

ORIGINAL ARTICLE

환경 독성을 억제하는 느릅 당단백질이 마우스의 분노 악취저감 및 사료 효율에 미치는 영향

김도완 · 박문기* · 이세중*

대구한의대학교 제약공학과

Anti-ecotoxicological Glycoprotein Isolated from *Ulmus davidiana* Nakai Inhibits Fecal Malodor and Promotes Feed Efficiency in Mice

Do-Wan Kim, Moon-Ki Park*, Sei-Jung Lee*

Department of Pharmaceutical Engineering, Daegu Haany University, Gyeongsan 38610, Korea

Abstract

Ulmus davidiana Nakai (UDN) has been traditionally used as a herbal medicine in Korea. In the present study, we investigated the anti-ecotoxic potential of a 116 kDa glycoprotein isolated from UDN (UDN glycoprotein) in regulating fecal malodor and feed efficiency in mice. We found that UDN glycoprotein (200 µg/ml) has an inhibitory effect on the cell death induced by an ecotoxicological endocrine disrupting chemical, bisphenol A, in colon epithelial HT-29 cells. UDN glycoprotein did not show significant differences regarding the weight of ecotoxicity-related organs (liver, heart, kidneys, and spleen) and the levels of serum glutamate oxaloacetate transaminase, glutamate pyruvate transaminase, and lactate dehydrogenase in mice for 2 weeks, compared to the control. Additionally, UDN glycoprotein reduced the levels of hydrogen sulfide and ammonia as markers of fecal malodor in mice. Interestingly, UDN glycoprotein can improve the mouse feed efficiency. In conclusion, our data indicate that anti-ecotoxicological UDN glycoprotein has the ability to increase the feed efficiency and reduce the fecal malodor by maintaining the viability of colonic epithelial cells in mice.

Key words : *Ulmus davidiana* Nakai, Glycoprotein, Feed efficiency, Hydrogen sulfide, Ammonia

1. 서론

가축의 성장과 발달에 있어서 위장관 세포의 활력은 가축의 사료흡수율을 증가시켜 생산성을 향상시키는 것으로 알려져 있다(Vigors et al., 2016). 한편 사료 효율을 저하시키는 요인 중 하나는 가축분뇨가 바닥에 쌓이

게 되어 발생하는 악취인데, 악취의 지표물질들로는 ammonia, hydrogen sulfide, methanethiol 등이 알려져 있다(Leet et al., 2005). 특히 ammonia의 경우 가축의 특정 미생물의 활성을 저하시키고 호흡기 질환을 유발하여 사료섭취량 및 효율을 저하시키는 것으로 보고되었으며(Wang et al., 2019), hydrogen sulfide의 경우 가축들의

Received 13 December, 2019; Revised 31 January, 2020;

Accepted 4 February, 2020

*Corresponding author: Sei-Jung Lee, and Moon-Ki Park, Department of Pharmaceutical Engineering, Daegu Haany University, Gyeongsan 38610, Korea
Phone: +82-53-819-1806
E-mail: sjlee@dhu.ac.kr

The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

궤양성 대장염을 유발하여 증체량에 영향을 끼친다고 알려져 있다(Pitcher and Cummings, 1996). 또한 이러한 배설물에 의해 유래되는 악취는 가축의 생산효율을 저하시키는 요인이 될 뿐만 아니라 생산자는 물론 인근주민들의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감 및 환경오염문제를 야기할 수 있다. 따라서 동물의 장내 건강 증진시켜 생산성을 높일 뿐만 아니라, 동시에 환경오염을 예방하고 소취 효과를 가지고 있는 물질들을 천연물로부터 찾으려는 연구가 다방면으로 진행되고 있다(Madane et al., 2019).

느릅나무(*Ulmus davidiana* Nakai, UDN)는 한국에 널리 퍼져 있으며 부종, 유방염, 위궤양 및 위암 등에 효과를 가진 전통약재로 사용되어 왔다(Hong et al., 2017). 최근 느릅나무의 효능에 대한 연구 결과를 종합해 보면, 느릅나무는 항염증 작용 및 항고지혈증 등의 효능을 가지고 있으며, 특히 다양한 flavonoid 계열의 (+)-catechin이 함유되어 강력한 항산화 효과를 가지고 있다고 알려져 있다(Lee and Lim, 2007). 이와 유사한 녹차의 경우도 catechin이 풍부한 강력한 항산화 물질로서 동물분뇨의 탁월한 소취 효과를 가지고 있다고 보고되었다(Chatterjee et al., 2012). 따라서 느릅나무에는 강력한 항산화 능력이 있으며, 이것을 바탕으로 사료 효율 및 가축 분뇨 악취 저감에 사용될 수 있음을 시사한다(Higdon and Frei, 2003). 또한 최근에 식물, 버섯, 균류 및 조류 등 천연에서 추출된 당단백질은 항산화 능력 및 면역 조절을 바탕으로 장 상피세포를 보호하여 세포 사멸 및 자가포식 작용들을 억제하는 것으로 알려져 있다(Song et al., 2016; Lee et al., 2019). 특히 느릅나무에서 분리된 116 kDa 식물성 당단백질(UDN glycoprotein)은 강력한 항산화 능력을 바탕으로 위장관 면역 기능 향상시키는 효과를 가지고 있다고 보고되었다(Lee et al., 2004). 따라서, 이 연구에서는 느릅 당단백질의 이러한 위장관 세포 보호능력이 가축의 악취 저감 및 사료 효율에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시약

본 실험에 사용된 시약 중, Dulbecco's Modified Eagle's Medium (DMEM) 배지와 소 태아혈청(Fetal Bovine Serum, FBS)은 GE Healthcare Life Sciences (Morningside, Queensland, Australia)에서 구입하였으

며, trypsin은 GIBCO-BRL (Grand Island, NY, USA)에서 구입하였고, 이외의 모든 시약은 Sigma사(St. Louis, MO, USA)의 제품을 구입하여 사용하였고, 사용된 시약은 순도가 높은(순도 99% 이상) 등급을 구입하여 사용하였다.

2.2. 느릅 당단백질 분리 및 정제

Ulmus davidiana Nakai (UDN, 느릅나무)는 전라남도 나주에서 자생한 것을 채취하여 작은 크기로 잘라서 이차 멸균 증류수에서 침지 하였고 용해된 추출물들은 Whatman 여과지로 여과하여 불순물을 제거한 후, 여과된 용액에 80% ammonium sulfate 첨가하여 침전시키고 침전물을 투석 반투막(Spectra/por MWCO 6,000~8,000, CAL, USA)을 이용하여 4℃의 20 mM Tris-HCl (pH 7.4) 용액에서 12시간 투석하였으며 동결건조기를 이용하여 건조시켰고 -70℃에서 보관하였다. 이후 시료는 0.1% Sodium Dodecyl Sulfate (SDS)가 포함된 10% poly acrylamide gel에서 2시간 30분 동안 110 V에서 30 mA로 전기영동기(Mini-PROTEIN II, Bio-Rad, CA, USA)를 이용하여 분리한 후 당단백질을 Schiff's reagent로 염색하여(Neville and Glossmann, 1974), 116 kDa의 분자량을 가진 당단백질을 electro-eluter (Mini Whole Gel Eluter, Bio-Rad, CA, USA)로 용출하였고, 이후 이것들을 동결건조해서 사용하였다.

2.3. 세포배양 및 MTT 분석

대장 상피 세포(HT-29 cells)는 한국 세포주 은행(KCLB, Seoul, Korea)에서 구입하였으며, DMEM 배지에 10%의 FBS, 100 U/ml의 penicillin 및 100 µg/ml의 streptomycin을 혼합한 후 37℃의 5% CO₂의 배양기에서 배양하였다. 대장 상피 세포에 느릅 당단백질과 비스페놀 A(BPA)와 함께 처리한 후, 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5 diphenyl tetrazolium bromide (MTT)를 처리하고 2 시간 동안 CO₂ 배양기에서 배양하였다. 배양 후 형성된 자색의 formazan 결정을 육안 및 현미경을 이용해 관찰하고 세포를 Phosphate Buffered Solution (PBS)를 이용하여 2 번 세척하였다. Dimethyl sulfoxide (DMSO) 용액 500 µl를 처리하고 formazan을 완전히 용해시킨 후, 200 µl씩 96-well flat bottom plates에 분주하여 570 nm에서 그 흡광도를 측정하였다.

2.4. 사료 효율 및 장기 독성 측정

실험동물은 6주령의 ICR계 수컷 마우스(n=7)를 사용하였으며 느릅 당단백질을 20 mg/kg 농도로 경구 투여하였고, 대조군의 경우, PBS를 투여하였다. 14일간 격일에 한번씩 animal feeding needle을 이용하여 경구 투여하였으며, 마우스의 체중 및 식이섭취량은 식이개시일 부터 14일간 측정하여 사료 효율 계산에 이용하였다. 사료 효율 (%)은 [(증체량/사료섭취량) × 100]으로 계산하였다. 15일째에 마우스를 ether로 마취한 후 안와정맥총 채혈법에 의해 혈액을 채취하고 4°C에서 10,000×g로 2분 동안 원심 분리한 후 혈청을 취하여 실험에 사용하였다. 느릅 당단백질의 마우스 내 독성효과를 알아보기 위해 마우스를 개복하여 장기(간, 심장, 콩팥 및 비장)를 적출하였다. 장기는 생리식염수를 이용하여 혈액을 제거한 후 거름종이에서 수분을 제거하고 각각의 무게를 측정하였다. 실험은 동물실험의 윤리적, 과학적 타당성 검토 및 효율적인 관리를 위하여 대구한의대학교 동물실험 윤리위원회(Institutional Animal Care and Use Committee, IACUC)의 승인(DHU2019-125)을 얻어 시행하였으며 동물관리 규정을 준수하였다.

2.5. GOT, GPT 및 LDH 측정

마우스 혈액의 Glutamate Oxaloacetate Transaminase (GOT) 및 Glutamate Pyruvate Transaminase (GPT)는 Reitman Frankel 법 (Reitman and Frankel, 1957)에 의해 조제된 Asan Set GOT 및 GPT kit (Asanpharm, Dajeon, Korea)을 이용하여 측정하였으며, lactate dehydrogenase (LDH)는 Pierce LDH Cytotoxicity Assay kit (Thermo Scientific, Hudson, NH, USA)를 이용하여 측정하였다. GOT 및 GPT의 측정을 위해 각각 1 ml의 기질액을 취해 37°C에서 5분간 가온한 후, 0.2 ml의 혈청을 첨가하여 더 반응시켰다. 여기에 1 ml의 정색시약을 첨가해 실온에 20분간 반응시켰다. 10 ml의 sodium hydroxide solution을 첨가한 후, microplate reader (SPARK, Seestrasse, Männedorf, Switzerland)를 이용해 505 nm 파장에서 흡광도를 측정하였다.

2.6. H₂S 및 NH₃ 농도 측정

식이개시일부터 14일간 총 4번에 걸쳐 하루에 배설되는 분을 수집해서 이물질을 제거하고 무게를 확인한 후 시료 내 악취물질인 hydrogen sulfide (H₂S)와 ammonia

(NH₃)의 농도를 측정하였다. H₂S 농도의 경우, 100 ml의 이차 멸균 증류수에 용해시킨 시료를 Alka-Seltzer tablets와 넣고 2분간 방치한 후 H₂S kit (Model NI-SA, HACH, USA)를 사용하여 측정하였다. NH₃ 농도의 경우, NH₃ kit (Model NI-SA, HACH, USA)를 사용하였으며, 5 ml의 이차 멸균 증류수에 용해시킨 시료에 ammonia salicylate reagent powder를 첨가하여 3분간 반응시켰다. 여기에 ammonia cyanurate reagent powder를 첨가하여 15분간 더 반응시켰고, 시약이 녹색으로 변한 후 color comparator box에 넣어 결과값을 측정하였다.

2.7. 통계처리

모든 실험은 3회 반복 실시하였으며, 실험결과는 평균 ± 표준 오차(S.E.)로 나타냈다. 통계적 유의적 차이는 GraphPad (Prism 6, GraphPad Software, CA, USA)를 이용하여 one-way analysis of variance (ANOVA) 방법으로 결정하였으며, P-values < 0.05의 값들을 유의적인 결과로 고려하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 느릅 당단백질의 장 세포 보호효과 및 환경독성물질이 유도하는 세포사멸 억제효과

느릅나무로부터 분리된 116 kDa 느릅 당단백질이 가지는 대장 상피 세포(HT-29 cells) 보호효과를 알아보기 위해 환경독성물질인 비스페놀 A를 처리한후, 세포 생존율(cell viability)을 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT) 실험방법으로 측정하였다. Fig. 1A에서 보는 바와 같이, 비스페놀 A를 농도별로 24시간 동안 처리하였을 때, 대조군에 비해 100 및 200 μM 에서 장 상피 세포의 생존률이 35.4% 그리고 42.6%만큼 유의적으로 감소된 것을 관찰할 수 있었다. 100 μM의 비스페놀 A를 24시간동안 처리하였을 때, 또한 대조군에 비해 세포 생존율이 35.4%만큼 감소한 것을 확인할 수 있었다(Fig. 1B). 비스페놀 A는 식품과 음료의 저장용기를 만드는데 사용되는 폴리카보네이트(polycarbonate) 플라스틱에서 주로 발견되는 대표적인 내분비교란물질(endocrine disrupting chemicals)로써 특히 위장관계에서 장내 미생물 군집의 유의적 변화 및 장 염증성 질환을 유발하고, 세포 독성을 일으키는

것으로 보고되었다(DeLuca et al., 2018). 또한 이와 유사한 환경 독성물질인 프탈레이트나 벤조피렌의 경우 장 상피 세포에 염증을 유발할 뿐만 아니라, 세포 생존 능력을 감소시켜서 세포사멸을 촉진시킨다고 보고되었다(Banerjee et al., 2005). 따라서 이와 같은 결과는 비스페놀 A를 포함한 다양한 환경독성물질은 장 상피 세포의 세포사멸을 유발할 수 있는 가능성을 시사한다. 흥미롭게도 느릅 당단백질 (200 µg/ml)과 비스페놀 A를 24시간 동안 함께 처리하였을 때 세포 생존을 수준이 정상과 비슷한 수준으로 회복됨을 관찰할 수 있었다(Fig. 1C). 따라서 이와 같은 결과는 항산화 능력을 가지고 있는 천연생리활성물질인 느릅 당단백질이 비스페놀 A가 유발하는 세포사멸을 억제함으로써 상피세포 보호능력이 있음을 암시한다.

3.2. 느릅 당단백질이 마우스 장기 및 혈액 독성에 미치는 영향

체내에 흡수된 느릅 당단백질의 독성 유무를 알아보기 위해, ICR계 마우스 모델을 이용해 주요장기의 독성 검증실험을 수행하였다. Table 1에서 보는 바와 같이, 20 mg/kg의 느릅 당단백질을 2주간 마우스에 경구 투여하였을 때 비장, 심장, 콩팥 및 간의 무게는 PBS만을 처리한 대조군과 비교하여 유의적으로 차이가 나타나지 않았다. 특히 모든 마우스를 해부하여 주요 장기의 육안적 소견을 관찰한 결과, 부작용이나 외관상 어떠한 이상 병변도 발견되지 않았다. 이러한 결과는 마우스에 느릅 당단백질을 경구 투여하였을 때 부작용으로 인한 성장저해 현상을 나타내지 않음을 시사한다. 체내에 흡수된 느릅 당단백질의 혈액 독성유무를 판단하기 위해, 마우스 모델을 활용해 약물이 야기하는 독성 표지자로 알려져 있는 lactate dehydrogenase (LDH), Glutamate Oxaloacetate Transaminase (GOT) 및 Glutamate Pyruvate Transaminase (GPT)의 활성을 측정하였다. LDH의 경우 약물 독성으로 인해 조직 세포막이 손상될 때 혈액으로 유리되어 활성이 증가된다고 보고되어 있으며 GOT와 GPT의 경우 독성에 관여하는 효소로서 세포 손상과 사멸에 의해 세포밖으로 방출되는 것으로 알려져 있다 (Ozaki et al., 1997). Table 2에서 보는 바와 같이, 20 mg/kg의 느릅 당단백질을 2주간 마우스에 경구 투여하였을 때, 혈액 독성으로 인한 LDH, GOT 및 GPT 수준은 각각 $101.08 \pm$

0.77%, 14.32 ± 1.40 IU/l 및 4.74 ± 0.06 IU/l로서 PBS만을 처리한 대조군과 비교하여 유의적 차이를 보이지 않았다. 따라서 느릅 당단백질은 동물의 장기 독성 및 혈액 독성 효과를 가지지 않으면서 동시에 환경독성으로부터 장 세포를 보호할 수 있는 효과적인 천연물 유래 제어 제임을 시사한다.

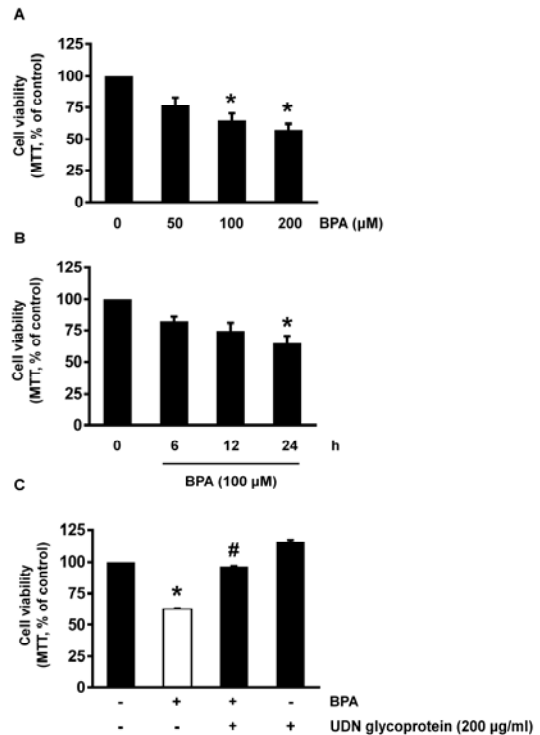


Fig. 1. The effect of UDN glycoprotein on the viability induced by BPA in HT-29 cells. (A) Dose responses of BPA in cell viability of HT-29 cells treated with BPA are shown. Data represent means \pm S.E. (n=3). * $P < 0.05$ versus 0 µM. (B) Time responses of viability in HT-29 cells treated with BPA (100 µM) are shown. Data represent means \pm S.E. (n=3). * $P < 0.05$ versus 0 h. (C) Cells were co-treated with BPA and UDN glycoprotein for 24 h. Cell viability was determined by MTT assay. Data represent means \pm S.E. (n=3). * $P < 0.05$ the cells with no treatment. # $P < 0.05$ versus BPA alone.

3.3. 느릅 당단백질이 마우스 사료 효율에 미치는 영향

느릅 당단백질이 동물의 사료 효율(feed efficiency)

Table 1. Effect of UDN glycoprotein on internal organ weights in mice

Group / (g)	Spleen	Heart	Kidney (Left)	Kidney (Right)	Liver
Control	0.115 ± 0.001	0.171 ± 0.001	0.256 ± 0.004	0.253 ± 0.004	1.836 ± 0.009
UDN glycoprotein (20 mg/kg)	0.110 ± 0.001	0.167 ± 0.001	0.264 ± 0.003	0.254 ± 0.004	1.934 ± 0.004

Values are mean ± S.E. (n=3)

Table 2. Effect of UDN glycoprotein on serum LDH, GOT and GPT in mice

Group	LDH (%)	GOT (IU/l)	GPT (IU/l)
Control	100.0 ± 0.32	13.06 ± 0.19	4.61 ± 0.15
UDN glycoprotein (20 mg/kg)	100.15 ± 0.11	14.32 ± 1.40	4.74 ± 0.06

Values are mean ± S.E. (n=3)

Table 3. Effect of UDN glycoprotein on feed efficiency in mice

	Body weight gain (g/day)	Feed intake (g/day)	Feed efficiency ratio (%)
Control	9.00 ± 0.06	80.09 ± 0.11	11.43. ± 0.09
UDN glycoprotein (20 mg/kg)	10.35 ± 0.20*	73.67 ± 0.28*	14.05. ± 0.24*

Values are mean ± S.E. (n=7). **P* < 0.01 versus control.

ratio)에 미치는 영향을 알아보기 위해, 일당 평균 증체량 (body weight gain), 일당 평균 사료섭취량(feed intake) 및 사료 효율에 대해 조사해 보았다. Table 3에서 보는 바와 같이, 20 mg/kg의 느릅 당단백질을 마우스에 경구 투여하였을 때 변화되는 일당 평균 증체량은 대조군과 비교했을 때 유의적으로 1.35 g/day만큼 증가했지만, 일당 평균 사료섭취량은 유의적으로 6.42 g/day만큼 감소하였다. 이에 따라 사료 효율이 대조군에 비해 2.62%만큼 증가함을 알 수 있었다.

이러한 결과는 느릅 당단백질이 소화촉진 및 위장관 면역 능력 향상을 통해 위장관계 환경을 개선시킴을 통해(Lee et al., 2004), 가축의 사료흡수율 및 대사적 효율을 향상시켜 소량의 사료섭취량으로도 유의적 증체량을 나타낸다는 것을 의미한다.

3.4. 느릅 당단백질이 마우스 분뇨 악취저감에 미치는 효과

느릅 당단백질이 악취물질 농도에 미치는 영향을 알

아보기 위해 식이개시일부터 2주간 총 4번에 걸쳐 하루에 배설되는 분뇨를 채취해서 악취 원인 물질들로 알려진 hydrogen sulfide (H₂S) 와 ammonia (NH₃)의 농도를 측정하였다. Fig. 2A와 B에서 보는 바와 같이, 2주 동안 20 mg/kg의 느릅 당단백질을 마우스에 경구 투여 하였을 때, 마우스 분뇨의 H₂S 및 NH₃는 시간에 따라 농도가 점차 감소됨을 알 수 있었다. 특히 14일째 처리하였을 때 H₂S 및 NH₃ 농도는 느릅 당단백질 처리에 의해 각각 0.45 및 0.81 ppm 만큼 유의적으로 감소되었다. NH₃와 H₂S는 대표적인 악취물질로써 인간의 후각을 자극하여 건강에 피해를 줄 뿐만 아니라 가축들의 점막방어면역 체계를 손상시켜 호흡기 질병을 야기하여 생산성 저하가 된다고 알려져 있다(Cheng et al., 2014). 또한 느릅 당단백질의 경우 하이드록실기가 풍부하여 항산화 효과가 뛰어나다고 보고되었으며 이러한 하이드록실기는 화학적으로 악취 물질과 흡착하여 악취를 저감 시키는 소취작용 기작이 있다고 보고되었다(Hausen and Beyer, 1992).

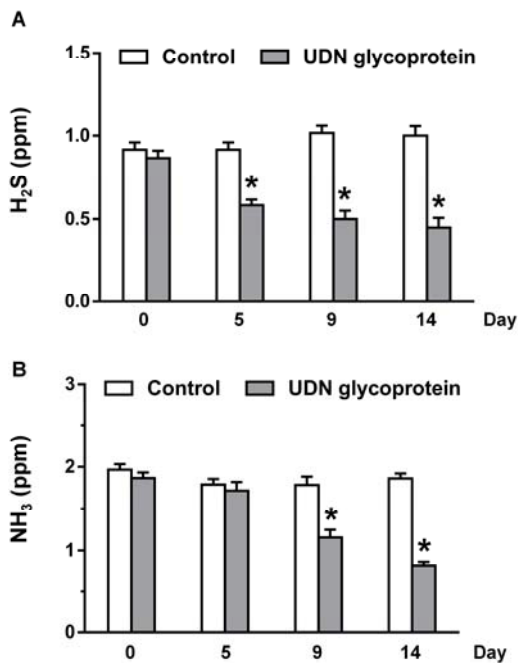


Fig. 2. UDN glycoprotein reduces the level of hydrogen sulfide (H₂S) and ammonia (NH₃) in mice. The concentration of H₂S (A) and NH₃ (B) in mouse treated with UDN glycoprotein for 14 days is shown. Data represent means \pm S.E. (n=7). **P* < 0.05 versus 0 day.

따라서 이와 같은 결과는 느릅 당단백질이 사료 효율 향상을 촉진시키고 악취물질인 H₂S 및 NH₃ 농도를 감소 시킴으로써 마우스의 위장관 환경을 개선시키는 다중적인 생리활성 효과를 가지고 있음을 시사한다. 또한 느릅 당단백질이 대장 상피 세포의 환경 독성물질대사 기전과 밀접한 관련이 있으며, 새로운 천연물 유래 축산분뇨 악취저감 기능을 가지고 있음을 제시한다.

종합적으로, 느릅나무에서 분리된 식물성 느릅 당단백질은 대장 상피 세포에서 독성물질로 인한 세포 사멸 기전을 억제하여 세포를 보호하는 효과를 가지고 있으며, 동물의 장기 및 혈액에 유해성이 없으면서 사료 효율을 개선하고 악취생산을 제어하는 천연 생리활성물질임을 시사한다.

4. 결론

느릅나무(*Ulmus davidiana* Nakai, UDN)는 장미목

느릅나무과의 식물로 부종, 유방염, 위궤양 및 위암 등에 효과를 가진 전통약재로 사용되어 왔다. 최근 느릅나무 추출물은 항염증 작용 및 항고지혈증 등의 효능을 가지고 있으며, 강력한 항산화 작용을 하는 것으로 보고되었다. 항산화 능력이 뛰어난 천연에서 유래한 당단백질은 장 상피세포를 보호하는 기존 연구의 결과들이 있었으며, 본 연구에서는 느릅나무로부터 추출된 116 kDa의 식물성 당단백질(UDN glycoprotein)이 항산화 효과를 바탕으로 환경 독성물질인 비스페놀 A가 유도하는 환경독성 조절효과, 가축의 악취 저감 및 사료 효율에 미치는 영향을 알아보았다. 느릅 당단백질은 항산화능력을 바탕으로 장 상피 세포 보호효과가 뛰어나며 비스페놀 A가 유도하는 세포사멸을 유의적으로 억제하는 능력을 가지고 있었다. 이러한 세포 보호효과를 가진 느릅 당단백질을 2주간 마우스에 경구 투여한 결과, 독성으로 인해 중량변화가 예상되는 주요 내부 장기의 무게 및 혈액 독성 표지자들인 LDH, GOT 및 GPT 방출 수준은 대조군과 비교하여 유의적인 차이를 보이지 않았다. 또한 마우스 실험에서 느릅 당단백질은 부작용이 없을 뿐만 아니라 위장관을 개선시켜 사료 효율 값을 증가시켜 최소한의 식이 섭취량으로 유의적 증체량을 나타내었다. 게다가 마우스의 분내 악취 주요 원인물질들이라고 알려진 NH₃와 H₂S의 농도를 유의적으로 감소시키는 능력을 가지고 있었다. 이러한 결과를 종합해보면 느릅 당단백질은 대장 상피 세포를 보호하여 환경오염물질의 유해성을 줄이고, 안정성이 뛰어나 동물 사료 효율 및 악취 저감을 촉진하여 천연물로부터 유래하는 다기능성의 환경 독성 제어제라고 요약할 수 있다.

감사의 글

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1A2C1088927).

REFERENCES

- Banerjee, S., Manna, S., Saha, P., Panda, C. K., Das, S., 2005, Black tea polyphenols suppress cell proliferation and induce apoptosis during benzo(a)pyrene-induced lung carcinogenesis, *Eur. J. Cancer Prev.*, 14, 215-221.

- Chatterjee, A., Saluja, M., Agarwal, G., Alam, M., 2012, Green tea: A boon for periodontal and general health, *J. Indian Soc. Periodontol.*, 16, 161-167.
- Cheng, Z., O'Connor, E. A., Jia, Q., Demmers, T. G., Wathes, C. M., Wathes, D. C., 2014, Chronic ammonia exposure does not influence hepatic gene expression in growing pigs, *Animal*, 8, 331-337.
- DeLuca, J. A., Allred, K. F., Menon, R., Riordan, R., Weeks, B. R., Jayaraman, A., Allred, C. D., 2018, Bisphenol-A alters microbiota metabolites derived from aromatic amino acids and worsens disease activity during colitis, *Exp. Biol. Med. (Maywood)*, 243, 864-875.
- Hausen, B. M., Beyer, W., 1992, The sensitizing capacity of the antioxidants propyl, octyl, and dodecyl gallate and some related gallic acid esters, *Contact Dermatitis*, 26, 253-258.
- Higdon, J. V., Frei, B., 2003, Tea catechins and polyphenols: health effects, metabolism, and antioxidant functions, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 43, 89-143.
- Hong, S. O., Choi, I. K., Jeong, W., Lee, S. R., Sung, H. J., Hong, S. S., Seo, J. H., 2017, *Ulmus davidiana* Nakai induces apoptosis and autophagy on non-small cell lung cancer cells, *J. Ethnopharmacol.*, 202, 1-11.
- Le, P. D., Aarnink, A. J., Ogink, N. W., Becker, P. M., Verstegen, M. W., 2005, Odour from animal production facilities: its relationship to diet, *Nutr. Res. Rev.*, 18, 3-30.
- Lee, S. J., Heo, K. S., Oh, P. S., Lim, K., Lim, K. T., 2004, Glycoprotein isolated from *Ulmus davidiana* Nakai inhibits TPA-induced apoptosis through nuclear factor-kappa B in NIH/3T3 cells, *Toxicol. Lett.*, 146, 159-174.
- Lee, S. J., Lim, K. T., 2007, UDN glycoprotein inhibits activator protein-1 and matrix metalloproteinase-9 via blocking of oxygen radicals in HT-29 cells, *Mol. Cell Biochem.*, 304, 13-23.
- Lee, Y. M., Park, J. P., Lim, K. T., Lee, S. J., 2019, Intestinal epithelial cell apoptosis due to a hemolytic toxin from *Vibrio vulnificus* and protection by a 36kDa glycoprotein from *Rhus verniciflua* Stokes, *Food. Chem. Toxicol.*, 125, 46-54.
- Madane, P., Das, A. K., Pateiro, M., Nanda, P. K., Bandyopadhyay, S., Jagtap, P., Barba, F. J., Shewalkar, A., Maity, B., Lorenzo, J. M., 2019, Drumstick (*Moringa oleifera*) flower as an antioxidant dietary fibre in chicken meat nuggets, *Foods*, 1, 8.
- Neville, D. M. Jr., Glossmann, H., 1974, Molecular weight determination of membrane protein and glycoprotein subunits by discontinuous gel electrophoresis in dodecyl sulfate, *Methods Enzymol.*, 32, 92-102.
- Ozaki, M., Nakamura, M., Teraoka, S., Ota, K., 1997, Ebselen, a novel anti-oxidant compound, protects the rat liver from ischemia-reperfusion injury, *Transpl. Int.*, 10, 96-102.
- Pitcher, M. C., Cummings, J. H., 1996, Hydrogen sulphide: a bacterial toxin in ulcerative colitis?, *Gut*, 39, 1-4.
- Reitman, S., Frankel, S., 1957, A Colorimetric method for the determination of serum glutamic oxalacetic and glutamic pyruvic transaminases, *Am. J. Clin. Pathol.*, 28, 56-63.
- Song, E. J., Lee, S. J., Lim, H. S., Kim, J. S., Jang, K. K., Choi, S. H., Han, H. J., 2016, *Vibrio vulnificus* VvhA induces autophagy-related cell death through the lipid raft-dependent c-Src/NOX signaling pathway, *Sci. Rep.*, 6, 27080.
- Vigors, S., O'Doherty, J. V., Kelly, A. K., O'Shea, C. J., Sweeney, T., 2016, The effect of divergence in feed efficiency on the intestinal microbiota and the intestinal immune response in both unchallenged and lipopolysaccharide challenged ileal and colonic explants, *PLoS One*, 11, e0148145.
- Wang, T., He, Q., Yao, W., Shao, Y., Li, J., Huang, F., 2019, The variation of nasal microbiota caused by low levels of gaseous ammonia exposure in growing pigs, *Front. Microbiol.*, 10, 1083.

-
- Master student. Do-Wan Kim
Department of Pharmaceutical Engineering, Daegu Haany University
sost200211@gmail.com
 - Professor. Moon-Ki Park
Department of Pharmaceutical Engineering, Daegu Haany University
moonki@dhu.ac.kr
 - Professor. Sei-Jung Lee
Department of Pharmaceutical Engineering, Daegu Haany University
sjlee@dhu.ac.kr