

전기방사에 의해 제조된 수수 추출물 함유 폴리비닐알코올 복합 나노 섬유망의 생리활성 특성

Bioactive Characteristics of Sorghum Extract/Poly(vinyl alcohol) Composite Nanoweb Produced by Electrospinning

*Corresponding author

Jin Hyun Choi

(jinhchoi@knu.ac.kr)

이현주, 전재우, 정소연¹, 최진현^{1*}

DYETEC 연구원, ¹경북대학교 바이오섬유소재학과

Hyun Ju Lee, Jae Woo Jeon, So Yeon Jung¹ and Jin Hyun Choi^{1*}

Korea Dyeing and Finishing Technology Institute, Daegu, Korea

¹Department of Biofibers and Biomaterials Science, Kyungpook National University, Daegu, Korea

Received_November 20, 2019

Revised_December 05, 2019

Accepted_December 10, 2019

Textile Coloration and Finishing

TCF 31-4/2019-12/323-331

©2019 The Korean Society of Dyers and Finishers

Abstract Sorghum is a rich source in phytochemicals, such as tannins, phenolic acids, anthocyanins, phytosterols and policosanols. Sorghum has been known to have antimicrobial, antiinflammatory, antioxidant properties. In this study, poly(vinyl alcohol)(PVA)-sorghum extract(SE) composite nanoweb was produced by electrospinning and its characteristics including bioactivities were investigated. The SE had antimicrobial and antiinflammatory activities as well as a reduced cytotoxicity. The PVA-SE nanoweb had a highly enhanced antimicrobial activity compared to PVA nanoweb. The amount of proinflammatory cytokine released from macrophages treated with the PVA-SE nanoweb was reduced. The PVA-SE nanoweb can be a potential candidate for medical and cosmeceutical materials providing antimicrobial and antiinflammatory activities with a low degree of cytotoxicity.

Keywords sorghum, poly(vinyl alcohol), electrospinning, antimicrobial and antiinflammatory activities, cytotoxicity

1. 서 론

최근 식물성 천연 추출물에 대한 생리 활성 효능 및 응용에 대한 관심과 연구가 활발하게 진행되고 있다. 천연재료에서 추출된 각종 생리 활성 물질들은 항균효과, 항산화 효과, 세포 활성 효과, 피부 자극 완화 효과 등이 우수하여 각 효능에 대한 연구가 보고되고 있다¹⁾.

전 세계적으로 밀, 쌀, 옥수수 다음으로 중요한 식용 작물 중 하나인 수수(*Sorghum*, *Sorghum bicolor* L. Moench)는 가공 시 대부분 껍질을 제거하여 사용하기 때문에 수수 껍질에 존재하는 천연활성물질을 추출, 분리하여 사용한다면 천연활성물질로서의 가치뿐

만 아니라 폐자원의 활용도 증진 면에서도 그 의의가 대단히 커질 것으로 기대되어 최근 수수의 기능성 및 활용에 관한 연구들이 많이 보고되고 있다²⁻⁵⁾.

수수는 타닌(tannins), 페놀산(phenolic acids), 안토시아닌(anthocyanins), 식물성스테롤(phytosterols), 폴리코사놀(policosanols)을 포함한 다양한 식물 화학물질(phytochemical)을 함유하는 작물이다. 특히 수수는 상당히 많은 양의 타닌을 함유하는 것으로 알려져 있으며, 그 주요성분은 프로안토시아닌딘(proanthocyanidins)으로 매우 높은 항산화력을 나타낸다. 또한 루테올린(luteolin), 나린제닌(naringenin), 프로아피게니딘(proapigeninidin), 플라본

(flavones), 7-O-메틸 루테올린(7-O-methyl luteolin) 등 여러 종류의 페놀 화합물(phenolic compounds)을 함유하고, 안토시아닌(anthocyanin)의 경우는 흑미, 라즈베리, 블루베리 보다 함유량이 높다⁶⁻⁹⁾. 수수는 다른 잡곡에 비하여 상대적으로 많은 페놀계 물질을 포함하고 있다. 수수의 페놀계 물질의 종류는 벤조산(benzoic acid)과 신남산(cinnamic acid) 유도체를 포함하는 페놀산(phenolic acid)군과 프로안토시아닌(proanthocyanin), 농축 타닌(condensed tannin)을 포함하는 플라보노이드(flavonoid)군으로 구분할 수 있다¹⁰⁻¹³⁾.

수수의 폴리페놀(polyphenol) 추출물은 Ames test를 이용한 항돌연변이 연구에서 세포독성을 일정비율로 억제하였으며, 엡스타인바 바이러스(epstein-Barr Virus) 활성화 연구에서 발암 촉진(promotion) 억제 효과와 위암 세포, 결장암 세포에 대한 항암에 관한 보고가 있다. 이외에도 비장세포 증식과 대식세포의 활성화에 관여하여 항체 생성능을 상승시키며, 면역기관의 기능을 증진시킨다는 연구가 있다^{9,14-16)}. 또한 수수에서 다른 곡류에서 발견되지 않은 3-데옥시 플라보노이드(3-deoxy flavonoids)는 강한 항산화 활성이 확인되었으며, 수수를 포함한 12종의 잡곡(찰옥수수, 차조, 울무, 기장, 보리쌀, 대구, 녹두, 팥, 흑태, 동부, 강낭콩) 중 ABTS radical 소거능이 가장 높은 것으로 확인되었다. ABTS(2,2-azino-bis(3-rthylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) radical을 이용한 항산화능의 측정은 potassium persulfate와의 반응에 의해 생성되는 ABTS 자유라디칼(free radical)이 항산화 물질에 의해 제거되어 색깔이 변하는 원리를 이용한 것이다^{17,18)}.

현재까지 수수에 대한 연구는 대부분 병리적 관점에서 건강 기능상의 효능 및 기전을 중심으로 이루어지고 있으며, 그 결과로 수수의 다양한 효과가 입증되고 있다. 그러나 이러한 천연재료(추출물) 복합 소재에 대한 생리 활성과 효능을 규명한 연구가 아직 미비하고 연구 자료도 부족한 실정이다. 일부 선행연구에서 수수 추출물의 함량 및 zein 고분자의 함량에 따른 나노구조체 형태변화를 확인하였다. 또한 수수 추출물 함량이 증가할수록 열적안정성이 증가하는 경향을 확인하였으며, 수수 추출물 함유 zein 나노구조체의 우수한 항균특성을 확인하였다^{19,20)}. 그러나 수수 추출물은 알콜계 용매

에서 추출된 비수용성 물질로서 수용성 고분자와 복합화한 연구는 발표되어 있지 않다. 수수 추출물의 생리 활성을 보습이나 습윤 환경의 유지가 중요한 마스크팩이나 창상피복재와 같은 섬유고분자 소재에 부여하기 위해서는 수용성 또는 친수성 고분자를 적용할 필요가 있다.

본 연구에서는 수수 추출물 복합 고분자 나노구조체의 항균성뿐만 아니라 세포독성, 항염증성 등 깊이 있는 생리활성 성능 검증을 통하여 의료용 소재로 활용하기 위하여 전기방사 기법을 도입하고, 기재로서 Poly(vinyl alcohol)(PVA)를 사용하고자 한다. PVA는 유연성이 우수하고 높은 인장강도와 열적 안정성을 가지면서 무독성의 생체적합성이 뛰어난 소재로 창상피복재, 약물 전달체 등 의료용 소재로 많이 사용되어 질 뿐만 아니라¹⁹⁻²⁶⁾ 매우 우수한 전기방사성을 보유하여 나노섬유의 제조가 용이하다. 그러나 비수용성 수수 추출물을 수용성인 PVA와 복합화하여 나노섬유를 제조한 연구는 발표되어 있지 않다.

본 연구에서는 친수성의 PVA를 이용하여 수수 추출물(sorghum extract(SE)) 복합 나노웹을 제조하고 세포독성 및 항균성, 항염증 효능 검증을 통하여 수수 추출물 복합 재료의 인체 친화형 위생재료 및 의료용 재료, 화장품 소재로의 적용 가능성을 고찰하였다.

2. 실험

2.1 실험 재료 및 시약

본 연구에 사용한 수수(*Sorghum bicolor L. Moench*)는 강원도 원주에서 생산된 수수의 부산물(줄기 및 잎)을 농촌진흥청 국립식량과학원으로부터 제공 받아 사용하였다.

Poly(vinyl PVA, Mw 1,700, 99.9% hydrolyzed, DC Chemical Co., Korea)에서 구매하여 용매로 3차 증류수를 사용하였다. 메탄올 및 에탄올은 Merck KGaA (Germany)에서 구매하였으며 그 외의 시약들은 정제하지 않고 1급 시약을 그대로 사용하였다.

2.2 수수 추출물 제조

80% 메탄올에 건조한 수수 부산물(줄기 및 잎) 1.0 kg을 잘게 잘라 넣고 상온에서 14일 동안 3회 반복 추출하였다(3x7L). 추출물을 40℃에서 감압증류하여

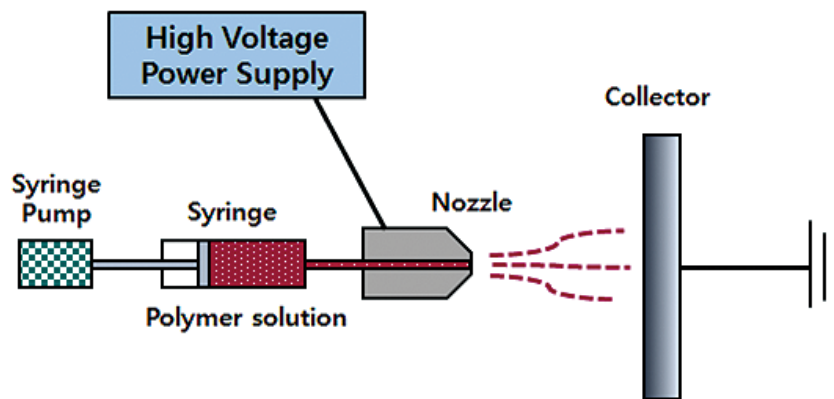


Figure 1. Schematic representation of electrospinning process.

120g의 농축액을 수득하였다.

2.3 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹 제조

수수 추출물을 에탄올에 녹인 후 PVA 수용액에 첨가한 다음 혼합액을 상온에서 12시간 이상 교반하였다. 이때 혼합용액에서 수수 추출물과 PVA의 농도는 각각 0.1 및 8.5wt%로 하였다. 수수 추출물/PVA 혼합 수용액을 직경 1mm의 capillary tip이 부착된 25ml 주사기에 넣은 후 tip-to-collector distance(TCD)는 15cm, 전압은 15kV로 고정하고 전기방사를 실시하였다. 실험에 사용한 전기방사 도식을 Figure 1에 나타내었다.

2.4 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹의 특성 분석

전계 방출 주사전자현미경(field emission scanning electron microscope(FE-SEM), Hitachi, S-4300, Japan)과 열 중량 분석기(thermogravimetric analyzer(TGA), TA Instruments, SDT Q600, USA)을 사용하여 PVA 나노웹과 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹의 형태학 및 열적특성을 분석하였다.

2.5 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹의 생체외 세포독성 평가

MTT(3-(4-,5-Dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide, a tetrazole) assay로 제조한 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹이 세포 독성에 미치는 영향을 확인하였다. 세포독성 평가를 위하여 나노웹을 멸균한 후, 배양액(DMEM, Dulbecco's modified eagle's medium) 5ml에 각각의 나노웹 0.05g을 넣고 37°C에서 24시간 동안 진탕수조에서 용출하여

그 용출액을 실험에 사용하였다. 또한 0.01% ~ 1.0%로 희석한 수수 추출물의 세포독성을 확인하였다. 인간 섬유아세포(L-929)를 96well plate에 5×10^4 cells/well 농도로 분주하였고 37°C에서 24시간 동안 CO₂ 배양기에서 부착시킨 후 준비한 시험액으로 배양액을 교체해주었다. 다시 37°C, 24시간 동안 5% CO₂ 조건에서 배양 후 배양액을 교체하고 MTT(5mg/ml) 시약을 넣어주었다. 4시간 더 배양한 후 ELISA reader를 이용하여 570nm에서 흡광도(O.D570)를 측정하였고, 아래의 식(1)에 따라 세포 생존율(Cell viability(%))을 계산하였다.

$$\text{Cell viability(\%)} = \frac{O.D_{570} \text{ of test well}}{O.D_{570} \text{ of control well}} \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

2.6 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹의 항균성 평가

AATCC(American Association of Textile Chemists and Colorists) 100 시험규격에 준하여 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹의 항균성능을 확인하였다. 황색포도상구균(*S.A*, *Staphylococcus aureus*)과 폐렴구균(*K.P*, *Klebsiella pneumonia*)을 각각 액체배지(8g/L)에 접종하고 37°C에서 24시간 동안 배양하였다. 나노웹은 직경 4.8 ± 0.1 cm 크기로 자르고 멸균을 위하여 2시간 동안 UV조사하였다. 준비한 나노웹 시료를 배양접시에 올려두고 그 위에 황색포도상구균과 폐렴구균을 각각 접종하였다. 배양접시를 무균의 투명한 병에 넣고 37°C에서 18~24시간 동안 배양하였다. 여기에 중화액을 넣은 후 1분간 세계 흔들어주고 이 용

액을 고체배지 위에 도말하였다. 도말한 고체배지를 37℃에서 48시간 배양한 후 생성된 균수를 확인하고 균수의 감소율(Growth inhibition rate(%))을 아래 식(2)에 따라 계산하였다.

$$\text{Growth inhibition rate(\%)} = \frac{M_b - M_c}{M_b} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

where,

M_b : Total microbial count of PVA nanoweb (control)

M_c : Total microbial count of PVA-SE nanoweb

2.7 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹의 항염증성 평가

대식세포(RAW 264.7)를 제조한 나노웹에 분주하고, 1 μl/ml의 lipopolysaccharide로 24시간 동안 자극한 다음, enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) kit(R&D system, MN)을 이용하여 제조사의 프로토콜에 따라 cytokine 함량을 측정함으로써 시료의 항염증성을 평가하였다²⁷⁾.

3. 결과 및 고찰

3.1 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹의 형태학적 특성

Figure 2에 PVA 나노웹과 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹의 SEM 이미지를 나타내었다. 8.5wt% PVA 수용액과 0.1% 수수 추출물 혼합액의 전기방사 결과 균일한 형태의 나노웹이 형성되었으며, 나노섬유의 평균

직경은 250±80nm으로 확인되었다. 반면 수수 추출물 미첨가 PVA 나노섬유의 평균직경은 143±60nm으로 수수 추출물 혼합 PVA 나노섬유가 100nm 가량 더 굵은 것으로 확인되었는데 이것은 수수 추출물 혼합으로 인한 고분자의 점도 상승이 그 원인으로 생각된다^{19,20)}. 수수 추출물을 PVA 방사용액과 혼합할 때 용매로서 에탄올을 사용하는데, 에탄올은 PVA의 용매인 물과는 잘 섞이지만, PVA에게는 비용매로 작용하기 때문에 방사용액의 용해도 저하에 따른 점도 상승이 수반되는 것으로 보인다. 하지만 균일한 굵기를 갖는 나노섬유를 제조할 수 있었으므로, 에탄올을 이용하여 수수 추출물을 함유하는 PVA 나노섬유를 제조함에 있어 큰 문제는 없는 것으로 생각된다.

3.2 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹의 열적 안정성

수수 추출물과 PVA 나노웹, 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹 각각의 열적특성 평가를 위한 TGA 결과를 Figure 3에 나타내었다. PVA 나노웹은 250℃에서 급격한 무게 감소를 보이는 반면, 수수 추출물은 100℃부터 서서히 분해되기 시작하지만 600℃ 이상에서도 50% 이상의 상당히 높은 무게 잔존율을 보였으며, 수수 추출물 함유 PVA 나노웹은 미함유 나노웹을 상회하는 무게 잔존율을 보였다. 나노섬유 제조 시 PVA에 대한 수수 추출물의 중량비는 1.2% 정도이고 각각의 독립된 무게 잔존율을 고려하여 예측할 수 있는 수수 추출물 함유 PVA 나노웹의 무게 잔존율 보다 높은 무게 잔존율을 나타내었다. 수수 추출물은 다수의 폴리페놀성 화합물을 포함하고 있어 열에 잘 견디는 방향족 구조의 존재에 기인하여 열가소성 고분자 대비 우월한 내

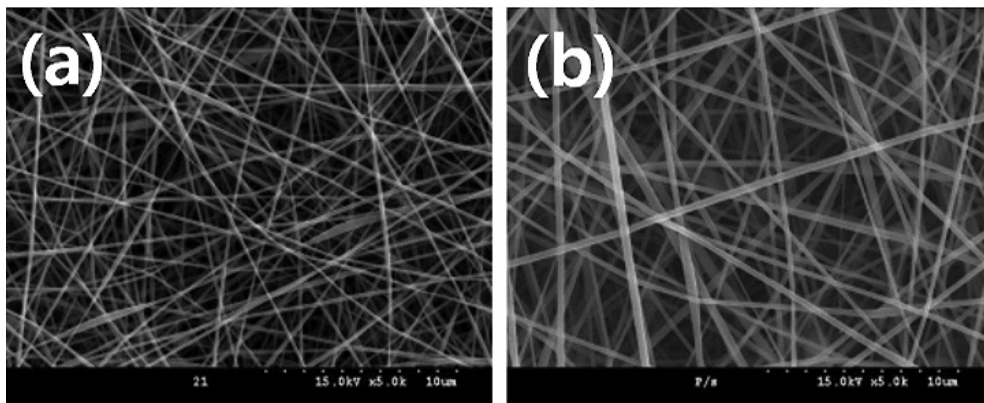


Figure 2. SEM images of (a) PVA and (b) PVA-SE nanowebs.

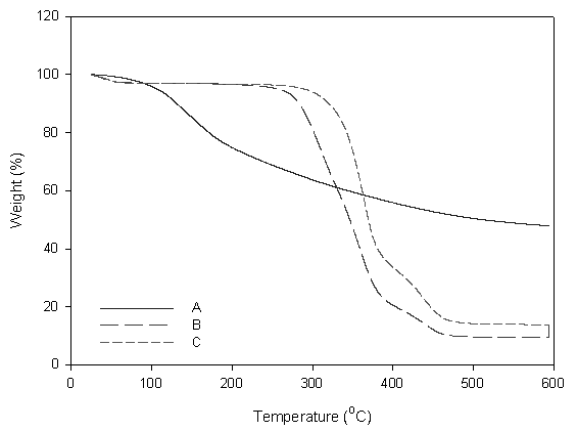


Figure 3. TGA curves of SE (A), PVA nanoweb (B), and PVA-SE nanoweb (C).

열성을 보유하는 것으로 생각되며, 이를 PVA에 복합할 경우 수수 추출물의 존재에 의한 무게 잔존율 상승 효과가 있는 것으로 보인다²⁸⁾. 또한 수수 추출물은 다양한 열가소성 고분자와 혼합되어 열적 변형이나 분해없이 성형공정에 폭넓게 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

3.3 수수 추출물 및 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹의 세포독성

수수 추출물, PVA 나노웹, 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹의 세포독성 결과를 Figure 4와 Figure 5에 나타내었다. 수수 추출물의 경우 농도 1%에서 세포생존율이 80% 미만으로 세포독성이 약간 있는 것으로 나타났으나, 수수 추출물의 농도 1% 미만에서는 세포독성이 거의 없는 것으로 확인되었다(Figure 4). 은 나노입자와 같은 항균제의 경우 불과 25ppm의 농도에서도

강한 세포독성을 보이는 것으로 알려져 있는데²⁹⁾ 이와 대조적으로 수수 추출물은 세포독성이 미약한 것으로 나타났다. 대부분의 합성 항균제는 강한 세포독성을 나타냄으로써 의료용 소재 뿐만 아니라 의류용이나 일반 공산품으로의 용도전개에서도 문제점이 제기되고 있는 반면, 천연 항산화제로 각광받고 있는 폴리페놀성 화합물은 항균성을 보유하면서도 낮은 세포독성을 나타내어 헬스케어 및 코스메틱 제품으로의 다양한 적용이 시도되고 있으며, 수수 추출물 역시 이와 같은 측면에서 높은 잠재력을 보유하고 있다고 할 수 있다. 또한 PVA 나노웹 및 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹의 세포독성 평가 결과 대조군 대비 90% 이상의 세포 생존율을 나타내어 세포독성이 없는 것으로 확인되었다(Figure 5).

의료기기 수준 제품의 세포독성은 ISO 10993-5³⁰⁾ 시험법에 근거하여 용출법으로 평가되며, 항균제품의 경우 항균성 물질이 용출되면 검액을 세포에 접촉할 경우 세포독성을 나타내게 된다. 수수 추출물은 물에는 전혀 용해되지 않으므로 용출조건에서 상당히 안정적이라 할 수 있다. 수수 추출물 자체도 상당히 낮은 세포독성을 가질 뿐만 아니라, 물과 접촉 시 거의 용출되지 않으므로 수수 추출물을 함유하고 있는 섬유구조체가 세포독성을 유발할 가능성은 매우 낮다고 할 수 있다. 다만 PVA는 그 자체가 물에 쉽게 용해되므로 용출 검액에는 다량의 PVA 분자와 수수 추출물이 포함되어 있으나, 세포독성을 거의 나타내지 않은 것은 수수 추출물 자체의 세포독성이 거의 없다는 것을 의미한다고 할 수 있다.

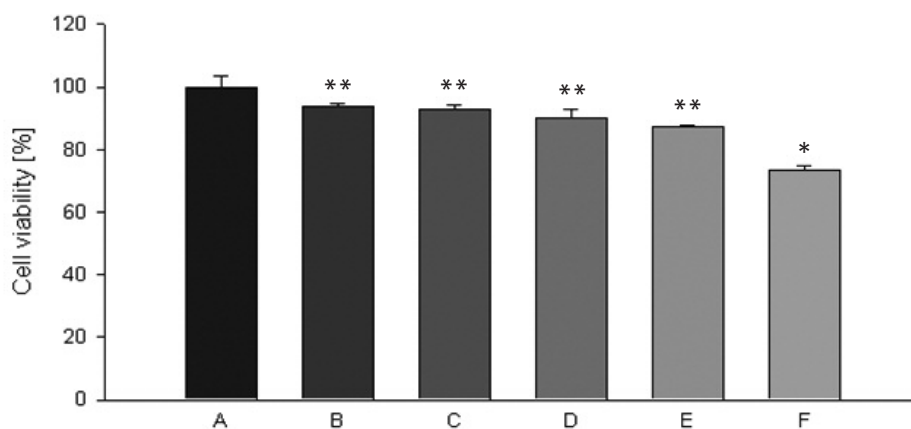


Figure 4. Relative cell viability(%) at the different concentrations of SE: A: control, B: 0.01wt%, C: 0.05wt%, D: 0.1wt%, E: 0.5wt%, F: 1.0wt%(n=3, *p<0.001, **p<0.01, ***p<0.05).

Table 1. Antimicrobial activity of PVA and PVA-SE nanoweb

Sample	<i>Staphylococcus aureus</i>		<i>Klebsiella pneumonia</i>	
	Number of colonies	Reduction(%)	Number of colonies	Reduction(%)
PVA nanoweb(control)	10,404	-	18,062	-
PVA-SE nanoweb	6,430	38.2	4,985	72.4

3.4 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹의 항균성

AATCC 100 시험규격에 준하여 황색포도상구균과 폐렴구균에 대한 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹의 항균성 시험 결과를 Table 1에 나타내었다.

수수 추출물 혼합 PVA 나노웹은 황색포도상구균에 대한 균감소율 38.2%, 폐렴구균에 대한 균감소율 72.4%로 수수 추출물 미첨가 PVA 나노웹에 비하여 항균성능이 상당히 향상된 것을 확인하였다. 앞서 세포독성 실험결과에서 나타난 바와 같이 수수 추출물을 함유하고 있는 PVA 나노웹은 매우 낮은 세포독성을 가지고 있으므로, 항균성을 더 높이기 위해서 보다 많은 양의 수수 추출물을 투입할 수 있을 것으로 생각된다. 수수 추출물과 같은 천연 항산화제의 항균성은 은 나노입자나 합성 항균제 보다는 낮다고 할 수 있으나 세포독성이 상대적으로 매우 낮기 때문에 세포독성을 유발하지 않는 범위 내에서 섬유 구조체로의 도입 양을 증가시키므로써 항균성을 향상시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다.

3.5 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹의 항염증성

수수 추출물 자체의 항염증성 평가를 위하여 염증성 사이토카인 3종(interleukin-1 β (IL-1 β), inter-

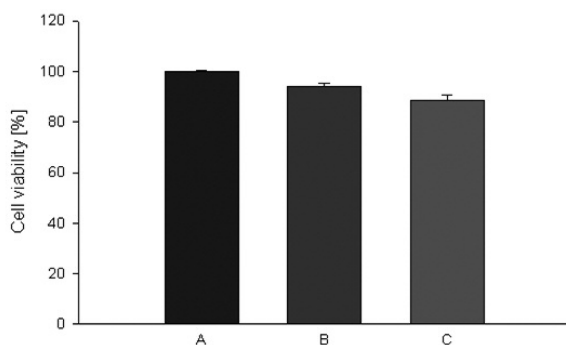


Figure 5. Relative cell viability(%) of PVA and PVA-SE nanoweb; A: control, B: PVA nanoweb, C: PVA-SE nanoweb(n=3, p<0.01).

leukin-6(IL-6), Tumor necrosis factor- α (TNF- α))의 발현량을 측정하였다. 수수 추출물의 농도가 높아질수록 IL-1 β 생성량은 감소하다가 수수 추출물의 농도 0.1% 이상에서는 더 이상 감소하지 않았으며 (Figure 6), IL-6의 경우 수수 추출물의 농도 0.05% 까지 생성이 급격하게 감소하다가 그 이상의 농도에서는 변화가 거의 없는 것으로 나타남으로써(Figure 6, Figure 7) 수수 추출물의 탁월한 IL-1 β 및 IL-6 억제효과가 확인되었다. 또 다른 염증성 사이토카인인 TNF- α 의 경우 수수 추출물의 농도 0.1% 이하에서는 거의 감소하지 않았으나 0.5%에서 TNF- α 의 생성이 급격하게 감소하여(Figure 8), 염증성 사이토카인의 발현 억제효과를 확인하였다.

Macrophage나 leukocyte와 같은 염증세포들은 이 물질 반응 시 활성산소 라디칼을 발생시키며 이것에 의해 사이토카인의 생성을 촉진하게 되어 염증을 유발시키는데, 폴리페놀성 항산화제는 활성산소 라디칼 포집 효과가 뛰어나 결과적으로 염증성 사이토카인의 생성을 억제하게 된다³¹⁾. 동일한 방법으로 PVA 나노웹과 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹의 항염증성을 평가하였는데, 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹이 IL-1 β 및 IL-

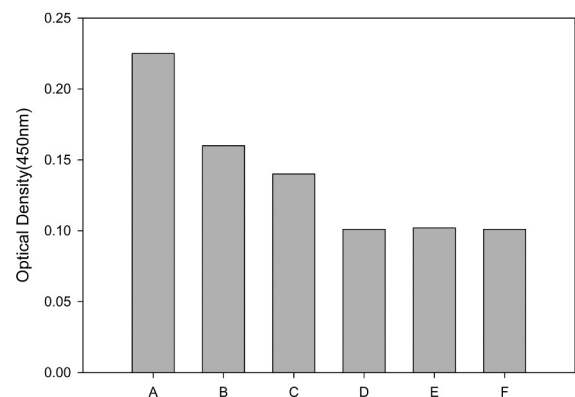


Figure 6. IL-1 β inhibitory effect at the different concentrations of SE; A: control, B: 0.01wt%, C: 0.05wt%, D: 0.1wt%, E: 0.5wt%, F: 1.0wt%.

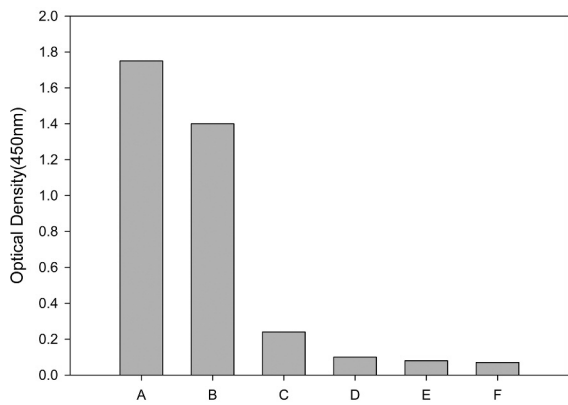


Figure 7. IL-6 inhibitory effect at the different concentrations of SE; A: control, B: 0.01wt%, C: 0.05wt%, D: 0.1wt%, E: 0.5wt%, F: 1.0wt%.

6의 생성을 감소시키는 것으로 나타났으며(Figure 9, Figure 10), TNF- α 의 생성량은 거의 차이가 없는 것으로 나타났다(Figure 11).

항산화제 같은 천연물은 농도에 의존하여 생리활성을 나타내며 일반적으로 그 자체로는 생리활성 평가가 이루어지나, 이를 함유하고 있는 섬유구조체와 같은 융합소재나 제품 수준에서 생리활성이나 기능성 평가는 수행되지 않는 경우가 대부분이다. 그 이유는 섬유 내에 복합화되어 있는 상태로는 단독 성분일 때와는 대조적으로 낮은 농도 수준에서 평가가 이루어지므로 천연물 단독 성분 평가방법과 동일하게 평가할 경우 그 활성을 제대로 정량적으로 측정하기 어렵기 때문이다³²⁾. 수수 추출물 역시 PVA 나노웹에 함유되어있는 상태로 는 두드러진 항염증 효과를 나타내기는 어렵지만, IL-

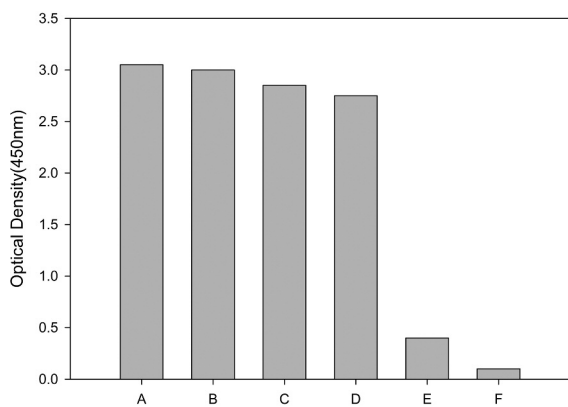


Figure 8. TNF- α inhibitory effect at different concentrations of SE; A: control, B: 0.01wt%, C: 0.05wt%, D: 0.1wt%, E: 0.5wt%, F: 1.0wt%.

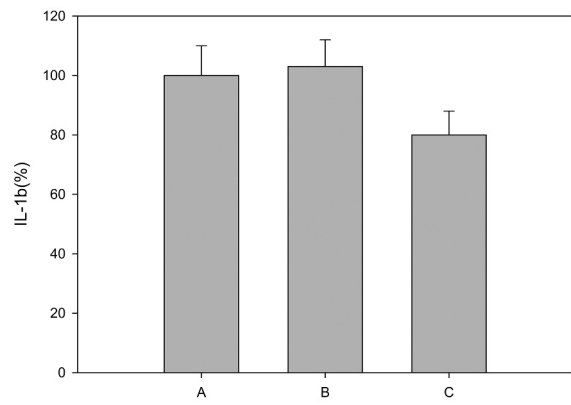


Figure 9. IL-1 β inhibitory effect of PVA and PVA-SE nanoweb; A: control, B: PVA nanoweb, C: PVA-SE nanoweb.

1 β 및 IL-6의 경우에는 어느 정도의 억제효과를 보여 주고 있다. 전술한 바와 같이 수수 추출물의 세포독성이 낮기 때문에 PVA 나노웹에 함유되는 양을 증가시키면 보다 향상된 항염증 효과를 나타낼 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 항산화 및 항균 등의 다양한 생리활성을 가진 수수 추출물과 생체적합성이 우수하고 함수성이 뛰어난 고분자인 polyvinyl alcohol(PVA)을 혼합 전기방사하여, 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹을 제조하였다. 제조된 수수 추출물 혼합 PVA 나노섬유의 특성분석을 통해 균일한 직경의 나노섬유 제조 가능성을

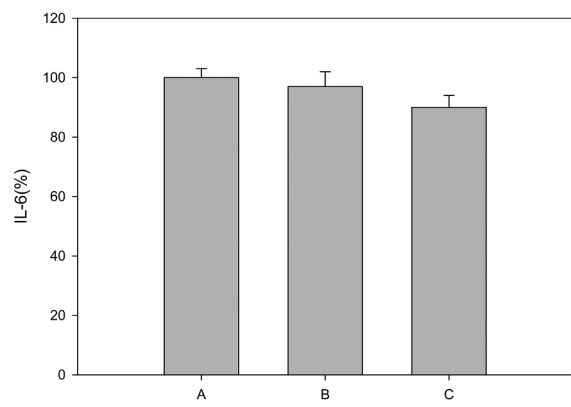


Figure 10. IL-6 inhibitory effect of PVA and PVA-SE nanoweb; A: control, B: PVA nanoweb, C: PVA-SE nanoweb.

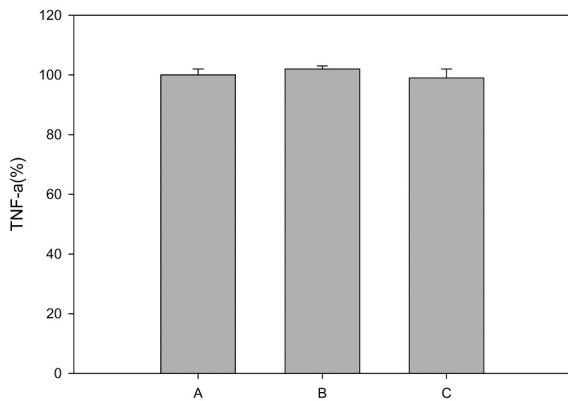


Figure 11. TNF- α inhibitory effect of PVA and PVA-SE nanoweb: A: control, B: PVA nanoweb, C: PVA-SE nanoweb.

확인하였으며 수수 추출물 혼합 PVA 나노섬유의 열적 안정성이 향상되는 것을 확인하였다. 또한 수수 추출물 혼합 PVA 나노웹은 수수 추출물 미첨가 PVA 나노웹 대비 향상된 항균성을 보이는 반면, 세포독성은 거의 없는 것으로 나타났을 뿐만 아니라, IL-1 β , IL-6 및 TNF- α 와 같은 염증성 사이토카인의 분비를 억제함으로써 항염증성을 나타내었다.

따라서 수수 추출물/PVA 복합 재료를 이용한 의료용 및 코스메슈티컬 소재로 다양한 응용이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 방역연계 범부처 감염병 연구개발사업단의 감염병 위기대응 기술개발사업(HG19C0707)의 지원으로 수행되었음.

References

1. S. Arai, Y. Morinaga, T. Yoshikawa, E. Ichiishi, Y. Kiso, M. Yamazaki, M. Morotomi, M. Shimizu, T. Kuwata, and S. Kaminogawa, Recent Trends in Functional Food Science and the Industry in Japan, *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **66**(10), 2017(2002).
2. H. R. Grimmer, V. Parbhoo, and R. M. McGrath, Antimutagenicity of Polyphenol-rich Fraction from Sorghum Bicolor Grain, *J. Sci. Food Agric.*, **59**(2), 251(1992).
3. H. Y. Kil, E. S. Seong, B. K. Ghimire, I. M. Chung, S. S. Kwon, E. J. Goh, K. Heo, M. J. Kim, J. D. Lim, D. Lee, and C. Y. Yu, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Crude Sorghum Extract, *Food Chem.*, **115**(4), 1234(2009).
4. J. M. Awika, L. W. Rooney, and R. D. Waniska, Anthocyanins from Black Sorghum and Their Antioxidant Properties, *Food Chem.*, **90**(1-2), 293(2004).
5. L. Dykes and L. W. Rooney, Sorghum and Millet Phenols and Antioxidants, *J. Cereal Sci.*, **44**(3), 236(2006).
6. J. M. Awika and L. W. Rooney, Sorghum Phytochemicals and Their Potential Impact on Human Health, *Phytochemistry*, **65**(9), 1199(2004).
7. J. M. Awika, L. Dykes, L. Gu, L. W. Rooney, and R. L. Prior, Processing of Sorghum(Sorghum Bicolor) and Content, *J. Agric. Food Chem.*, **51**(18), 5516(2003).
8. H. Wang, G. Cao, and R. L. Prior, Oxygen Radical Absorbing Capacity of Anthocyanins, *J. Agric. Food Chem.*, **45**(2), 304(1997).
9. S. N. Ryu, S. Z. Park, and C. T. Ho, High Performance Liquid Chromatographic Determination of Anthocyanin Pigments in Some Varieties of Black Rice, *J. Food Drug Anal.*, **6**(4), 729(1998).
10. D. H. Hahn, L. W. Rooney, and J. M. Faubion, Sorghum Phenolic Acids, Their HPLC Separation and Their Relation to Fungal Resistance, *Cereal Chem.*, **60**(4), 255 (1983).
11. R. D. Waniska, J. H. Poe, and R. Bandyopadhyay, Effects of Growth Conditions on Grain Molding and Phenols in Sorghum Caryopsis, *J. Cereal Sci.*, **10**(3), 217(1989).
12. R. Gujer, D. Magnolato, and R. Self, Glucosylated Flavonoids and Other Phenolic Compounds from Sorghum, *Phytochemistry*, **25**(6), 1431(1986).
13. C. G. Krueger, M. A. Vestling, and J. D. Reed, Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry of Heteropolyflavan-3-ols and Glucosylated Heteropolyflavans in Sorghum[Sorghum bicolor (L.) Moench], *J. Agric. Food Chem.*, **51**(3), 538 (2003).

14. C. S. Kwak, S. J. Lim, S. A. Kim, S. C. Park, and M. S. Lee, Antioxidative and Antimutagenic Effects of Korea Buckwheat, Sorghum, Millet and Job's Tears, *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **33**(6), 921(2006).
15. Y. H. Choi, M. Y. Kang, and S. H. Nam, Inhibition Effect of Various Cereal and Bean Extracts on Carcinogenicity In Vitro, *Korean J. Food Sci. Technol.*, **30**(4), 964(1998).
16. K. O. Kim, H. S. Kim, and H. S. Ryu, Effect of Sorghum Bicolor L. Moench(Sorghum, Su-Su) Water Extracts on Mouse Immune Cell Activation, *J. Korean Diet. Assoc.*, **12**(1), 82(2006).
17. M. H. Dicko, H. Gruppen, A. S. Traore, W. J. van Berkel, and A. G. Voragen, Evaluation of the Effect of Germination on Phenolic Compounds and Antioxidant Activities in Sorghum Varieties, *J. Agric. Food Chem.*, **53**(7), 2581(2005).
18. H. K. Lee, I. G. Hwang, H. Y. Kim, K. S. Woo, S. H. Lee, S. H. Woo, J. S. Lee, and H. S. Jeong, Physicochemical Characteristic and Antioxidant Activities of Cereals and Legumes, *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **39**(9), 1399(2010).
19. I. K. Kim, Fabrication and Characterization of Electrospun Zein Nanofibers Containing Sorghum Extract, M.S. Thesis, Kyungpook National University, 2012.
20. S. B. Yang, S. H. Yoo, M. M. Rabbani, I. K. Kim, W. Oh, S. I. Han, and J. H. Yeum, Incorporation of Sorghum Extract into Electrospun Zein Nanofibers and Their Characterization, *J. Nanosci. Nanotechnol.*, **17**(12), 9002(2017).
21. E. Chiellini, A. Corti, S. D. Antone, and R. Solaro, Biodegradation of Poly(vinyl alcohol) Based Materials, *Prog. Polym. Sci.*, **28**(6), 963(2003).
22. Q. Dong, J. Liu, C. Yao, and G. Shao, Poly(vinyl alcohol)-Based Polymeric Membrane: Preparation and Tensile Properties, *J. Appl. Polym. Sci.*, **122**(2), 1350(2011).
23. P. Alexy, D. Káčová, M. Kršiak, D. Bakoš, and B. Šimková, Poly(vinyl alcohol) Stabilisation in Thermoplastic Processing, *Polym. Degrad. Stabil.*, **78**(3), 413(2002).
24. P. Y. Zhuang, Y. L. Li, L. Fan, J. Lin, and Q. L. Hu, Modification of Chitosan Membrane with Poly(vinyl alcohol) and Biocompatibility Evaluation, *Int. J. Biol. Macromol.*, **50**(3), 658(2012).
25. M. H. Huang and M. C. Yang, Evaluation of Glucan /Poly(vinyl alcohol) Blend Wound Dressing Using Rat Models, *Int. J. Pharm.*, **346**(1-2), 38(2008).
26. G. Paradossi, F. Cavalieri, E. Chiessi, C. Spagnoli, and M. K. Cowman, Poly(vinyl alcohol) as Versatile Biomaterial for Potential Biomedical Applications, *J. Mater. Sci. Mater. Med.*, **14**(8), 687(2003).
27. S. Y. Seo, G. H. Lee, S. G. Lee, S. Y. Jung, J. O. Lim, and J. H. Choi, Alginate-Based Composite Sponge Containing Silver Nanoparticles Synthesized In Situ, *Carbohydr. Polym.*, **90**(1), 109(2012).
28. S. E. Arecoa, L. Guza, R. Candalb, and S. Goyanes, Release Kinetics of Rosemary(Rosmarinus officinalis) Polyphenols from Polyvinyl Alcohol(PVA) Electrospun Nanofibers in Several Food Simulants, *Food Packaging and Shelf Life*, **18**, 42(2018).
29. H. J. Lee, S. G. Lee, E. J. Oh, H. Y. Chung, S. I. Han, E. J. Kim, S. Y. Seo, H. D. Ghim, J. H. Yeum, and J. H. Choi, Antimicrobial Polyethyleneimine-Silver Nanoparticles in a Stable Colloidal Dispersion, *Colloid Surf. B-Biointerfaces*, **88**(1), 505(2011).
30. ISO 10993-5, Biological Evaluation of Medical Devices-Part 5: Tests for in vitro Cytotoxicity, 2007.
31. H. Kang, Anti-Oxidative and Anti-Neuroinflammatory Effect of Ethanol Extracts from Walnuts's(Juglans regia L.) Shell, *Biomed. Sci. Lett.*, **24**(4), 365(2018).
32. G. H. Lee, S. J. Lee, S. W. Jeong, H. C. Kim, G. Y. Park, S. G. Lee, and J. H. Choi, Antioxidative and Antiinflammatory Activities of Quercetin-Loaded Silica Nanoparticles, *Colloid Surf. B-Biointerfaces*, **143**, 511(2016).

Authors

- 이현주 DYETEC연구원 선임연구원
 전재우 DYETEC연구원 팀장
 정소연 경북대학교 바이오섬유소재학과 석사과정 학생
 최진현 경북대학교 바이오섬유소재학과 교수