ml}$  농도에서 ROS 생성 수준이 각각 171.8, 149.9, 144.3으로 나타났다. PPE 역시 UVB 무처리군과 비교할 때 ROS 생성량을 감소시키는 경향을 보였으며, 특히 10 및 20  $\mu\text{g/ml}$  농도에서 PPW보다 더 낮은 수준의 ROS 생성량을 나타내어 저농도 범위에서는 PPE의 항산화 효과가 상대적으로 우수한 것으로 판단된다. 반면 40  $\mu\text{g/ml}$ 에서는 PPW 처리군에 비해 PPE 처리군보다 더 낮은 ROS 수준을 보여, 고농도 구간에서는 물 추출물이 에탄올 추출물보다 우수한 억제 효과를 나타내는 경향이 관찰되었다. 농도별 경향을 보다 구체적으로 살펴보면, PPW는 10  $\mu\text{g/ml}$ 에서 189.5, 20  $\mu\text{g/ml}$ 에서 180.2, 40  $\mu\text{g/ml}$ 에서 111.8로 변화하여 농도가 증가함에 따라 ROS 생성량이 점진적으로 감소하는 양상을 보였다. 이에 비해 PPE는 10  $\mu\text{g/ml}$ 에서 171.8, 20  $\mu\text{g/ml}$ 에서 149.9, 40  $\mu\text{g/ml}$ 에서 144.3으로 나타나 10 및 20  $\mu\text{g/ml}$ 에서는 비교적 우수한 억제 효과를 보였으나, 40  $\mu\text{g/ml}$ 에서는 오히려 PPW보다 높은 ROS 수준을 나타내었다. 이러한 결과는 감자껍질 추출물의 항산화 활성 양상이 추출 용매와 처리 농도에 따라 다르게 나타날 수 있음을 의미하며, 단순히 농도가 높을수록 효과가 커지는 일률적인 패턴보다는 추출성분의 조성 차이에 따라 최적 활성 농도가 달라질 수 있음을 알 수 있다.

ROS는 자외선 조사에 의해 피부세포 내에서 과잉 생성될 경우 지질과산화, 단백질 손상, DNA 손상 및 세포 신호전달 이상을 유발하며, 궁극적으로는 피부 염증 반응, 콜라겐 분해, 세포 노화 촉진 등 광노화의 주요 원인으로 작용한다. 따라서 본 시험에서 감자껍질 추출물 처리에 의해 UVB 유도 ROS 생성이 감소한

결과는, 감자껍질 추출물이 피부세포를 산화적 손상으로부터 보호할 수 있는 항산화 소재로 활용될 가능성을 보여주는 중요한 근거라 할 수 있다. 특히 저·중농도에서 PPE가 우수한 억제 효과를 보인 점은 에탄올 추출 과정에서 폴리페놀 및 플라보노이드와 같은 항산화 활성 성분이 보다 효율적으로 회수되었기 때문일 가능성이 있으며, 반대로 고농도에서 PPW의 효과가 상대적으로 우수하게 나타난 점은 수용성 활성 성분 역시 ROS 조절에 기여할 수 있음을 알 수 있다.

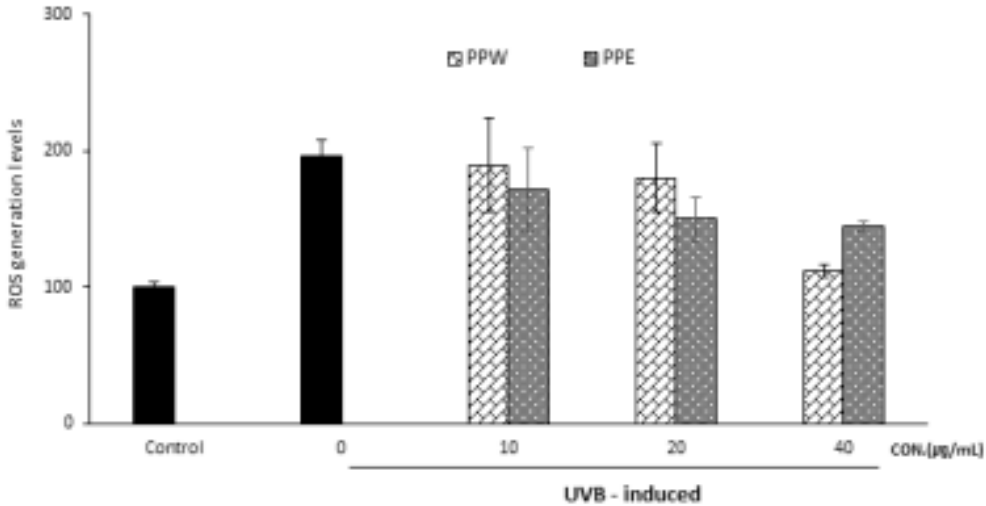


그림 22. UVB 유도 HDF 세포에서 ROS 정량 비교

HDF 세포에서 UVB 조사에 의해 유도된 피부기질 분해 반응을 확인하고 감자껍질 추출물의 억제 효과를 평가하고자 MMP-1 생성량을 측정한 결과, 정상 대조군(CON)의 MMP-1 수준은 286.1 ng/ml로 나타난 반면, UVB 조사 후 무처리군에서는 356.5 ng/ml로 증가하여 자외선 자극에 의해 MMP-1 생성이 증가하는 경향을 확인할 수 있었다. MMP-1은 피부 진피층의 주요 구조 단백질인 collagen을 분해하는 대표적 효소로, 그 생성 증가가 피부 탄력 저하와 주름 형성 등 광노화와 밀접하게 관련되어 있으므로, 본 결과는 UVB 조사가 피부섬유아세포의 기질 분해 반응을 촉진하였음을 보여준다(그림 23). 감자껍질 물 추출물(PPW) 처리군에서는 10, 20 및 40 µg/ml 농도에서 MMP-1 생성량이 각각 250.9, 244.2, 307.9 ng/ml로 나타났다. PPW 10 µg/ml 및 20 µg/ml 처리군은 무처리군보다 낮은 수준을 보여 UVB에 의해 증가한 MMP-1 생성을 억제하는 경향을 나타냈다. 반면 40 µg/ml 처리군에서는 MMP-1 수준이 307.9 ng/ml로 나타나 10 및 20 µg/ml 처리군보다 다소 높은 값을 보였으나, 여전히 처리 조건에 따라 조절 가능성이 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 PPW의 MMP-1 억제 효과가 단순한 농도 의존적 증가 양상이라기보다, 특정 농도 구간에서 보다 효과적으로 발현될 수 있음을 보여준다. 감자껍질 에탄올 추출물(PPE) 처리군에서는 10, 20 및 40 µg/ml 농도에서 MMP-1 생성량이 각각 428.9, 231.8, 226.3 ng/ml로 나타났다. PPE 10 µg/ml 처리군은 무처리군 보다 오히려 높은 수준의 MMP-1 생성량을 나타내어 저농도에서는 억제 효과가 나타나지 않거나, 실험 조건에 따라 일시적으로 기질 분해 반응이 증가할 가능성을 보여주었다. 그러나 PPE 20 µg/ml 및 40 µg/ml 처리군에서는 MMP-1 생성량이 각각 231.8 ng/ml 및 226.3 ng/ml로 감소하여 무처리군보다 현저히 낮은 수준을 보였다. 특히 PPE 20 및 40 µg/ml 처리군은 PPW의 동일 농도 처리군과 비교해도 유사하거나 더 낮은 수준의 MMP-1 값을 나타내어, 에탄올 추출물이 적정 농도 이상에서 보다 우수한 기질

분해 억제 효과를 가질 가능성을 시사한다.

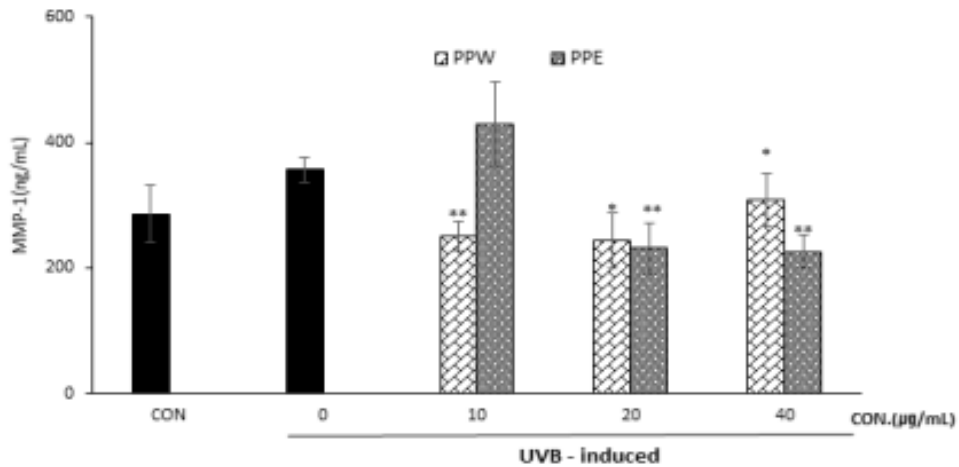


그림 23. UVB 유도 HDF 세포에서 MMP-1 정량 비교

HDF 세포에서 UVB 조사에 의해 유도된 세포 노화 정도를 평가하고자 SA-β-gal positive cells의 비율을 측정하였으며, 결과값은 UVB 단독 처리군(0)을 100%로 기준하여 상대비로 나타내었다. 그 결과, 정상 대조군 (con)의 SA-β-gal 양성세포 비율은 84.7%로 나타나 UVB 단독 처리군 보다 낮은 수준을 보였으며, 이는 UVB 자극이 세포 노화를 촉진하였음을 의미한다. 또한 상단의 현미경 관찰 결과에서도 UVB 단독 처리군은 정상 대조군에 비해 청색으로 염색된 SA-β-gal 양성세포가 더 많이 관찰되어, 정량 분석 결과와 일치하는 경향을 나타내었다. PPW 처리군에서는 50, 100 및 200 μg/ml 농도에서 SA-β-gal 양성세포 비율이 각각 92.4%, 82.8%, 81.5%로 나타나, 모두 UVB 단독 처리군보다 낮은 수준을 보였다. 특히 농도가 증가함에 따라 SA-β-gal 양성세포 비율이 점진적으로 감소하는 경향을 나타내어, PPW가 UVB에 의해 유도된 세포 노화 반응을 완화하는 데 긍정적으로 작용함을 확인할 수 있었다. 현미경 사진에서도 PPW 처리군은 UVB 단독 처리군에 비해 청색 염색 강도와 양성세포 분포가 감소하는 양상을 보였으며, 특히 고농도 처리군에서 이러한 경향이 보다 뚜렷하게 관찰되었다. PPE 처리군에서도 50, 100 및 200 μg/ml 농도에서 SA-β-gal 양성세포 비율이 각각 82.3%, 85.4%, 84.7%로 나타나, 전 농도 구간에서 UVB 단독 처리군보다 낮은 수준을 유지하였다. PPE 처리군 역시 UVB로 증가한 세포 노화 지표를 완화하는 경향을 보였으며, 농도 증가에 따라 SA-β-gal 양성세포 비율이 다소 감소하거나 일정 수준으로 유지되는 양상을 나타내었다. 이는 감자껍질 에탄올 추출물이 UVB 자극에 의해 유도된 세포 노화 반응을 억제하는 데 기여할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 본 시험에서는 PPW와 PPE 모두 세포 노화 억제 효과를 나타내었으며, 특히 PPW는 고농도에서 보다 뚜렷한 감소 경향을, PPE는 전 농도 구간에서 안정적인 감소 경향을 보인 것으로 해석할 수 있다.

SA-β-galactosidase는 세포 노화의 대표적인 지표로서, 그 양성세포 비율 증가는 세포 기능 저하와 노화 진행을 반영한다. 따라서 본 시험에서 감자껍질 추출물 처리에 의해 SA-β-gal 양성세포 비율이 UVB 단독 처리군 대비 감소한 결과는, PPW가 자외선으로 유도된 세포 노화를 완화하고 세포 기능 유지에 도움을 줄 수 있음을 보여주는 중요한 근거라 할 수 있다. 특히 앞서 확인된 ROS 감소, type I procollagen 생성 회복, MMP-1 생성 억제 결과와 함께 고려할 때, 감자껍질 추출물은 산화적 스트레스 완화, 콜라겐 대사 보호 및 노화 지표 감소를 통해 피부 항노화 소재로서 활용 가능성이 높은 것으로 판단된다.

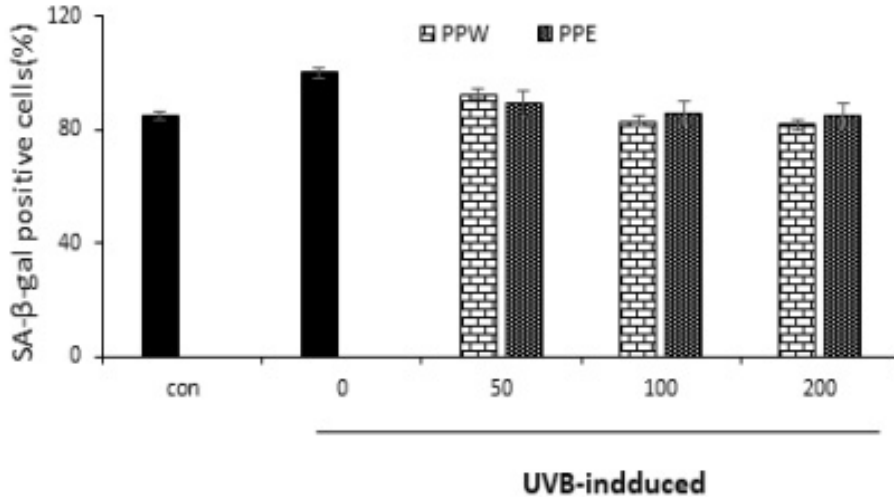


그림 24. UVB 유도된 HDF 세포에서 SA-β galactosidase 활성 비교

### (시험 3) 시래기무 추출물의 항알러지 효능 검정 (in vitro)

시래기무 추출물의 in vitro 항알러지 효능을 평가한 결과, 먼저 추출용매에 따른 추출 수율에서 뚜렷한 차이가 확인되었다. 에탄올 추출물의 수율은 9.85%였으며, 물 추출물의 수율은 64.60%로 나타나 물 추출 시 훨씬 높은 회수율을 보였다(표 11). 이는 시래기무에 함유된 성분 중 수용성 물질의 비율이 높음을 시사하며, 원료 확보 및 추출 효율 측면에서는 물 추출이 유리함을 보여준다. 세포독성 평가 결과, 시래기무 추출물은 RAW264.7(대식세포), HaCaT(각질형성세포) 및 HepG2 세포에서 전반적으로 뚜렷한 독성을 나타내지 않는 것으로 확인되었다(그림 25). 이는 시험에 사용된 농도 범위 내에서 시래기무 물 추출물과 에탄올 추출물이 세포 생존에 치명적인 영향을 미치지 않았음을 의미하며, 후속 항염 및 항아토피 활성 평가에 적용 가능한 안전성을 확보하였다는 점에서 의미가 있다. 기능성 소재 개발에서 세포독성 여부는 가장 기본적인 검토 항목인데, 본 결과는 시래기무 추출물이 다양한 세포계에서 비교적 안정적으로 적용될 수 있는 기초자료를 제공한다. 특히 대식세포, 피부세포 및 간세포 수준에서 모두 독성이 크지 않았다는 점은 식·의약 및 화장품 소재로의 확장 가능성을 시사한다.

표 11. 시래기무 추출물의 용매별 추출 수율(%)

추출용매	추출 수율(%)
에탄올	9.85
물	64.60

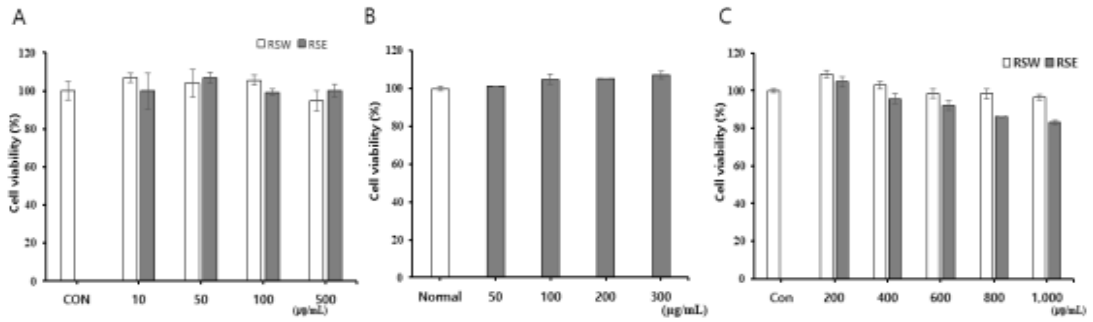


그림 25. 시래기무 추출물의 세포독성(%). RAW264.7 (A), HaCaT (B), HepG2 (C)

시래기무 추출물의 항염 효능을 확인하기 위해 RAW264.7 대식세포에서 NO 및 TNF- $\alpha$  생성 억제 효과를 분석한 결과(그림 26), 추출물 처리에 따라 염증 관련 지표가 전반적으로 감소하는 경향을 보였다. NO 생성량은 정상군에서 0.035  $\mu$ M로 나타난 반면, 염증 유도 대조군에서는 22.7  $\mu$ M로 증가하였고, 시래기무 추출물 처리군에서는 각각 13.5, 13.8, 12.6  $\mu$ M로 감소하였다. 특히 고농도 처리군에서 NO 생성량이 보다 뚜렷하게 억제되었으며, 통계적으로도 유의한 차이가 확인되었다. TNF- $\alpha$  생성량 역시 정상군에서 0.33 ng/ml, 염증 유도군에서 20.7 ng/ml로 증가하였으나, 시래기무 추출물 처리 시 18.2 ng/ml, 17.9 ng/ml, 12.6 ng/ml로 감소하는 양상을 나타내었다. TNF- $\alpha$ 는 대표적인 염증성 사이토카인으로 알러지성 염증과 면역반응 활성화에 중요한 역할을 하므로, 이러한 결과는 시래기무 추출물이 단순한 세포 보호 수준을 넘어 실제 염증 매개 인자의 생성을 조절할 수 있음을 보여준다.

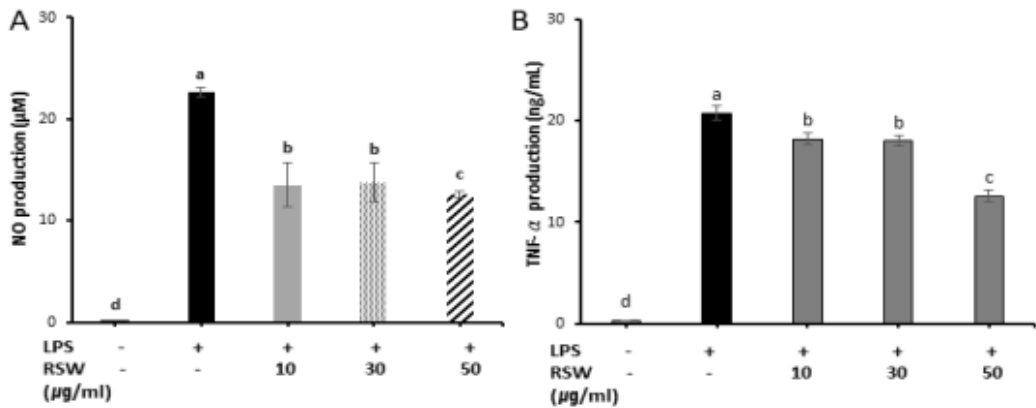


그림 26. RAW264.7 대식세포에서 시래기무추출물의 NO 및 TNF- $\alpha$  생성 억제 효과

HaCaT 세포를 이용한 항아토피 효능 평가에서도 시래기무 추출물의 유의한 효과가 확인되었다. TNF- $\alpha$  /IFN- $\gamma$ 로 자극한 HaCaT 세포는 아토피성 피부염 환경을 모사하는 대표적인 in vitro 모델로, 이 조건에서 시래기무 추출물은 케모카인 생성량을 억제하는 경향을 보였다(그림 27). 특히 처리 농도가 증가함에 따라 케모카인 생성 억제 효과가 강화되는 경향이 나타났다면, 이는 시래기무 추출물이 아토피 유발 환경에서 염증세포 유입을 유도하는 신호를 완화하는 데 기여함을 의미한다. 케모카인은 피부 염증 부위로 면역세포를 유주시키는 중요한 매개물질이므로, 이들의 생성 억제는 아토피성 피부염 완화 가능성을 시사하는 중요한

결과이다. 또한 real-time RT-PCR 분석 결과(그림 28), TNF- $\alpha$ /IFN- $\gamma$ 로 유도된 HaCaT 세포에서 아토피 관련 케모카인인 MDC와 RANTES의 mRNA 발현 역시 시래기무 추출물 처리에 의해 감소하는 것으로 나타났다. MDC mRNA 발현은 정상군 대비 유도 대조군에서 76.3배로 증가하였으나, 시래기무추출물 50  $\mu$ g/ml 처리군에서는 18.8% 감소하였으며, RANTES mRNA 발현 또한 유도 대조군에 비해 시래기무추출물 처리군에서 최대 71% 억제되었다. MDC와 RANTES는 아토피성 피부염에서 Th2 반응 및 염증세포 이동과 밀접하게 관련된 대표적 케모카인으로 알려져 있으므로, 이들의 발현 억제는 시래기무 추출물이 피부 염증 반응을 전사 단계에서부터 조절할 가능성이 있음을 보여준다. 즉, 시래기무 추출물은 최종 염증성 단백질의 분비만 감소시키는 것이 아니라, 염증 및 알러지 관련 유전자 발현 자체를 낮추는 방향으로 작용할 수 있는 것으로 해석된다.

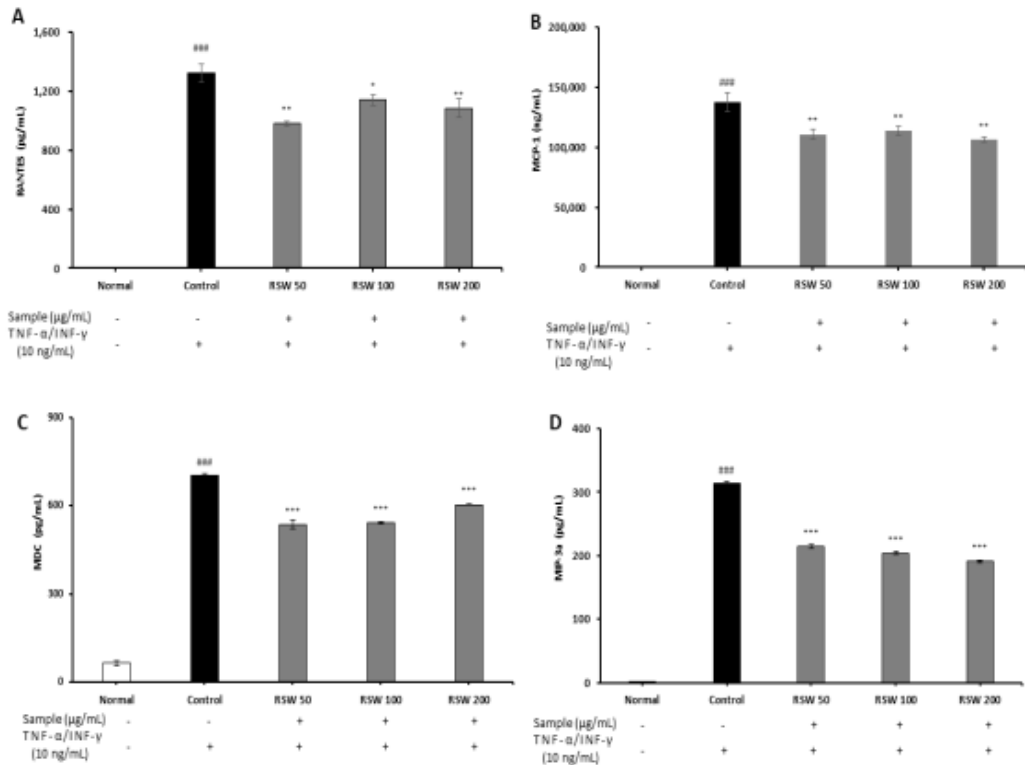


그림 27. TNF- $\alpha$ /IFN- $\gamma$ 로 유도된 HaCaT 세포에서 시래기무추출물의 케모카인 생성 억제 효과

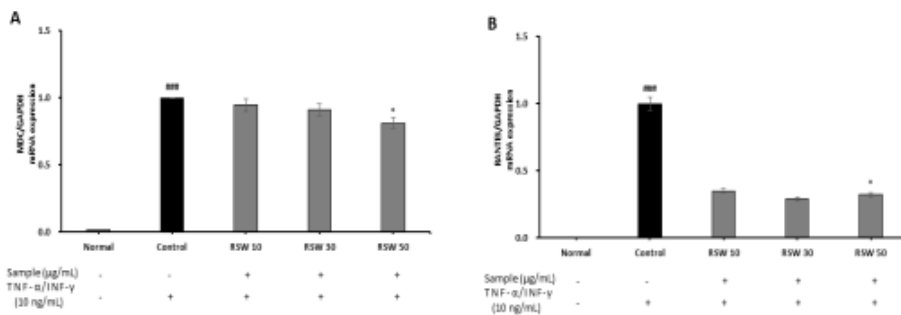


그림 28. TNF- $\alpha$ /IFN- $\gamma$ 로 유도된 HaCaT 세포에서 시래기무추출물의 MDC 및 RANTES mRNA 발현 억제 효과

#### (시험 4) 시래기무 추출물의 항알러지 효능 검정 (*in vivo*)

DNCB 유도 아토피 피부염 마우스 모델에서 시래기무 추출물의 항아토피 효능을 평가한 결과, 피부 병변, 피부염 점수, 비장 비대, 귀 두께, 경피수분손실량(TEWL) 및 조직학적 변화에서 전반적인 개선 효과가 확인되었다. 먼저 각 군의 등쪽 피부 병변을 육안으로 관찰한 결과, 정상군은 피부 표면이 비교적 매끄럽고 염증성 변화가 거의 나타나지 않은 반면, DNCB 처리군에서는 홍반, 부종, 상처 및 인설이 복합적으로 나타나 전형적인 아토피 피부염 증상이 뚜렷하게 관찰되었다. 이에 비해 시래기무 추출물 투여군은 DNCB 처리군에 비해 피부 병변 정도가 완화되었으며, 특히 고농도 처리군에서 홍반과 피부 손상 정도가 더욱 감소하는 경향을 나타내었다. 양성대조군인 dexamethasone 처리군 역시 피부 병변이 현저히 완화되어, 본 동물모델에서 아토피 유도가 적절히 이루어졌고 시래기무 추출물이 피부 증상 개선에 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

Total dermatitis score를 분석한 결과에서도 동일한 경향이 확인되었다(그림 29 B). DNCB 처리군에서는 8.5점까지 증가하여 아토피 피부염이 효과적으로 유발되었음을 보여주었다. 반면 시래기무 추출물 200 mg/kg 처리군과 400 mg/kg 처리군에서는 dermatitis score의 최종 측정 시점에서 각각 5.8점, 4.9점으로 감소하였고, DNCB 처리군 대비 유의적인 차이를 나타내었다. 일반적으로 total dermatitis score는 홍반, 부종, 상처 및 인설과 같은 임상 증상을 종합적으로 반영하는 지표이므로, 본 결과는 시래기무 추출물이 아토피 피부염의 외형적 증상을 실질적으로 완화할 수 있음을 시사한다.

비장 상태 및 비장 무게를 비교한 결과, DNCB 처리군에서는 면역반응의 과도한 활성화에 따라 비장의 크기와 무게가 증가하는 경향이 나타났다(그림 29 D). 정상군의 비장 무게가 0.058 g 이었다면, DNCB 처리군에서는 0.118 g으로 증가하였고, 이는 아토피 유발에 따른 전신 면역반응 활성화를 반영하는 것으로 해석된다. 시래기무 추출물 200 mg/kg 및 400 mg/kg 처리군에서는 비장 무게가 각각 0.098 g, 0.097 g으로 감소하여 DNCB 처리군 대비 비장 비대가 억제되었으며, dexamethasone 처리군에서도 0.061 g으로 감소하는 양상이 확인되었다. 이러한 결과는 시래기무 추출물이 단순히 피부 표면의 염증 증상만 완화하는 것이 아니라, 아토피 피부염과 연관된 전신성 면역 과활성 상태를 조절하는 데에도 기여할 가능성을 보여준다. 특히 dexamethasone은 강력한 면역억제제로 T 세포 및 B 세포 활성을 낮추어 비장 과비대를 완화하는 것으로 알려져 있는데, 시래기무 추출물 역시 유사한 방향의 억제 효과를 나타냈다는 점에서 면역조절 기능성 소재로서의 가능성을 시사한다. 귀 두께와 TEWL 측정 결과에서도 시래기무 추출물의 피부염 완화 효과가 뚜렷하게 나타났다(그림 30). 귀 두께는 피부 부종 및 염증 정도를 반영하는 지표인데, 정상군의 귀 두께가 200.3  $\mu\text{m}$ 인 반면 DNCB 처리군에서는 297.8  $\mu\text{m}$ 로 증가하여 피부 염증 및 부종이 유의적으로 유발되었음을 확인할 수 있었다. 시래기무 추출물 200 mg/kg 처리군과 400 mg/kg 처리군에서는 귀 두께가 각각 273.9, 24.5  $\mu\text{m}$ 로 감소하였으며, 특히 고농도 처리군에서 감소 폭이 더욱 크게 나타났다. Dexamethasone 처리군 역시 221.5  $\mu\text{m}$ 으로 감소하여 양성대조군에 상응하는 개선 효과를 보였다. 귀 두께 감소는 염증반응에 따른 조직 부종이 완화되었음을 의미하므로, 시래기무 추출물이 국소 피부 염증을 억제하는 데 효과적임을 보여준다.

경피수분손실량(TEWL)은 피부 장벽 손상 정도를 평가하는 대표적 지표로, 값이 높을수록 피부 장벽이 손상되어 수분 손실이 증가한 상태를 의미한다. 본 시험에서 정상군의 TEWL은 6.18 g/m<sup>2</sup>/h 수준이었던 반면, DNCB 처리군에서는 27.88 g/m<sup>2</sup>/h로 크게 증가하여 피부 장벽 기능이 현저히 저하된 상태임을 확인할 수 있었다. 시래기무 추출물 200 mg/kg 및 400 mg/kg 처리군에서는 TEWL이 각각 19.67, 19.90 g/m<sup>2</sup>/h로 감소하였으며, dexamethasone 처리군에서도 18.44 g/m<sup>2</sup>/h로 낮아졌다. 특히 DNCB 처리군 대비 시래기무 추출군에서 TEWL이 감소한 것은 피부 장벽 회복과 수분 보유력 개선에 긍정적인 효과가 있음을 의미한다. 아토피 피부염은 피부 장벽 손상과 과도한 수분 손실이 질환 악화의 중요한 원인이 되므로, 본 결과는 시래기무 추출물이 피부염 증상 억제뿐만 아니라 피부 장벽 기능 회복에도 기여할 수 있음을 보여주는 중요한 근거라고 할 수 있다.

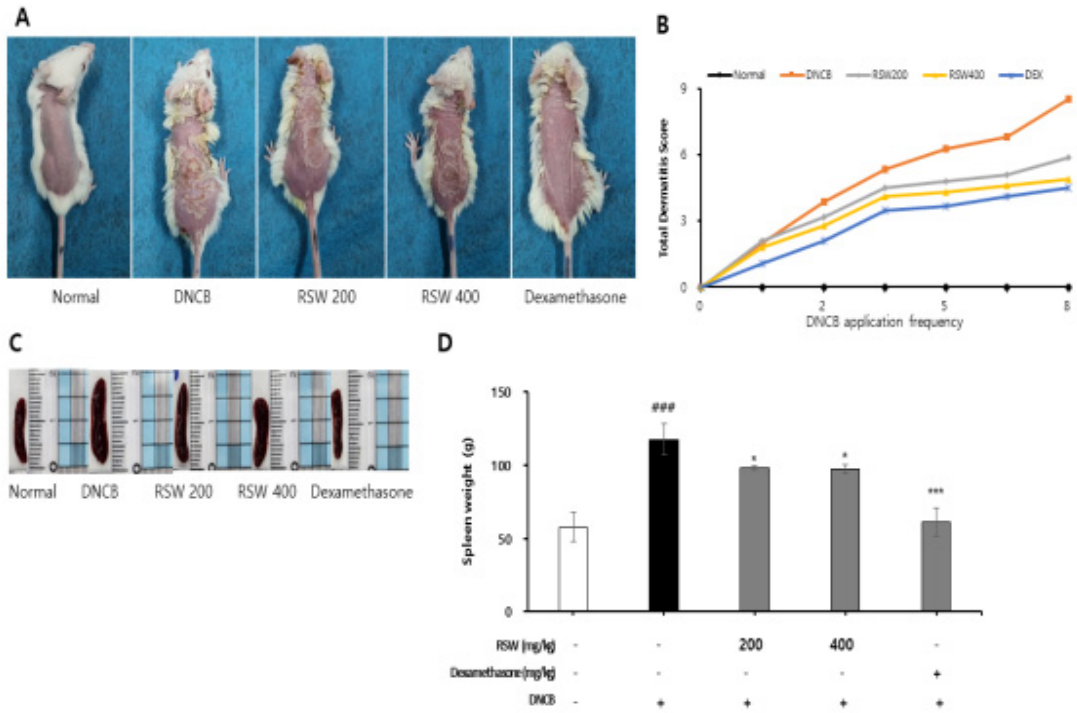


그림 29. 시래기무추출물의 DNCB 유도 아토피 피부염 완화 효과

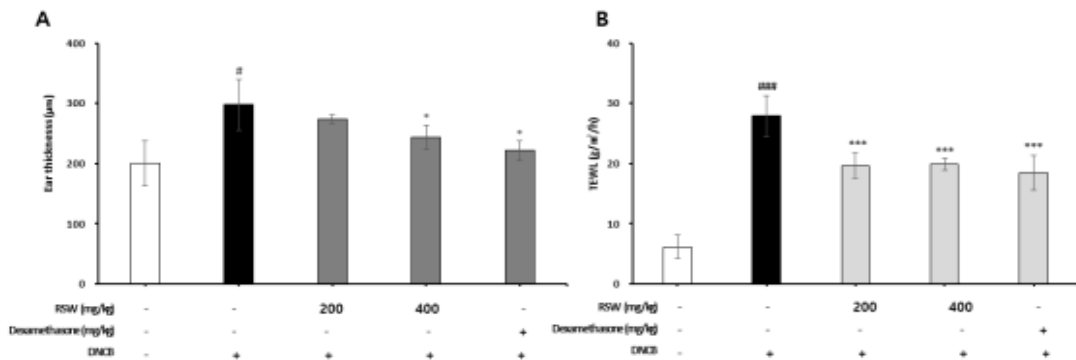


그림 30. 시래기무추출물의 DNCB 유도 아토피 피부염 완화 효과. 각 군별 귀 두께 (A), TEWL (B).

조직학적 분석 결과에서도 시래기무 추출물의 항아토피 효능이 뚜렷하게 확인되었다(그림 31). 정상군의 피부조직은 표피층이 비교적 얇고 비만세포 침윤이 거의 관찰되지 않았던 반면, DNCB 처리군에서는 표피 두께가 현저하게 비후되고 비만세포의 침윤이 증가하여 아토피 피부염이 효과적으로 유발되었음을 확인할 수 있었다. 정량적으로는 정상군의 표피 두께가 13.4  $\mu\text{m}$ , 비만세포 수가 14.9 counts/site인 반면, DNCB 처리군에서는 각각 102.0  $\mu\text{m}$ , 48.1 counts/site 로 증가하는 양상을 보였다. 시래기무 추출물 200 mg/kg 및 400 mg/kg 처리군에서는 표피 두께가 각각 66.4  $\mu\text{m}$ , 63.8  $\mu\text{m}$ 로 감소하고, 비만세포 침윤 역시 36.8, 29.3 counts/site로 억제되어 DNCB 처리군 대비 유의한 감소를 나타내었다. Dexamethasone 처리군 또한 표피 비후와 비만세포 침윤이 현저히 억제된 양상을 보였다. 비만세포는 히스타민과 각종 염증 매개물질을

분비하여 아토피성 염증 반응을 악화시키는 중요한 세포이므로, 이들의 침윤 감소는 시래기무 추출물이 항알러지 및 항염 작용을 통해 피부염의 병리적 진행을 억제했음을 의미한다.

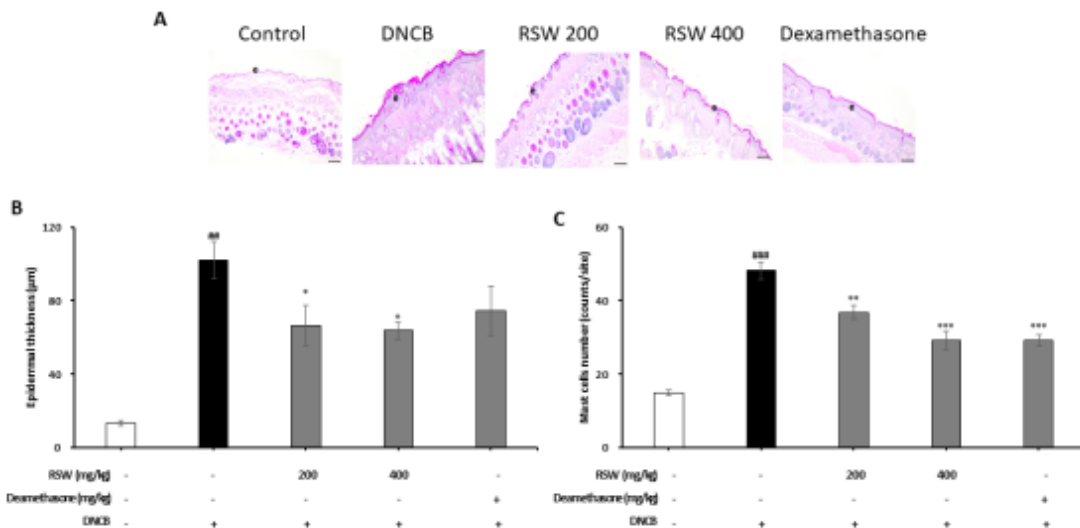


그림 31. 시래기무추출물의 DNCB 유도 피부조직 H&E 염색 사진 (A), 표피 두께 (B), 비만세포 개수 (C).

이상의 결과를 종합하면, 시래기무 추출물은 DNCB 유도 아토피 피부염 마우스 모델에서 피부 병변 완화, total dermatitis score 감소, 비장 무게 증가 억제, 귀 두께 감소, TEWL 감소 및 표피 비후와 비만세포 침윤 억제를 통해 전반적인 항아토피 효능을 나타내었다. 특히 이러한 효과는 피부 국소 염증 완화와 함께 전신 면역반응 조절, 피부 장벽 회복 및 조직학적 손상 개선이 동시에 이루어졌다는 점에서 의미가 크다. 따라서 시래기무 추출물은 농업부산물 유래 소재임에도 불구하고 아토피 피부염 완화를 위한 기능성 소재로서 높은 활용 가능성을 가지며, 향후 유효성분 규명과 작용기전 분석, 장기 투여 안전성 평가 등이 추가된다면 항알러지 및 피부면역 조절 소재로의 실용화 가능성이 더욱 높아질 것으로 판단된다.

## 4 적 요

### <제1세부과제: 토종다래의 기능성 소재화를 위한 효능 연구>

- 가. 토종다래는 loperamide로 유도한 변비모델에서 변의 개수, 중량 및 수분함량을 증가시키고 결장 내 잔류 변을 감소시켰으며, 장점막 및 장근육층의 손상을 완화하여 장 기능 개선 및 변비 완화 효능을 확인하였음
- 나. 토종다래의 주요 단백질분해효소인 액티니딘 함량과 효소 활성은 숙기가 진행될수록 증가하는 경향을 보였으며, 3개 품종 모두 후숙 단계에서 가장 높게 나타나 효소 소재로서의 활용 적기를 설정하였음
- 다. 품종별 효소 활성 비교 결과, '그린하트' 품종이 가장 우수한 단백질분해효소 활성을 나타내어 기능성 효소 소재 및 연육 소재로서의 활용 가능성이 가장 높았음

- 라. 토종다래 조효소액을 한돈 및 한우 사태에 처리한 결과 진단력이 감소하고 보수력이 향상되어 천연 연육 소재로서의 활용 가능성을 확인하였음
- 마. 토종다래 줄기 추출물은 동계전정 시료에서 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량이 높고 DPPH 라디칼 소거능 및 NO 생성 억제 효과가 우수하여, 전정 부산물의 항염·항산화 기능성 소재화 가능성을 확인하였음
- 바. 토종다래는 과실의 장 기능 개선, 효소 활성화 및 연육 효과뿐만 아니라 줄기 부산물의 항염 활성화까지 확인되어, 식품·가공·기능성 소재 분야로의 다각적 활용 기반을 마련하였음

### <제2세부과제: 농업부산물 업사이클링 소재 개발>

- 가. 감자껍질 추출물은 감자속 추출물보다 총폴리페놀 및 총플라보노이드 함량이 높았으며, 특히 감자껍질 에탄올 추출물(PPE)에서 DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능이 가장 우수하여 항산화 기능성 소재로서의 가능성을 확인하였음
- 나. 감자껍질 추출물은 각질형성세포(HaCaT) 및 피부섬유아세포(HDF)에서 세포독성이 낮고 상처 치유를 촉진하였으며, UVB로 유도된 피부노화 모델에서 pro-collagen type I 생성 회복, ROS 생성 억제, MMP-1 발현 감소 및 SA- $\beta$ -gal 활성화 저하를 통해 피부 진정 및 항노화 효능을 확인하였음
- 다. 시래기무 추출물은 대식세포 및 피부세포 기반 in vitro 시험에서 세포독성이 낮았으며, NO 및 TNF- $\alpha$  생성 억제와 함께 케모카인 및 관련 mRNA 발현을 감소시켜 항염 및 항알러지 활성을 확인하였음
- 라. 시래기무 추출물은 DNCB 유도 아토피 피부염 마우스 모델에서 total dermatitis score, 귀 두께 및 경피수분손실량(TEWL)을 감소시키고, 비장 비대를 억제하여 피부염 증상 완화와 피부 장벽 회복 효과를 나타내었음
- 마. 시래기무 추출물은 조직학적 분석에서 표피 비후와 비만세포 침윤을 억제하여 아토피 피부염의 조직 손상을 완화하였으며, 항아토피 기능성 소재로서의 활용 가능성을 확인하였음
- 바. 감자껍질과 시래기무는 단순 폐기되는 농업부산물에서 항산화, 피부 진정, 항염 및 항알러지 기능을 갖는 고부가가치 업사이클링 소재로 개발 가능성을 확인하였음

## 5 인용문헌

- 민가을, 김태일, 김지혜, 조원경, 양지혜, 마진영. 2023. Anti-Atopic Effect of Isatidis Folium Water Extract in TNF- $\alpha$ /IFN- $\gamma$ -Induced HaCaT Cells and DNCB-Induced Atopic Dermatitis Mouse Model. *Molecules* 28(9): 3960.
- 송민정, 박혜진. 2017. Leaves of *Raphanus sativus* L. Shows Anti-Inflammatory Activity in LPS-Stimulated Macrophages via Suppression of COX-2 and iNOS Expression. *Preventive Nutrition and Food Science* 22(1): 50-55.
- 수토 마리, 마스토미 히로후미, 마사키 히토시, 이시하라 가쓰유키. 2019. A Potato Peel Extract Stimulates Type I Collagen Synthesis via Akt and ERK Signaling in Normal Human Dermal Fibroblasts. *Biological and Pharmaceutical Bulletin* 42(9): 1510-1516.

왕주안, 류하오밍, 왕하이리, 추이밍신, 진칭, 진테, 추이푸순, 추이타이화, 량청원, 김범식, 리관하오. 2016. Isolation and characterization of a protease from the *Actinidia arguta* fruit for improving meat tenderness. *Food Science and Biotechnology* 25(4): 1059-1064.

윤현중, 장미선, 김현우, 송동엽, 남광일, 배춘상, 김성진, 이승록, 구창섭, 장동일, 안봉환. 2015. Protective effect of diet supplemented with rice prolamin extract against DNCB-induced atopic dermatitis in BALB/c mice. *BMC Complementary and Alternative Medicine* 15: 353.

이재희, 이기연, 이재형, 서영호, 장은하, 정햇님. 2025. Effect of *Actinidia arguta* on Loperamide-Induced Constipation in Rats. *Journal of Life Science* 35(12): 102-112.

조이 카치르마, 에이리니 디미디, 아나 로드리게스-마테오스, 케빈 웰란. 2021. Fruits and their impact on the gut microbiota, gut motility and constipation. *Food & Function* 12(19): 8850-8866.

## 6 연구결과 활용

연도(연차)	활용방안	제 목
2023(1년)	특허출원	토종다래추출물을 유효성분으로 하는 변비 개선 조성물
	홍 보	토종다래의 변비개선 효능
2024(2년)	기술이전	감자껍질 추출물의 화장료 조성물
	기술이전	다래 분말을 유효성분으로 함유하는 변비개선용 조성물
	특허등록	감자껍질추출물 이용 피부 진정용 화장료 조성물
	홍 보	농업부산물 활용 화장료 소재 개발
	학술발표	Loperamide로 유도한 랫드의 다래 변비해소 효능
	학술발표	감자껍질추출물의 항노화 및 상처치유 효능
2025(3년)	논문게재	Effect of <i>Actinidia arguta</i> on Loperamide-Induced Constipation in Rats.
	특허등록	토종다래추출물을 유효성분으로 하는 변비 개선 조성물
	특허출원	시래기무 추출물을 유효성분으로 포함하는 아토피 피부염의 예방, 개선 또는 치료용 조성물
	기술이전	다래분말을 유효성분으로 함유하는 변비개선용 조성물
	영농정보	전정시기별 토종다래 줄기의 항산화 성분 비교
	학술발표	Anti-atopic potential of <i>Raphanus sativus</i> water extract via suppression of pro-inflammatory chemokines in TNF- $\alpha$ /IFN- $\gamma$ -stimulated HaCaT keratinocytes
	홍 보	감자껍질의 재탄생, 농산물 업사이클링이 여는 지속가능한 미래

성과지표		연도	1년차 (2023)		2년차 (2024)		3년차 (2025)		계	
			목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적
논문 게재	SCI									
	비SCI			1			1	1	1	1
특허	출원	1	1	1	1		1	2	2	2
	등록				1		1			2
학술 발표	국제				1					1
	국내			1	1	1	1	2	2	2
영농 활용	기술									
	정보					1	1			1
기술이전				1	4		1	1	1	5
홍보		1	25	1	19	1	1	3	3	45
계		2	26	5	27	3	7	10	10	60

## 7 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도		
					'23	'24	'25
과제책임자	농식품연구소	농업연구사	이재희	과제 총괄	○	○	○
세부책임자	농식품연구소	농업연구사	이재희	세부주관 수행	○	○	○
공동연구자	농업환경연구과	농업연구사	이재형	시험수행 및 평가	○	○	○
	농식품연구소	농업연구사	이기연	시험수행 및 평가	○	○	○
	원예연구과	농업연구사	정했님	시험수행 및 평가	○	○	○
	농식품연구소	공무직	신경신	품질조사 지원	○	○	○
	농식품연구소	공무직	안혜원	품질조사 지원	○	○	○
	농식품연구소	공무직	김동욱	품질조사 지원			○
	연구협력과	농업연구관	장은하	평가분석 자문	○	○	○
	국립축산과학원	농업연구관	서영호	평가분석 자문	○	○	
농업환경연구과	농업연구관	김기선	평가분석 자문	○	○	○	