

초음파 및 효소 전처리 솔잎 추출액의 품질특성

Quality Characteristics of Pine Needle Extracts Pretreated with Ultrasound and Enzymes

류다현¹⁾ · 유현희^{2),*}

군산대학교 식품영양학과 석사¹⁾ · 군산대학교 식품영양학과 교수^{2),*}

Ryu, Da Hyeon¹⁾ · Yu, Hyeon Hee^{2),*}

Department of Food and Nutrition, Kunsan National University^{1),2)}

Abstract

Pine needles are the leaves of evergreen trees belonging to the Pinaceae family, recognized as representative conifers in East Asia. They contain various physiologically active ingredients, including vitamin C, vitamin A, beta-carotene, flavonoids, terpenes, and tannins. These components have been reported to exhibit beneficial physiological activities such as antioxidant, anti-inflammatory, and antibacterial effects. In this study, we compared six treatment groups: Hot Water Treatment(HW), Ultrasound(US), Viscozyme(VZ), Pectinex(PN), a combination of Ultrasound and Viscozyme(USVZ), and a combination of Ultrasound and Pectinex(USPN). All experimental groups showed significantly lower pH values than the HW group, with USPN exhibiting the lowest pH($p < 0.001$). Additionally, all experimental groups demonstrated significantly higher sweetness and turbidity compared to HW, with USPN showing the highest values in particular. Color analysis, revealed decreased L values, increased a values, and decreased b values across all experimental groups($p < 0.001$). The total polyphenol and flavonoid content, along with DPPH and ABTS radical scavenging activity were highest in the USPN group($p < 0.001$). Measurements of α -glucosidase activity indicated that all experimental groups exhibited significantly lower activity than the HW group, confirming high α -glucosidase inhibitory activity. These results suggest that the combined pretreatment of Ultrasound and Pectinex is effective in extracting functional components from pine needles and enhancing antioxidant and antidiabetic activities.

Keywords: Pine(*Pinus densiflora*) needles, Quality characteristics, Enzyme treatment, Ultrasound treatment

I. 서론

경제 수준의 향상과 건강에 관한 관심이 높아지면서, 건강 기능성을 강조한 식품 개발이 활발히 이루어지고 있다. 이에 따라 기호식품을 포함한 다양한 분야에서 건강 유지를 돕는 기능성 제품이 상용화되고 있다(김일석 외, 2005; 안연화, 2009; 정승일, 유현희, 2013). 이러한 흐름 속에서

현대인의 건강 지향적 요구에 부합하는 기능성 식품으로 발전시키려는 연구도 활발히 이루어지고 있다. 솔잎은 소나무과(Pinaceae)에 속하는 상록 교목의 잎으로 한국, 일본, 중국 전역에서 자생하며, 오래전부터 한의서(박종갑, 1984)나 민간요법(문화방송, 1988; 홍재민, 2015)에 의한 의학적인 효과로써 식재료로 폭넓게 이용되어 왔다(이창복, 2014; 이향경, 2016; 최민영 외, 2022; 최희돈 외, 2007). 솔

본 연구는 군산대학교 석사학위 논문과 2025년 한국생활과학회 하계 학술대회에서 구두 발표한 것임.

* Corresponding author: Yu, Hyeonhee

Tel: +82-63-469-4636, Fax: +82-63-469-7426

E-mail: youhh@kunsan.ac.kr

© 2025, Korean Association of Human Ecology. All rights reserved.

잎의 영양성분으로는 전체의 약 58%가 수분이며, 그 외에도 당질이 19.6%, 섬유소 13.3%, 단백질 4.5%, 지질 3.9%, 회분 0.6% 정도가 함유되어 있다(김경미 1997; 박용수 외, 2011; 전정례 외, 2005). 솔잎에는 catechin을 비롯하여 tannin, leucoanthocyan, chlorogenic acid 등 다양한 유형의 페놀화합물이 함유되어 있다(강운한 외, 1995). 폴리페놀 화합물은 식물계에 광범위하게 존재하는 대표적인 2차 대사산물로, 구조적 다양성과 분자량의 차이를 보인다. 또한, 정유 성분 중 테르페노이드(terpenoid) 계열인 terpinene-4-ol, borneol, α -terpineol이 항균 활성과 미생물 성장억제 효과가 있다고 보고되었다(이향경, 2016). 그리고 테르펜(terpene) 계열인 α -pinene, β -pinene, phellandrene, camphene 등은 솔잎 중량의 7~12%를 차지하며, 다량의 이소프렌으로 구성되어 있다(박가영 외, 2006; 정봉희, 2014). 그리고 플라보노이드계인 quercetin, kaempferol 등은 항산화 효과가 있다고 한다(김경미, 1997). 부용출 외(1994)는 솔잎으로부터 뛰어난 free radical 소거 활성을 지닌 항산화 성분인 4-hydroxy-5-methyl-3[2H]-furanone을 분리하였는데, 이 화합물은 솔잎에서는 처음으로 분리된 것이며 상대적으로 강력한 항산화 성분이라고 하였다. 특히 이러한 솔잎에 존재하는 여러성분들로 솔잎이 항당뇨(김미정 외, 2006; 김신희 외, 2005; 문정애, 1999)를 비롯하여 항암(김은정 외, 1998), 항비만(최민영 외, 2022), 항고지혈증(강운한 외, 1996), 항충치(최희돈 외, 2007) 등의 효과가 있다고 보고되었다. 이러한 솔잎의 생리 기능성을 이용하여 개성약과(노종희, 2013), 국수(김일훈 외, 2012), 닭고기 양념육(김창렬, 김광현, 2007), 두부(손병길 외, 2015), 떡(김종균, 1995; 윤근영, 2009), 식빵(최동만 외, 2007), 스펀지케이크(이서은, 이준호, 2013), 아이스크림(박신영, 2015), 청국장(김경미, 1997) 등의 식품에 활용되었다.

식물체로부터 생리활성 성분 추출을 위하여 주로 사용되는 방법 중 초음파는 주파수가 약 20 kHz 이상인 음파를 지칭한다. 초음파의 응용은 단순히 성분 추출을 넘어 다양한 식품 공정에 걸쳐 사용되고 있다. 예를 들어 유효제 안정성 향상(Jadhav et al., 2024), 발아촉진(이준, 2006), 육류 연화(정인철 외, 2001), 건조(Fuente-Blanco et al., 2006), 미생물 불활성화(Piyasena et al., 2003) 등의 목적에도 활용되고 있다. 또한, 정소희 외(2017)에 의하면 초음파 처리가 사과 및 양배추의 식이섬유 함량을 증가시키고 입자 크기를 감소시키는데 효과적이라고 하였다.

한편, 식품에 효소 전처리는 기존의 열수 추출이나 고온

가열 기반 추출법보다 에너지 소모가 적고, 고온처리로 인한 생리활성 성분의 열변성을 방지할 수 있는 장점이 있으며, 세포벽 구조의 효과적인 분해를 통해 비수용성 성분을 수용성으로 전환시켜 생리활성 물질의 추출률을 높일 수 있는 방법이다(장은진 외, 2020). 식물 소재에 효소 처리를 한 연구로는 섬쑥부쟁이 추출물의 품질특성(김선화 외, 2023), 감태 분획물의 항비만 효과(김슬영 외, 2014), 연잎 추출물의 항산화 활성(최선주 외, 2009), 녹차 잎의 항산화 및 항균 활성(임동욱 외, 2023), 천년초 줄기로부터 식이섬유소 추출(장은진 외, 2020), 물푸레나무 향염 및 항산화 효능 연구(이혜원 외, 2023), 뽕잎의 생물 전환(김영욱, 2017) 등이 있으나 솔잎을 이용한 연구는 미비한 실정이다. 본 연구에 사용된 Viscozyme L(이하 Viscozyme)과 Pectinex Ultra SP-L(이하 Pectinex)은 식물 세포벽을 효과적으로 분해할 수 있는 복합 섬유 분해 효소로, 식물성 소재로부터 기능성 성분의 추출 효율을 향상시키기 위해 식품 및 기능성 소재 가공 분야에 널리 활용되고 있다(김미진 외, 2007). Viscozyme은 β -D-glucan의 (1,3)-또는 (1,4)-글리코시드 결합을 가수분해하는 endo- β -glucanase 활성을 중심으로, xylanase, cellulase, hemicellulase 등을 포함하는 효소 복합체로 구성되어 있다(김영욱, 2017). 반면, Pectinex는 *Aspergillus niger*에서 유래한 효소로 pectintranseliminase, polygalacturonase, pectinesterase 등 다양한 펙틴 분해 효소 활성을 포함하고 있어, 식물성 조직의 펙틴과 셀룰로오스를 분해함으로써 점도 저하, 추출 수율 향상, 유효 성분 유리 촉진 등 다양한 효과를 나타낸다(박민경, 김철현, 2009; 임동욱 외, 2023). Viscozyme은 배(이평화 외, 2014), 풋사과(최지혜, 정신교, 2019), 메밀 껍질(임희진 외, 2016) 등에 이용하였으며, Pectinex는 연잎(최선주 외, 2009), 인삼(김영찬 외, 2007), 사과껍질(박민경, 김철현, 2009), 복분자(김희선 외, 2015) 등에 이용하여, 수율, 총 폴리페놀 함량과 항산화 활성, 기호성 증가 등이 유의하게 증가하였다고 보고되었다(김미진 외, 2024). 즉, 효소 추출 기반의 기술은 단순한 기능성 성분 확보를 넘어 감미, 점도, 향미 등 물리적·관능적 특성의 개선(인병호 외, 2024)에도 긍정적인 영향을 주었다. 이에 본 연구에 사용된 Viscozyme과 Pectinex 효소 전처리는 섬유질 함량이 높은 식물성 소재인 솔잎의 기능적 식품 소재로서의 활용 가능성을 증대시키는 데 효과적인 수단이 될 것으로 추측된다. Chen et al.(2012)은 초음파와 효소 복합처리 방법은 단일 처리보다 더 높은 항산화 및 생물학적 활성을 제공하는 매우 효율적이고 간단하며 새로운 다당류 추출 방법이

라고 하였다. 또한, Olawuyi et al.(2020)은 오크라를 효소 단일 처리보다 효소-초음파 복합 처리하여 추출하였을 때 생리활성 화합물의 용출이 촉진되어 항산화 활성과 항균 활성이 향상되었다고 보고하였다. 이에 솔잎 또한 초음파와 효소 복합 처리 시 효소 활성의 증가로 인해 이화학적 특성이 긍정적인 방향으로 더욱 증가할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구에서는 솔잎을 초음파 및 효소(Viscozyme L과 Pectinex Ultra SP-L)로 단독 또는 복합처리하여 각 처리 조건에 따른 솔잎 추출액의 이화학적 특성과 항산화 활성을 분석하여 솔잎의 식품소재로서 이용성을 증가시키기 위한 기초자료로 활용하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 재료 및 시약

솔잎은 2025년 2월에 채취한 강원도 정선군의 적송을 온라인 쇼핑몰에서 구매하여 사용하였다. 솔잎 전처리에 사용된 섬유 분해 효소는 Viscozyme L(이하 Viscozyme, Novozymes A/S, Bagsvaerd, Denmark), Pectinex Ultra SP-L(이하 Pectinex, Novozymes A/S, Bagsvaerd, Denmark) 2종의 효소를 사용하였다. 항산화 실험에 Folin-Ciocalteu's phenol reagent(F-9252), Potassium persulfate(216224), 2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) diammonium salt(A1888)는 Sigma Chemical Co. St. Louis, USA)의 제품을 이용하였고, 그 외 1급 시약을 사용하였다.

2. 실험 방법

1) 전처리 방법을 달리한 솔잎 추출액의 제조

솔잎은 깨끗한 물로 3번 세척 하여 표면의 물기를 완전히 제거한 다음 2cm로 세절하여 시료와 물을 1:10의 비율로 혼합하였다. HW는 50℃ 항온수조에 2시간, US는 25℃ Sonicator(UIL-DHS15040, 유일초음파(주), 안산, 한국)를 이용하여 2시간, VZ와 PN은 Viscozyme과 Pectinex를 각각 5%씩 단독 첨가하여 50℃ Shaking incubator(SI-100R, 한양사이언스랩(주), 서울, 한국) 2시간, USVZ와 USPN은 25℃ Sonicator(UIL-DHS15040, 유일초음파(주))에 1시간 처리 후 Viscozyme과 Pectinex를 각각 5%씩 단독 첨가하여 50℃ Shaking incubator(SI-100R, 한양

사이언스랩(주))에서 1시간 추출하였다. 효소를 첨가한 실험군들은 모두 효소 중지 반응을 위해 Autoclave(AC-13, 제이오택(주), 대전, 한국)에서 121℃ 15분 처리해 주었다. 추출을 끝낸 실험군들은 믹서기를 사용하여 갈아준 후 35mesh 체(청계씨브(주), 군포, 한국)에 걸러 추출액만 사용하였다.

2) 전처리 방법을 달리한 솔잎 추출액의 pH, 당도 및 탁도

솔잎 추출액을 원심분리기(MF-80, 한일과학산업(주), 인천, 한국) 3,000rpm으로 10분간 원심분리 시킨 후 여과지(No.2)를 사용해 여과한 상등액으로 pH는 pH meter (A221, Orion Co., Beverly, USA)를 이용하였고, 당도는 당도계(PAL-1, Atago, Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였다. 또한, 탁도는 96 wells plate에 상등액을 200μL씩 분주 후 분광광도계(Spectra MR, Dynex Technologies Inc., Chantilly, Virginia, USA) 600nm에서 흡광도를 측정하였다.

3) 전처리 방법을 달리한 솔잎 추출액의 색도

색도는 추출액을 Cell-dish(35mm×10mm)에 담아준 뒤, 색차계(CM-2600d Chroma Meter, Konica Minolta Holdings Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 L(명도: lightness), a(적색도: redness) 및 b(황색도: yellowness) 값을 3회 반복 측정 후, 평균값을 구하였다. 표준색판(Standard Plate)은 백판(L=99.36, a=-0.07, b=-0.04)을 사용하였다.

4) 전처리 방법을 달리한 솔잎 추출액의 항산화

항산화 실험은 솔잎 추출액 2g에 80% 에탄올을 18g 혼합한 후 원심분리기(MF-80, 한일과학산업(주)) 3,000rpm으로 10분간 원심분리 시킨 후 시료로 사용하였다.

총 폴리페놀 함량은 Folin-Ciocalteu(Folin & Ciocalteu, 1927)의 방법을 약간 변형하여 실험하였다. 시료 0.2mL에 2N Folin-Ciocalteu phenol reagent 0.4mL와 증류수 2mL를 취하고 3분간 상온에 반응시킨 뒤, 1N Na₂CO₃ 0.8mL를 가하여 1시간 동안 암소 반응한 것을 분광광도계(Spectra MR, Dynex Technologies Inc.)를 이용하여 750nm에서 흡광도를 측정하였다. Gallic acid를 표준물질로 사용하여 총 폴리페놀 함량을 산출하였다.

총 플라보노이드 함량은 이영철 외(1997)의 방법을 참고하였다. 시료 400μL에 90% diethylen glycol 4mL와

1N-NaOH 40 μ L를 분주 후 혼합해주고 37 $^{\circ}$ C 인큐베이터에서 1시간 반응시킨 다음 분광광도계(Spectra MR, Dynex Technologies Inc.)를 이용하여 420nm에서 흡광도를 측정하였다. Rutin을 이용하여 총 플라보노이드 함량의 표준물질을 산출하였다.

DPPH 라디칼 소거능은 Blois(1958)의 방법을 참고하여 실험하였다. 시료 1mL에 0.2mM DPPH(α - α -diphenyl- β -picrylhydrazyl)에탄올 용액 4mL를 넣어 교반한 후 30분간 암소 반응 후 분광광도계(Spectra MR, Dynex Technologies Inc.)를 이용하여 517nm에서 흡광도를 측정하였다. 다음과 같은 계산식으로 DPPH radical 소거능을 백분율(%)로 나타내었다.

$$\text{DPPH radical 소거능(\%)} = \{1 - (\text{시료 첨가군} / \text{무첨가군})\} \times 100$$

ABTS 라디칼 소거능은 Re et al.(1999)의 방법을 약간 변형하여 실험하였다. ABTS(2,2'-Azino-bis 3 ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) 7mM 용액과 Potassium persulfate 2.45mM 용액을 1:1로 섞어 16시간 암소 반응을 시켜 ABTS cation(ABTS⁺) radical을 형성한 후, 734nm에서 0.7 \pm 0.02의 흡광도가 되도록 증류수로 희석하였다. 96 wells plate에 시료 20 μ L과 라디칼이 형성된 ABTS용액 200 μ L를 분주하고 30분간 암소 반응시킨 후, 분광광도계(Spectra MR, Dynex Technologies Inc.)를 이용하여 734nm에서 흡광도를 측정하였다.

5) 전처리 방법을 달리한 솔잎 추출액의 α -Glucosidase 활성

솔잎 추출액의 α -Glucosidase 활성은 α -Glucosidase

Activity Assay Kit(MAK123, Sigma-Aldrich Co., Louis, USA)를 사용하였으며, Kit의 protocol 방식으로 실험을 진행하였다. 96 wells plate의 2개의 wells에 증류수 20 μ L씩 넣은 후, 각각 증류수 200 μ L, calibrator 200 μ L을 분주하였다. 각 시료 20 μ L와 Master Buffer Mix(Assay Buffer 200 μ L, α -NPG 8 μ L)를 분주해 섞어준 뒤 분광광도계(Spectra MR, Dynex Technologies Inc.)를 이용하여 405nm에서 초기 흡광도(405_initial)를 측정하였다. 37 $^{\circ}$ C 배양기에서 20분간 반응시킨 후, 405nm에서 최종 흡광도(405_final)를 측정하였다.

$$\alpha\text{-Glucosidase 활성(units/L)} = (405_final - 405_initial) \times 250 / (405_calibrator - 405_water)$$

3. 통계분석

전처리가 다른 솔잎 추출액의 품질특성 결과는 SPSS 프로그램(IBM SPSS Statistics 20.0, IBM SPSS Co., New York, USA)을 이용하여 평균값과 표준편차를 구하고, 전처리 방법에 따른 솔잎 추출액 군들 간의 차이 검증은 일원 배치 분산 분석(one-way ANOVA)을, 사후검증은 Duncan's test를 이용해 통계적 유의성을 검증하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 전처리 방법에 따른 솔잎 추출액의 당도 및 pH, 탁도

솔잎 추출액의 당도, pH, 탁도는 <표 1>과 같다. 당도는 0.80~2.10Brix%이며, 열수 추출인 HW는 0.80Brix%인

<표 1> 전처리 방법에 따른 솔잎 추출액의 당도 및 pH, 탁도

구분	HW ¹⁾	US	VZ	PN	USVZ	USPN	F-value
당도(Brix%)	0.80 \pm 0.001 ^a	1.20 \pm 0.001 ^b	1.80 \pm 0.001 ^c	1.90 \pm 0.001 ^d	2.00 \pm 0.001 ^e	2.10 \pm 0.001 ^f	80000.000 ^{****4)}
pH	4.42 \pm 0.001 ^{d2)3)}	4.38 \pm 0.001 ^c	4.38 \pm 0.006 ^c	4.38 \pm 0.010 ^c	4.36 \pm 0.001 ^b	4.34 \pm 0.001 ^a	87.020 ^{***}
탁도	0.29 \pm 0.001 ^{a2)3)}	0.66 \pm 0.002 ^c	0.61 \pm 0.002 ^b	0.67 \pm 0.002 ^d	0.73 \pm 0.002 ^e	1.54 \pm 0.002 ^f	150977.985 ^{***}

1) HW: Hot Water 열수 추출, US: Ultrasound 초음파 추출, VZ: Viscozyme 처리, PN: Pectinex 처리, USVZ: Ultrasound +Viscozyme처리, USPN: Ultrasound+Pectinex처리

2) Values are Mean \pm SD

3) ^{a-f}Means within row with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$) by one-way ANOVA followed by Duncan's multiple range test.

4) ^{***} $p < 0.001$

반면, 단일 추출로 전처리한 US 1.20Brix%, VZ 1.80 Brix%, PN 1.90Brix%이었고 복합 추출로 전처리한 USVZ 2.00Brix%, USPN 2.10 Brix%로 유의적인 차이를 보였다($p < 0.001$). 이는 초음파의 공동현상(cavitation)으로 인해 세포벽이 물리적으로 파괴되고(최준혁, 2021; Larsen et al., 2021), 이어서 효소에 의해 세포벽 다당류가 가수분해 되면서 세포 내 수용성 탄수화물, 단당류 등이 효과적으로 추출액으로 용출된 결과로 해석된다(신원경, 2024; 조치홍 외, 2024). 특히, USPN이 가장 높은 값을 보였는데, 이러한 전처리 조건은 열수 처리나 초음파와 효소 단일 처리보다 초음파와 효소의 복합처리 공정이 월등히 높은 추출 효율을 나타냈으며, 이는 식물성 소재로부터 당과 관련된 성분을 더 효과적으로 추출할 수 있음을 시사한다. 초음파 처리 연구에서 이유진, 강성태(2012)의 초음파 처리 무증자 분쇄미는 미처리군에 비하여 높은 당도를 나타내었고 초음파 처리 시간이 증가함에 따라서 당도 또한 증가하였는데, 이는 초음파 처리가 분쇄미의 입자를 분해시켜 당화력에 영향을 미친 것이라 판단하였다. 김병철 외(2010)는 초음파 처리에 따른 녹차 침출액의 가용성 고형분 함량을 분석한 결과, 초음파 처리에 의해 가용성 고형분의 함량이 증가하였으며, 이에 따라 초음파 공정이 추출 효율을 향상시키는 보조 수단으로 활용 가능함을 시사하였다. 정현식 외(2016)의 연구에서는 붉은 커피콩 분말을 열수 추출 및 초음파 처리하였을 때 가용성 고형분 함량은 열수 추출보다 초음파 추출이 유의적으로 높게 나타났다. 효소 처리와 관련된 연구에서 김선화 외(2015)는 단삼에 효소 무처리 추출군이 당도가 가장 낮았으며, 효소 추출군은 당도가 높아졌다고 하였고, 이종열 외(2015) 또한, 고추 추출액의 가용성 고형분 함량이 효소 무처리군 보다 세 개의 효소 단독 혹은 혼합 처리군에서 높은 값이 나타났다고 하였다. 이 외에 효소 또는 초음파 처리한 배의 파괴(이평화 외, 2014), 섬쭉부쟁이(김선화 외, 2023), 비트주스(박영민, 2022), 오디(김미진 외, 2024), 콩(고윤범, 2022)에서도 본 실험과 같은 결과를 보였다. 또한, 이주영(2022)은 가바쌀의 당도는 대조군보다 초음파와 효소 복합 추출의 실험군이 높게 나왔다.

솔잎 추출액의 pH는 4.42~4.34이며, 열수 추출인 HW는 4.42로 다른 실험군보다 가장 높은 pH를 나타냈으며 반면, 단일 추출로 전처리한 US 4.38, VZ 4.38, PN 4.38이었고, 복합 추출로 전처리한 USVZ 4.36, USPN 4.34로 유의적인 차이를 보였다($p < 0.001$). 이는 솔잎 추출액에 함유된 탄닌산과 Vitamine C에 의해 산성을 나타낸 것으로 보인

다(박가영 외, 2006; 홍재민, 2015). 이는 열수 추출보다 초음파와 효소 단독 전처리, 또는 복합처리로 유기산이나 분해 산물 증가에 따라 산도가 높아진 것으로 보인다. 또한, USVZ보다 USPN이 낮아 초음파와 Viscozyme을 복합 처리한 것보다 초음파와 Pectinex 복합처리가 산과 관련된 성분 용출이 증가한 것으로 보인다. 초음파 처리 연구에서 이유진, 강성태(2012)의 알콜 발효된 초음파 처리 무증자 분쇄미의 pH는 초음파 미처리군 보다 낮은 값을 보여 산 생성이 빠르게 진행된 것을 확인할 수 있었다. 고윤범(2022)은 콩을 초음파 처리함에 따라 pH가 낮아지며, 초음파 처리 시간이 증가함에 비례하여 더욱 감소한다고 하였다. 또한, 윤선주 외(2003)의 늙은 호박 추출물에 대한 효소 처리 연구에서도, 효소 처리군의 pH가 무처리군 보다 낮은 수치를 보여 본 연구 결과와 같은 경향성을 확인할 수 있었다.

탁도는 0.29~1.54이며, 열수 추출인 HW는 0.29인 반면, 단일 추출로 전처리한 US 0.66, VZ 0.61, PN 0.67이었고 복합 추출로 전처리한 USVZ 0.73, USPN 1.54로 유의적인 차이를 보였다($p < 0.001$). 이주영, 유현희(2023)의 효소와 초음파로 전처리한 가바쌀을 첨가한 국수는 첨가량이 증가할수록 국물의 탁도가 유의적으로 증가하여 본 연구와 같은 맥락으로 보였다. 식물성 재료에 초음파를 사용하면 용매와 식물 재료 사이의 물질 전달을 증가시켜 추출 공정을 향상시킬 수 있다(Chemat et al., 2011). 초음파는 식물 세포벽을 효과적으로 파괴하고 용매의 침투를 증가시키는데, 효소를 추가로 복합 처리할 경우 세포벽 성분을 가수분해하고 세포 내 내용물 용출을 개선한다(이주영, 2022; Olawuyi et al., 2020). 탁도가 높아지는 것은 고형분의 용출이 많이 되었다는 것을 의미하며(이주영, 유현희, 2023), 본 실험 결과와 같이 열수 추출보다 초음파 추출, 효소 추출, 초음파와 효소 복합 추출이 더 좋은 추출 방법이며, 특히 초음파와 효소(Pectinex) 복합처리 공정이 고형분 용출에 가장 효과적인 것으로 보인다.

2. 전처리 방법에 따른 솔잎 추출액의 색도

색도는 L, a, b 값으로 평가하였으며, <표 2>와 같다. L 값은 55.72~48.10이며, 열수 추출인 HW는 55.72인 반면, 단일 추출로 전처리한 US 51.49, VZ 50.43, PN 49.33이었고 복합 추출로 전처리한 USVZ 49.39, USPN 48.10으로 유의적인 차이를 보였다($p < 0.001$). 열수 추출보다 초음파, 효소, 초음파와 효소 복합처리 공정이 상대적으로 어두운 색으로 나타났는데, 이는 <표 1>의 탁도와 같은 맥락으

〈표 2〉 전처리 방법에 따른 슬잎 추출액의 색도

구분	HW ¹⁾	US	VZ	PN	USVZ	USPN	F-value
L	55.72±0.020 ⁽²⁾³⁾	51.49±0.012 ^c	50.43±0.015 ^d	49.93±0.012 ^c	49.39±0.002 ^b	48.10±0.006 ^a	13108.016 ^{***4)}
a	0.56±0.006 ^a	0.71±0.006 ^b	1.03±0.010 ^c	1.15±0.017 ^d	1.59±0.006 ^e	1.75±0.010 ^f	6704.356 ^{***}
b	6.04±0.006 ^f	5.08±0.029 ^e	3.35±0.020 ^d	3.21±0.002 ^c	1.74±0.025 ^b	1.35±0.006 ^a	31120.050 ^{***}

¹⁾ HW: Hot Water 열수 추출, US: Ultrasound 초음파 추출, VZ: Viscozyme 처리, PN: Pectinex 처리, USVZ: Ultrasound +Viscozyme처리, USPN: Ultrasound+Pectinex처리

²⁾ Values are Mean ± SD

³⁾ ^{a-f}Means within row with different superscripts are significantly different ($p<0.05$) by one-way ANOVA followed by Duncan's multiple range test.

⁴⁾ ^{***} $p<0.001$

로 고형분 추출물이 높아져 나온 결과로 생각된다. a값은 0.56~1.75이며, 열수 추출인 HW는 0.56인 반면, 단일 추출로 전처리한 US 0.71, VZ 1.03, PN 1.15이었고 복합 추출로 전처리한 USVZ 1.59, USPN 1.75로 유의적인 차이를 보였다($p<0.001$). b값은 6.04~1.35이며, 열수 추출인 HW는 6.04인 반면, 단일 추출로 전처리한 US 5.08, VZ 3.35, PN 3.21이었고 복합 추출로 전처리한 USVZ 1.74, USPN 1.35로 유의적인 차이를 보였다($p<0.001$). 색도 변화를 보면 열수 추출보다 초음파, 효소, 초음파와 효소 복합 처리군에서 L값은 낮아져 어두운색을 띠며, a값은 높아져 붉은색이 진해졌고, b값은 낮아져 황색은 연해졌는데, 이는 초음파, 효소 처리 공정으로 슬잎 엽록소의 갈변현상(홍재민, 2015)이 일어나 적갈색이 진해져 나온 결과로 생각된다. 주웨이위 외(2020)는 밀삭에 효소 처리 시 L값은 낮아지고, a값은 높아졌으며, b값은 낮아져 본 연구와 같은 결과를 나타내었는데, 이는 클로로필이 효소 처리에 의해 손실된 결과로 보고하였다. 김인선(2024)의 초음파 처리에 의한 완두 단백질 첨가한 휘핑크림의 색도에서 초음파 처리를 하지 않은 완두 단백질 첨가 휘핑크림보다 초음파 처리 휘핑크림의 L값과 b값은 증가하였고, a값은 감소하였다. 이는 휘핑크림에 노란색 지방이 푸른색 빛을 띠는 단백질과 결합하여 녹색이 되어 감소한 것이라고 보았다. 정현식 외(2023)는 초음파로 감 껍질을 추출하였을 때 무처리군에 비해 L값은 감소하고, a값은 증가하여 본 연구 결과와 같지만, b값은 반대로 감소하였는데, 이는 감 껍질의 카로티노이드 함유 차이라고 하였다. 본 연구 결과 또한, 소재의 색소 성분에 따라 효소 및 초음파에 다른 결과를 나타낸 결과로 생각된다.

3. 전처리 방법에 따른 슬잎 추출액의 항산화

슬잎 추출액의 항산화 결과인 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량, DPPH와 ABTS 라디칼 소거능에 대한 결과는 <표 3>과 같다.

슬잎 추출액의 총 폴리페놀 함량은 106.96~721.60mgGAE/mL이며, 열수 추출인 HW는 106.96mgGAE/mL로 가장 낮았으며, 단일 추출로 전처리한 US 155.96mgGAE/mL, VZ 412.46mgGAE/mL, PN 431.82mgGAE/mL이었고 복합 추출로 전처리한 USVZ 498.37mgGAE/mL, USPN 721.60mgGAE/mL으로 유의적인 차이를 보였다($p<0.001$). 초음파 연구로 김소정 외(2013)는 감태 추출 시, 초음파 추출이 열수 추출보다 페놀성 화합물 함량을 약 14배 이상 증진시킨다고 하였다. 또한 이진주, 윤경영(2022)은 여주의 여러 추출 방법(고온 가압, 열수, 초음파 등) 중에 초음파 추출에서 폴리페놀 함량이 가장 높은 함량을 보였는데, 이는 초음파의 공동현상으로 식물 세포벽이 파괴되어 세포 내부 물질의 용해성, 용출이 증가된 것으로 판단된다고 하였다. 박성진 외(2017)는 추출 공정별 아가위나무 열매의 폴리페놀 함량은 상온 교반 추출물보다 초음파 추출에서 약 2배가 증가하였다고 하였다. 또한 이러한 결과는 초음파 공정에서 발생하는 높은 에너지가 생리활성 성분의 구조적 손상을 최소화하며, 더 많은 유효 성분의 용출을 유도하여 최종적으로 기능성 효능을 향상시킨 것으로 해석하였다. 효소 처리 관련 선행연구로 성혜미 외(2014)의 연구에서는 콩나물 추출물의 처리 방법(효소, 초고압, 열수) 중 효소 처리 추출물의 총 폴리페놀 함량이 유의적으로 가장 높은 함량을 보였다고 하였으며, 이는 효소 처리로 인한 세포벽의 구조적 변화가 콩나물 내 총 폴리페놀의 추출 효율을 증가시켜 함량이 증가한 것이라고 하였다. 최지혜, 정신교(2019)의 연구에서는 풋사과를 적정 효소 처리 조건에서 반응시켰을 때 효소 무처리군에 비해 효소 처리군의 총 폴

리페놀 함량이 높아졌다. 김자민 외(2020)의 연구에서는 효소 처리 노니주스의 총 폴리페놀 함량이 효소 처리하지 않은 시판 노니주스보다 유의적으로 높게 측정되었는데, 이는 세포벽 분해 효소 처리로 불용성 페놀 물질이 유리 형태로 전환되어 추출 효율이 높아졌다고 하였다. 채희정 외(2011)는 효소 처리 흑마늘 추출물이 효소 처리 전보다 약 26% 증가하였고, 총 폴리페놀 함량은 항산화 작용을 하는 대표적인 성분으로 총 플라보노이드 함량과 항산화 활성이 비례할 것이라고 하였다. 이 외에도 효소 또는 초음파 추출한 녹차(김병철 외, 2010), 개망초(임경현, 2013), 병풀(이경행 외, 2021), 연잎(최선주 외, 2009)이 본 실험과 같은 결과를 보였다. 이에 본 연구에서도 열수 추출보다 효소와 초음파 추출에서 총 폴리페놀 함량이 높아진 것은 식물 세포벽 파괴로 불용성 페놀 물질을 유리 형태로 전환되어 총 폴리페놀 성분의 용출이 증가하여 나타난 결과로 보인다.

총 플라보노이드 함량은 65.11~318.57mgGE/mL이며, 열수 추출인 HW는 65.11mgGE/mL로 가장 낮았으며, 단일 추출로 전처리한 US 70.31mgGE/mL, VZ 191.84mgGE/mL, PN은 205.73mgGE/mL이었고, 복합 추출로 전처리한 USVZ는 259.73mgGE/mL, USPN은 318.57mgGE/mL로 유의적인 차이를 보였다($p < 0.001$). 총 플라보노이드 함량 역시 추출조건에 따라 뚜렷한 차이를 보였으며, 특히 USVZ 및 USPN 처리군은 초음파와 효소 복합처리로 플라보노이드 성분의 유리율이 극대화된 것으로 보였다. 초음파 처리 관련 선행연구로 박성진 외(2017)는 추출 공정별(상온교반, 환류 냉각, 초음파) 아가위나무 열매의 총 플라보노이드 함량은 초음파 추출에서 가장 높은 함량

을 나타내어 초음파 추출 공정이 생리활성 성분의 용출을 용이하게 해준다고 하였으며, 총 플라보노이드는 총 폴리페놀 함량과 서로 밀접한 상관관계가 있다고 보고하였다. 효소 처리 관련 선행연구로 유진균 외(2013)의 연구에서는 효소 처리 당근의 총 플라보노이드 함량은 마쇄 처리군보다 높은 함유량을 보였고, 이는 효소 처리로 인해 세포벽이 가수분해되어 세포막이 보호됨과 동시에 추출과정 중 마쇄 처리군에 비해 추출 효율이 좋아진 결과로 사료된다고 하였다. 이경행 외(2021)의 연구에서는 효소 처리 병풀 추출물의 총 플라보노이드 함량이 효소 무처리군에 비해 효소 처리군이 높게 나타나 본 연구와 같은 결과를 보였고, 효소 처리는 조직을 연화시키며 추출율을 높여 항산화 활성도를 나타내는 화합물들의 함량을 증가시키는 것이라 보고하였다. 이를 통해 본 연구 또한, 초음파 처리와 효소 처리가 솔잎의 세포벽 조직을 연화시켜 생리활성 성분의 용출을 용이하게 하여 플라보노이드 추출 효율이 높아진 것으로 판단된다.

솔잎 추출액의 DPPH 라디칼 소거능은 85.22~92.13%로 열수 추출인 HW는 85.22%인 반면, 단일 추출로 전처리한 US 89.55%, VZ 90.35%, PN은 91.00%이었고, 복합 추출 공정으로 전처리한 USVZ는 91.38%, USPN은 92.13%로 유의적인 차이를 보였다($p < 0.001$). 효소, 초음파, 초음파와 효소 복합처리가 전반적으로 열수 추출보다 높은 DPPH 라디칼 소거능을 보여 솔잎 내 항산화 물질의 유리에 긍정적인 영향을 주었음을 의미한다. DPPH(1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl)는 자색을 띠는 안정적인 free radical로써, 항산화 물질과 반응하여 전자나 수소를 공여받으면

〈표 3〉 전처리 방법에 따른 솔잎 추출액의 총 폴리페놀과 총 플라보노이드 함량 및 DPPH 와 ABTS 라디칼 소거능

구분	HW ¹⁾	US	VZ	PN	USVZ	USPN	F-value
총 폴리페놀 (mg GAE/mL)	106.96±3.78 ^{a2)3)}	155.96±1.05 ^b	412.46±6.37 ^c	431.82±4.19 ^d	498.37±1.82 ^e	721.60±7.91 ^f	6682.978 ^{***4)}
총 플라보노이드 (mg QE/mL)	65.11±9.018 ^a	70.31±0.001 ^a	191.84±7.954 ^b	205.73±0.001 ^c	259.55±3.008 ^d	318.57±6.016 ^e	974.800 ^{***}
DPPH 라디칼 소거능(%)	85.22±0.20 ^a	89.55±0.10 ^b	90.35±0.11 ^c	91.00±0.10 ^d	91.38±0.10 ^e	92.13±0.24 ^f	783.366 ^{***}
ABTS 라디칼 소거능(%)	57.35±0.27 ^a	73.55±1.07 ^b	77.97±0.40 ^c	78.65±0.30 ^c	80.83±0.51 ^d	81.76±0.25 ^d	836.183 ^{***}

1) HW: Hot Water 열수 추출, US: Ultrasound 초음파 추출, VZ: Viscozyme 처리, PN: Pectinex 처리, USVZ: Ultrasound +Viscozyme처리, USPN: Ultrasound+Pectinex처리

2) Values are Mean ± SD

3) ^{a-f}Means within row with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$) by one-way ANOVA followed by Duncan's multiple range test.

4) ^{***} $p < 0.001$

황색으로 탈색된다. 이 원리를 이용한 DPPH 라디칼 소거능은 항산화 활성을 정량적으로 평가할 수 있는 간단하고 재현성 높은 방법으로, 식물 추출물 등 천연물의 항산화 능력 평가에 널리 사용되고 있다(유지현 외, 2004; Blois, 1958; Molyneux, 2004). 특히, vitamin C, polyphenol, 방향족 아민류 등의 항산화 성분은 DPPH와 반응하여 자색을 탈색시키며, 총 폴리페놀 함량과도 밀접한 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다(김선화 외, 2023; 이주영, 2022). 초음파 처리 관련 선행연구로 박성진 외(2017)의 연구에서는 아가위나무 열매를 추출 방법(상온교반, 환류 냉각, 초음파)에 따라서 추출하였을 때 DPPH 라디칼 소거능은 초음파 추출에서 가장 높아 초음파로 인해 유용활성 성분이 많이 용출된 것으로 보고하였다. 하지혜 외(2009)의 홍경천 뿌리 및 켈리스 추출 방법에 따라서 추출물을 제조하였을 때 초음파 추출이 열수 추출보다 9.64% 더 높은 소거능을 보여 초음파 공정을 통해 항산화 활성 성분의 용출이 용이해졌다고 하였다. 효소 처리로 김미진 외(2007)의 효소 처리에 따른 황기 추출물의 DPPH는 효소를 처리하지 않은 추출물에 비해 2배의 소거 효과를 나타내었으며, 성혜미 외(2014)의 연구에서는 처리 방법(효소, 초고압, 열수)에 따른 콩나물 추출물의 DPPH 라디칼 소거능에서 효소 처리 추출물이 가장 높은 결과값을 내었으며, 효소 처리 추출 방법이 초고압 처리나 열수 처리하는 것보다 항산화 활성을 증가시키는 방법으로 사료된다 하였다. 김자민 외(2020)는 효소 처리 노니주스의 DPPH 라디칼 소거능을 측정하였을 때, 효소 처리 노니주스의 값이 시판 노니주스에 비해 높게 측정되어 효소 처리 노니주스에 높은 산화 방지 활성이 있을 것이라고 하였다. 이 외에도 황기 추출물(김미진 외, 2007), 배 과피(이평화 외, 2014), 섬쭉부쟁이 추출물(김선화 외, 2023), 병풀(이경행 외, 2021)이 본 실험과 같은 결과를 보였다. 이에 초음파 처리와 효소 처리는 솔잎에서 폴리페놀 및 플라보노이드와 같은 항산화 성분의 용출을 용이하게 하여 DPPH 라디칼 소거활성이 높아진 것으

로 판단된다.

솔잎 추출액의 ABTS 라디칼 소거능은 57.35~81.76으로 열수 추출인 HW는 57.35%인 반면, 단일 추출로 전처리한 US 73.55%, VZ 77.97%, PN은 78.65%이었고, 복합 추출 공정으로 전처리한 USVZ는 80.83%, USPN은 81.76%로 유의적인 차이를 보였다($p<0.001$). 이는 열수 추출보다 초음파 또는 효소의 단일 추출, 초음파와 효소 복합 추출 공정이 ABTS 라디칼 소거능 활성도를 높일 수 있다는 것을 알 수 있었다. 이평화 외(2014)는 배의 과피를 효소 처리하였을 때 효소 무처리군 보다 ABTS 라디칼 소거능이 높게 나타난다고 제시하였는데, 폴리페놀과 플라보노이드 함량 증가에 비례하여 ABTS 라디칼 소거능 또한 증가한 것이라고 하였다. 양우송 외(2022)의 효소 처리 누에 분말 연구에서 효소 무처리군보다 효소 처리를 한 모든 실험군이 높게 나타났으며, 김영수 외(2022)의 연구에서는 도라지 복합 효소 추출물이 일반 열수 추출물보다 ABTS 라디칼 소거능이 약 1.3배 증가하였다. 남형욱 외(2024)의 연구에서는 효소를 첨가한 멸치액젓은 효소를 첨가하지 않은 멸치액젓보다 ABTS 라디칼 소거능이 높아 멸치액젓의 효소 처리가 생리활성과 연관되어, 기능성을 향상시키는데 적합하다고 하였다. 또한, 성혜미 외(2014)의 처리방법(효소, 초고압, 열수)에 따른 콩나물 추출물의 ABTS 라디칼 소거능에서 효소 처리 추출물이 가장 높게 나타났으며, DPPH 라디칼 소거능 반응이 증가하는 것과 일치하였다고 하여 본 실험과 같은 결과를 나타냈다. 이를 통해 초음파와 효소 복합처리가 솔잎 추출액의 항산화 활성을 효과적으로 증진시키는 공정임을 확인할 수 있었다.

4. 전처리 방법에 따른 솔잎 추출액의 α -Glucosidase 활성도

솔잎 추출액의 α -Glucosidase 활성도는 <표 4>와 같다. α -Glucosidase 활성도는 129.86~86.66units/L이며, 열수

<표 4> 전처리 방법에 따른 솔잎 추출액의 α -Glucosidase 활성도

(units/L)

HW ¹⁾	US	VZ	PN	USVZ	USPN	F-value
129.86±2.21 ^{e2)3)}	123.21±3.54 ^d	112.47±2.46 ^c	107.36±3.07 ^c	99.95±1.60 ^b	86.66±5.37 ^a	68.750 ^{***4)}

1) HW: Hot Water 열수 추출, US: Ultrasound 초음파 추출, VZ: Viscozyme 처리,

PN: Pectinex 처리, USVZ: Ultrasound +Viscozyme처리, USPN: Ultrasound+Pectinex처리

2) Values are Mean ± SD

3) ^{a-c}Means within row with different superscripts are significantly different

($p<0.05$) by one-way ANOVA followed by Duncan's multiple range test.

4) ^{***} $p<0.001$

추출인 HW는 129.86units/L으로 가장 높았으며, 단일 추출로 전처리한 US 123.21units/L, VZ 112.47units/L, PN 107.36units/L이었고 복합 추출로 전처리한 USVZ 99.95 units/L, USPN 86.66units/L으로 유의적인 차이를 보였다 ($p<0.001$). 본 연구에 사용된 α -Glucosidase Activity Assay Kit는 값이 낮을수록 저해 활성이 높은 것으로 해석하는데, HW가 가장 저해 활성도 값이 낮고, USPN이 가장 저해 활성도가 높은 것으로 해석된다. 이는 열수 추출물 대비 US는 5.13%, VZ 13.41%, PN 17.33%, USVZ 23.08%, USPN 33.90% 감소한 것으로 해석할 수 있다. 이진주, 윤경영 (2022)의 연구에서는 추출 방법(열수, 고온 가압, 에탄올, 초음파)에 따른 여주 추출물의 α -Glucosidase 저해 활성도가 초음파 추출에서 가장 높은 저해 활성도를 보여 여주 초음파 추출물이 항당뇨 기능성 소재로 활용 가능성이 높다고 보고하였다. 황여진(2017)의 연구에서 농도별로 효소 처리한 들깨박 수용성 식이섬유의 α -Glucosidase의 저해 활성은 효소 처리의 모든 농도 구간에서 유의적으로 저해 활성을 가지는 것으로 확인되었고, 들깨박 수용성 식이섬유가 급격한 혈당 상승 완화 및 당뇨병 예방에 기능성 식품 소재로 활용될 수 있을 것이라고 하였다. 김미정 외(2006)는 2형 당뇨 마우스에서 솔잎 추출액의 경구투여가 혈당 강하에 효과가 있으며, 문정애(1999) 또한 Stroptozotocin으로 유발시킨 당뇨병 흰쥐에 있어 솔잎과 울피 추출물의 혈관 보호 효과가 있어 솔잎 추출물이 혈당에 도움이 된다고 보고하였다. 본 연구에서 솔잎 추출액 중 초음파와 효소 복합 처리한 USPN의 α -Glucosidase 저해 활성도가 가장 높아 솔잎을 항당뇨 천연 기능성 소재로서 활용할 때 초음파와 효소 복합 처리하면 항당뇨 활성이 더 증가할 것으로 판단된다.

IV. 요약

본 연구에서는 솔잎의 우수한 생리활성을 식혜의 기능성 향상을 위한 식품 소재로 사용하고자, 솔잎에 초음파 및 효소(Viscozyme, Pectinex)를 단독 또는 복합처리하여 제조한 솔잎 추출물의 이화학적 특성과 생리활성을 분석하였다. 솔잎 열수 처리군(HW), 초음파 단독 처리군(US), Viscozyme 단독 처리군(VZ), Pectinex 단독처리군(PN), 초음파와 Viscozyme 복합처리군(USVZ), 초음파와 Pectinex 복합처리군(USPN)으로 솔잎 추출액을 제조하여 평가하였다. 이화학적 특성 분석 결과, 당도는 HW(0.80Brix%)

보다 다른 실험군이 높았으며, 그 중 USPN이 2.10Brix%로 유의적으로 가장 높은 값을 나타내었다($p<0.001$). pH는 HW(4.42)보다 다른 실험군이 유의적으로 낮았고($p<0.001$), USPN이 가장 낮은 pH(4.34)를 보였다. 탁도는 HW(0.29)보다 다른 실험군이 높았으며 USPN이 1.54로 유의적으로 가장 높게 나타났다($p<0.001$). 색도는 HW보다 다른 실험군이 L값은 감소, a값은 증가, b값은 유의적으로 낮았다($p<0.001$). 총 폴리페놀 함량은 HW의 106.96mgGAE/mL보다 다른 실험군이 유의적으로 높았으며, 특히 USPN이 721.60mgGAE/mL로 가장 높았다($p<0.001$). 총 플라보노이드 함량 또한 HW 65.11mgGE/mL보다 다른 실험군이 유의적으로 높았으며, USPN이 318.57mgGE/mL로 가장 높았다($p<0.001$). DPPH 및 ABTS 라디칼 소거능에서도 모든 실험군이 HW보다 높은 활성도를 보였으며, 각각 USPN이 92.13%, 81.76%로 가장 높게 나타났다($p<0.001$). 또한, α -Glucosidase 활성도에서도 HW의 129.86units/L이 가장 높았으며, US, VZ, PN, USVZ, USPN 순으로 낮게 나타났다($p<0.001$). 이는 HW 대비 US는 5.13%, VZ 13.41%, PN 17.33%, USVZ 23.08%, USPN 33.9%로 USPN이 α -Glucosidase 저해도가 가장 높게 나타났다. 따라서 솔잎의 전처리 방법으로 초음파와 Pectinex를 복합 처리하는 것은 솔잎의 항산화 기능성 성분 용출 및 항당뇨 활성 증진에 도움을 주는 것으로 생각된다.

주제어: 솔잎, 품질특성, 효소 전처리, 초음파 전처리

REFERENCES

강운한, 박용곤, 오상룡, 문광덕(1995). 솔잎과 쑥 추출물의 기능성 검토. *한국식품과학회지*, 27(6), 978-984.
 강운한, 박용곤, 하태열, 문광덕(1996). 솔잎추출물이 고지방식이를 급여한 흰쥐의 혈청과 간장 지질조성에 미치는 영향. *한국식품영양학회지*, 25(3), 367-373.
 고운범(2022). 제주산 소립종콩의 초음파 처리 및 발효에 따른 생리활성 변화 연구. 제주대학교 석사학위논문.
 김경미(1997). 솔잎 추출물을 첨가한 청국장의 숙성중 화학성분 변화. 건국대학교 석사학위논문.
 김미정, 안진홍, 최강호, 이윤학, ... 정영신(2006). 2형 당뇨 마우스에서 솔잎 추출액의 경구투여가 혈당 조절에 미치는 영향. *한국식품영양과학회지*, 35(3),

- 321-327.
- 김미진, 임경란, 정택규, 윤경섭(2007). 황기추출물의 항노화 효과. *대한화장품학회지*, 33(1), 33-40.
- 김미진, 황인국, 김지영, 임푸름, ... 최애진(2024). 효소처리를 활용한 오디의 기능성분 대량 추출 적용성 연구. *한국식품영양과학회지*, 53(6), 629-638.
- 김병철, 강성원, 정창호, 허호진, ... 최성길(2010). 초음파 처리가 녹차 침출액의 추출 수율 및 화학적 특성에 미치는 영향. *농업생명과학연구*, 44(5), 91-99.
- 김선화, 윤성란, 정용진(2023). 효소처리 농도 및 시간에 따른 섬썩부쟁이 추출물의 품질특성. *한국식품저장유통학회지*, 30(4), 654-662.
- 김선화, 황인욱, 정신교, 서영진, ... 김미연(2015). 효소처리에 따른 단삼 추출물의 이화학적 특성. *한국식품저장유통학회지*, 22(5), 699-707.
- 김소정, 김동균, 박종범, 이택건(2013). 초음파 추출법에 의한 감태 추출물의 페놀성 화합물 함량, DPPH 라디칼 소거 활성 및 tyrosinase 저해 활성 분석. *생명과학회지*, 23(7), 913-918.
- 김슬영, 윤인주, 권창주, 최정욱, ... 남택정(2014). 효소 처리한 감태(*Ecklonia cava*) 분획물의 항비만 효과. *한국수산과학회지*, 47(4), 363-369.
- 김신희, 황석연, 박오성, 김무강, 정연진(2005). 솔잎증류액의 투여가 Streptozotocin으로 유도한 당뇨쥐에서 혈당, 구강내당능검사, 혈액 성분에 미치는 영향. *한국식품영양과학회지*, 34(7), 973-979.
- 김영수, 박창수, 나채선(2022). 효율적인 도라지 추출물 제조를 위한 복합 효소 처리 방법 연구. *한국키티킨토산학회지*, 27(3), 132-136.
- 김영욱(2017). Viscozyme L을 이용한 빵잎의 생물전환. 부산대학교 석사학위논문.
- 김영찬, 조장원, 이영경, 유경미, 노정애(2007). 효소처리와 열처리에 의한 인삼 추출물의 항산화 활성. *한국식품영양과학회지*, 36(11), 1482-1485.
- 김은정, 정성원, 최근표, 함승시, 강하영(1998). 솔잎 추출물의 in vitro계 암세포 성장억제효과. *한국식품과학회지*, 30(1), 213-217.
- 김인선(2024). 초음파 처리 완두 단백을 이용한 식물성 휘핑크림의 품질 특성. 경북대학교 석사학위논문.
- 김일석, 진상근, 하경희, 류현지, 박기훈(2005). 솔잎, 깻잎 및 녹차분말이 함유된 유화형 소시지 품질특성. *한국축산학회지*, 47(4), 667-678.
- 김일훈, 고유진, 최인덕, 김영기, ... 심기환(2012). 솔잎의 항산화활성 및 솔잎분말을 첨가한 우리밀국수의 품질특성. *농업생명과학연구*, 46(5), 127-136.
- 김자민, 전연희, 정용진, 윤경영(2020). 효소처리 노니주스와 시판 노니주스의 기능성 성분, 산화방지 활성 및 NO 생성 억제 효과. *한국식품과학회지*, 52(1), 75-80.
- 김종군(1995). 썩과 솔잎을 첨가한 절편의 영양학적 특성. *한국식품조리과학회지*, 11(5), 446-455.
- 김창렬, 김광현(2007). 솔잎 담고기 양념육의 냉장동안 품질평가. *한국축산식품학회지*, 27(1), 47-52.
- 김희선, 최우영, 김원석, 김명환(2015). 효소처리를 이용한 복분자 추출공정의 최적화 연구. *산업식품공학*, 19(1), 62-69.
- 남형욱, 이승화, 김우현, 민동규, ... 권상철(2024). 효소처리에 따른 멸치액젓의 품질특성 및 생리활성. *한국산학기술학회논문지*, 25(4), 275-282.
- 노종희(2013). 솔잎 분말을 첨가한 개성약과의 품질 특성. 세종대학교 석사학위논문.
- 문정애(1999). Streptozotocin 으로 유발시킨 당뇨병 흰쥐에 있어 울피 Ext. 및 솔잎 Ext.의 혈관보호효과. 동덕여자대학교 석사학위논문.
- 문화방송(1988). *한국민간요법대전*. 서울: 금박.
- 박가영, 리홍선, 황인덕, 정현숙(2006). 솔잎차즙액의 발효에 따른 기능성 효과. *한국생물공학회지*, 21(5), 376-383.
- 박민경, 김철현(2009). Cellulase와 Pectinase를 이용한 사과껍질 폴리페놀 추출 및 항산화 활성 평가. *한국식품영양과학회지*, 38(5), 535-540.
- 박선영(2015). 솔잎을 첨가한 아이스크림의 품질특성. 성신여자대학교 석사학위논문.
- 박성진, 권성필, 나영아(2017). 초음파추출 공정을 이용한 아가위나무 열매의 항산화 활성 증진. *한국식품영양과학회지*, 46(7), 891-895.
- 박영민(2022). 효소 처리 비트주스를 첨가한 발효유의 품질특성. 군산대학교 박사학위논문.
- 박용수, 박미라, 전민희, 황현정, ... 김미향(2011). 적송 잎 열수 추출물이 사염화탄소를 투여한 흰쥐의 항산화 활성에 미치는 영향. *생명과학회지*, 21(4), 604-609.
- 박종갑(1978). *한방대의전*. 대구: 동양종합통신교육원출판부.

- 부용출, 전체옥, 오지연(1994). 솔잎으로부터 항산화 성분인 4-hydroxy-5-methyl-3[2H]-furanone의 분리. *한국농화학회지*, 37(4), 310-314.
- 성혜미, 김숙정, 김경미, 윤수경, ... 위지향(2014). 효소 처리와 초고압 처리에 의한 콩나물 추출물의 항산화 활성. *한국식품영양과학회지*, 43(8), 1228-1235.
- 손병길, 김현은, 이준호(2015). 솔잎 분말을 첨가한 두부의 품질특성. *한국식품영양과학회지*, 44(2), 296-301.
- 신원겸(2024). 다당류 분해효소의 전처리가 펄프 고해에 미치는 영향. 충북대학교 석사학위논문.
- 안연화(2009). 단호박 첨가수준에 따른 식혜(食醪)의 저장 중 품질 특성. 충북대학교 석사학위논문.
- 양우송, 신경옥, 안규미, 이재림, ... 한정식(2022). 효소처리 누에 분말의 생리 활성에 관한 연구. *한국식품과학회지*, 54(1), 88-93.
- 유지현, 차재영, 정영기, 정경태, 조영수(2004). 솔잎 추출물의 항산화 효과. *생명과학회지*, 14(5), 863-867.
- 유진균, 이진희, 조형용, 김정국(2013). 효소처리 가공이 당근(*Daucus carota var. sativa*)의 항산화 활성 변화에 미치는 영향. *한국식품영양과학회지*, 42(2), 262-267.
- 윤근영(2009). 솔잎의 기능성과 솔잎 첨가떡의 품질 특성에 대한 연구. 세종대학교 박사학위논문.
- 윤선주, 김정은, 정용진(2003). 늙은 호박 추출물 음료 배합비의 모니터링. *한국식품저장유통학회지*, 10(3), 308-313.
- 이경행, 주가영, 김채영, 한기정, ... 배윤정(2021). 효소처리 병풀(*Centella asiatica*)의 이화학적 품질 변화 및 이를 이용한 잼의 제조. *한국식품영양과학회지*, 34(6), 612-620.
- 이서은, 이준호(2013). 솔잎 분말을 첨가한 스펀지 케이크의 품질 및 항산화 특성. *한국식품과학회*, 45(1), 53-58.
- 이영철, 황금희, 한동휴, 김성대(1997). 손바닥 선인장의 성분 특성. *한국식품과학회지*, 29(5), 847-853.
- 이유진, 강성태(2012). 초음파를 이용한 무증자 분쇄 백미의 알코올 발효. *한국식품과학회지*, 44(3), 306-311.
- 이종열, 최구희, 이경행(2015). 복합효소를 이용한 고추 추출액의 이화학적 및 관능적 특성. *한국식품영양과학회지*, 28(4), 628-634.
- 이주영(2022). 효소 및 초음파 처리한 가바쌀 분말의 첨가가 생면의 품질특성에 미치는 영향. 군산대학교 석사학위논문.
- 이주영, 유현희(2023). 효소 및 초음파로 전처리한 가바쌀을 첨가한 국수의 품질특성. *한국생활과학회지*, 32(6), 783-796.
- 이준(2006). 초음파 자극과 화학적 처리를 이용한 현미 발아 촉진 기술 개발. 전남대학교 석사학위논문.
- 이진주, 윤경영(2022). 여주 초음파 추출물의 항산화, 항당뇨 및 항염활성. *한국식품저장유통학회지*, 29(5), 777-789.
- 이창복(2014). *대한식물도감*. 서울: 향문사
- 이평화, 박수연, 장태훈, 임순희, ... 채희정(2014). 탄수화물 분해효소 처리에 의한 배 과피와 과심의 항산화 생리활성 증대효과. *한국식품영양과학회지*, 43(3), 404-410.
- 이향경(2016). 솔잎 추출물을 이용한 구취제거 효과에 대한 연구. 초당대학교 석사학위논문.
- 이혜원, 김유아, 박병준, 한상근(2023). 당분해효소를 이용한 물푸레나무 효소처리물의 항염 및 항산화 효능 연구. *대한화장품학회지*, 49(3), 277-283.
- 인병호, 이재준, 장다빈, 이원중, ... 이경행(2024). 효소처리 초당옥수수 식혜의 이화학적 특성. *한국식품영양과학회지*, 37(1), 9-16.
- 임경현(2013). 초음파를 이용한 개망초로부터 페놀화합물 추출 및 생리활성. 단국대학교 석사학위논문.
- 임동욱, 이가양, 정민정, 김병목, 전준영(2023). 세포빅 분해 효소 처리 및 *Saccharomyces cerevisiae* 발효가 녹차 잎의 항산화 및 항균 활성에 미치는 영향. *한국식품저장유통학회지*, 30(6), 1043-1055.
- 임희진, 박보연, 윤경영(2016). 메밀겉질의 효소분해에 의한 수용성 식품섬유소의 생산 및 기능적 특성. *한국식품과학회지*, 48(2), 97-103.
- 장은진, 김자민, 윤경영, 김성호(2020). 반응표면분석법을 이용한 천년초 줄기로부터 식이섬유소 추출을 위한 효소처리 조건의 최적화. *한국식품저장유통학회지*, 27(6), 800-808.
- 전정례, 김향희, 박금순(2005). 솔잎 분말과 추출물 첨가 국수의 품질특성과 저장성. *한국식품조리과학회지*, 21(5), 685-692.
- 정봉희(2014). 솔잎 처리방법 및 첨가량을 달리한 탁주의 품질특성. 명지대학교 석사학위논문.
- 정소희, 박희진, 신말식, 박철수, 송지영(2017). 초음파처리가 주스용 과일과 채소의 물리적·기능적 특성에 미치

- 는 영향. *한국식품조리과학회지*, 33(4), 387-394.
- 정승일, 유현희(2013). 도라지 분말을 첨가한 식혜의 품질 특성. *한국식품영양과학회지*, 42(5), 759-765.
- 정민철, 박성하, 문윤희(2001). 초음파 처리가 튀김 닭고기의 품질에 미치는 영향. *한국식품영양과학회지*, 30(2), 256-260.
- 정헌식, 윤광섭, 이수원, 문혜경, 김종국(2023). 초음파와 대두유 용매를 이용한 감 껍질 추출물의 이화학적 특성. *한국식품저장유통학회지*, 30(1), 122-131.
- 정헌식, 조정석, 김한수, 김동섭, ... 문광덕(2016). 초음파 추출이 커피 음료의 품질특성에 미치는 영향. *한국식품저장유통학회지*, 23(5), 660-665.
- 조치홍, 정영성, 김민경, 권태영, ... 이상훈(2024). 효소가 수분해 처리한 미역(*Undaria pinnatifida*) 다당류 추출물의 항산화 및 항당화 활성 평가. *한국키티닌토산학회지*, 29(3), 135-143.
- 주웨이위, 박영민, 오종철, 임승용, 유현희(2020). 효소와 유산균으로 전처리한 밀싹분말을 첨가한 식빵의 품질특성. *한국식품영양학회지*, 33(6), 599-613.
- 채희정, 박동일, 이성철, 오철환, ... 인만진(2011). 효소 처리와 유산균 배양에 의한 흑마늘의 항산화 활성 향상. *한국식품영양과학회지*, 40(5), 660-664.
- 최동만, 이동선, 정순경(2007). 솔잎 발효액이 식빵의 품질에 미치는 영향. *한국식품저장유통학회지*, 14(2), 154-159.
- 최민영, 신별, 유주형, 여주호, ... 정진부(2022). 솔잎 (*Pinus densiflora* leaf) 추출물의 항비만 효과. *한국자원식물학회지*, 35(2), 385-389.
- 최선주, 김소영, 이성철, 이진만, ... 채희정(2009). 세포벽 분해 효소 처리에 의한 연잎 추출물의 항산화 및 tyrosinase 저해 활성. *한국생물공학회지*, 24(6), 579-583.
- 최준혁(2021). Ultrasound Sonication을 이용한 미세조류 *Dunaliella salina*의 세포막 파괴에 관한 연구. 조선대학교 석사학위논문.
- 최지혜, 정신교(2019). 풋사과(홍로) 폴리페놀 분획물 항산화성 및 항균 활성. *한국식품저장유통학회지*, 26(6), 690-696.
- 최희돈, 고윤정, 최인욱, 김윤숙, 박용곤(2007). 솔잎 및 소나무 가지 추출물의 항충치 활성 및 glucosyltransferase 억제 효과. *한국식품과학회지*, 39(3), 336-341.
- 하지혜, 정향숙, 정명훈, 김승섭, ... 이현용(2009). 홍경천 뿌리 및 켈러스 초음파 추출물의 항암활성 비교. *한국식품과학회지*, 41(5), 552-559.
- 홍재민(2015). 솔잎 추출액을 첨가한 쌀밥의 품질특성 및 기호도. 세종대학교 석사학위논문.
- 황여진(2017). 효소분해에 의한 들깨박 수용성 식이섬유의 물리적 특성 및 기능성. 영남대학교 석사학위논문.
- Blois, M. S. (1958). Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. *Nature*, 181, 1199-1200.
- Chemat, F., Huma, Z., & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813-835.
- Chen, R., Li, S., Liu, C., Yang, S., & Li, X. (2012). Ultrasound complex enzymes assisted extraction and biochemical activities of polysaccharides from Epimedium leaves. *Process Biochemistry*, 47(12), 2040-2050.
- Folin, O., & Ciocalteu, V. (1927). On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. *Biological chemistry*, 73(2), 627-650.
- Fuente-Blanco, S., Riera-Franco de Sarabia, E., Acosta-Aparicio, V. M., Blanco-Blanco, A., & Gallego-Juárez, J. A. (2006). Food drying process by power ultrasound. *Ultrasonics*, 44, 523-527.
- Jadhav, B. H., Choudhary, P., Gogate, P., Ramniwas, S., ... & Nayik, G. A. (2024). Sonication as a potential tool in the formation of protein-based stable emulsion-Concise review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 107, 106900.
- Larsen, R. L., Weem, v d. J., Caspers-Weiffenbach, R., Schieber, A., & Weber, F. (2021). Effects of ultrasound on the enzymatic degradation of pectin. *Ultrasonics Sonochemistry*, 72, 105465.
- Molymex, P. (2004). The use of the stable free radical Diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, 26(2), 211-219.
- Olawuyi, I. F., Kim, S. B., Hahn, D., & Lee, W. Y. (2020). Influences of combined enzyme-ultrasonic extraction on the physicochemical characteristics and properties of okra polysaccharides. *Food Hydrocolloids*, 100, 105396.

-
- Piyasena, P., Mohareb, E., & McKellar, R. C. (2003). Inactivation of microbes using ultrasound: a review. *International Journal of Food Microbiology*, 87(3), 207-216.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., ... & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- Received 11 June 2025;
Accepted 7 July 2025