Antimicrobial activity of *Caesalpinia sappan* L. extract against skin flora

Mi Kyung Hwang¹ · Yong Hyun Lee² · Dong Chung Kim¹

소목(*Caesalpinia sappan* L.) 추출물의 피부 상재균에 대한 항균 활성

황미경¹ · 이용현² · 김동청¹

Received: 12 January 2021 / Accepted: 16 February 2021 / Published Online: 31 March 2021
© The Korean Society for Applied Biological Chemistry 2021

Abstract Antimicrobial activity of an aqueous extract from *Caesalpinia sappan* L. was investigated against skin flora such as *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Cutibacterium acnes*, and *Malassezia furfur*. The yield and polyphenol content of the aqueous extract were $14.01 \pm 0.81\%$ and $487.5 \pm 19.69 \mu\text{g}/\text{mg}$ -extract, respectively. The minimum inhibitory concentration of the aqueous extract against *E. coli*, *S. aureus*, *C. acnes*, and *M. furfur* was 0.875, 1.750, 1.750, and 1.750 mg/mL, respectively. In disc diffusion test, the aqueous extract of *C. sappan* L. increased the clear zone in a dose-dependent manner. The aqueous extract inhibited the microbial growth in a concentration-dependent manner.

Keywords Antimicrobial activity · Aqueous extract · *Caesalpinia sappan* L. · Minimum inhibitory concentration · Skin flora

서 론

소목(*Caesalpinia sappan* L.)은 예부터 천연 염료 및 한약재로 널리 사용되어 왔다. 소목의 나무 중심부인 심재에는 탄닌, 정

유 성분, 배당체, 페놀화합물, 지방산 등과 같은 화학 성분들[1]과, brazilin, brazilide A, sappanone B, sappanchalcon, 3-deoxysappanchalcone, butein 및 protosappanin 등의 생리활성 물질들이 함유되어 있다[2]. 소목 심재의 염료성 화합물의 주성분은 무색의 flavonoid 구조를 갖는 brazilin인데 공기 중에 산화되면 홍색의 brazilein이 되어 천연 염료로 사용되고 있다[3]. 소목 심재에 들어있는 식물성 폴리페놀은 항산화 및 항균 등의 생리학적 역할을 하는 중요한 물질로 보고되었다[4]. 소목의 심재로부터 얻어지는 소목 추출물은 항염증[5], 항암[6,7], 항산화[8] 및 면역조절[9] 활성을 가지고 있고, 소목의 3-deoxy-sappanone, brazilin 및 protosappanin A 성분은 당뇨에 의해 야기되는 2차 합병증 치료에 효과적인 것으로 알려졌다[10].

소목 추출물은 *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* 및 *Salmonella typhimurium*에 대한 항균 활성을 보여주었고[11], 소목의 brazilin은 *S. aureus*에 대해 우수한 항균성을 가지는 것으로 나타나 소목 추출물을 천연 항균제로서 활용하려는 시도가 이루어지고 있다[12]. 소목 추출물로부터 분리된 brazilin은 여드름 유발균인 *Propionibacterium acnes*에 대해서 0.5 mg/mL의 최소저해농도(minimum inhibitory concentration, MIC)를 갖는다고 보고되었고[13], 충치 균인 *Streptococcus mutans*에 대해서도 항균 작용을 나타내는 것으로 알려졌다[14].

세균성 질병의 치료를 위해 수많은 항균 물질이 개발되었으나 내성균의 증가와 독성으로 인해 자연 친화적이고 안전한 천연 항균제의 중요성이 크게 부각되고 있다[15]. 소목 추출물은 천연 항균 소재 중의 하나로 관심을 받아 왔고, 주로 식품 및 화장품 분야에서 소목 추출물의 항균력에 관한 연구가 이루어지고 있다[16]. 그러나 소목의 항균 효과에 대한 다양한 연구에도 불구하고 아직까지 여드름, 비듬 및 가려움증을 유발하는 피부 미생물에 대한 항균 활성 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 피부 상재 미생물인 *E. coli*, *S. aureus*, *Cutibacterium acnes* 및 *Malassezia furfur*를 대상으로 소목 열수추출물의 항균 활성을 체계적으로 확인하고자 하였다. 기존의

Dong Chung Kim (✉)
E-mail: kimdc@chungwoon.ac.kr

¹Department of Chemical Engineering, Chungwoon University, Incheon 22100, Republic of Korea

²Leadb Co., Ltd, Incheon 21697, Republic of Korea

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.

연구에서 소목 메탄을 추출물의 *E. coli* 및 *S. aureus*에 대해 항균 활성을 보고한 바 있지만 MIC 및 생육저해환 확인에 그치고 있다[11-13]. 본 연구에서는 소목의 식품 및 화장품 산업에서의 활용도를 높이기 위해 소목을 열수로 추출하여 MIC 확인뿐만 아니라 농도에 따른 생육저해환 측정, 액체배양에서 농도와 시간에 따른 피부 상재균의 증식에 미치는 영향을 확인함으로써 소목 추출물의 항균 활성을 체계적으로 정리하였고, 특히 여드름 유발균인 *C. acnes*와 비듬 유발 진균인 *M. furfur*에 대한 항균 효과를 확인함으로써 소목 추출물을 피부질환 완화를 목적으로 하는 화장품 소재 및 식품 산업에서의 천연 항균 소재로서의 활용 가능성을 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

소목은 인도네시아산으로 대구광역시 약령시장에서 건조 분말을 구입하여 200 mesh sieve로 거른 후 시료로 사용하였다. Folin 시약, sodium carbonate, gallic acid는 Sigma Aldrich (St. Louis, MO, USA) 제품을 사용하였다. 그람음성균인 *Escherichia coli*는 돼지고기에서 분리 후 동정하여 사용하였고, 그람양성균인 *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Cutibacterium acnes* ATCC 6919와 진균인 *Malassezia furfur* ATCC 14521은 American Type Culture Collection (Manassas, VA, USA)에서 분양받았다. 미생물 배양 배지들은 BD bioscience (Franklin Lakes, NJ, USA)의 제품을 사용하였는데, *E. coli* 배양은 Luria-Bertani broth/agar를, *S. aureus*와 *C. acnes* 배양은 tryptic soy broth/agar를, *M. furfur* 배양은 yeast mold broth/agar를 사용하였다.

소목 열수 추출 및 폴리페놀 함량

소목 분말을 10배(w/v)의 증류수에 침지시켜 고압멸균기(ES-315, Tomy Digital Biology, Tokyo, Japan)로 100 °C에서 60분 추출하였고 원심분리(3,000×g, 10분)하여 소목 추출물을 얻은 후 여과지로 거르고 회전감압농축기(Eyela, Tokyo Rikakikai, Tokyo, Japan)로 농축하여 실험에 사용하였다.

소목 열수추출물의 폴리페놀 함량은 Folin-Denis 방법으로 확인하였다[17]. 소목 추출물에 Folin 시약을 넣어 상온에서 5분간 반응시키고 6% sodium carbonate 용액을 첨가하여 상온에서 1시간 방치한 후 725 nm에서 흡광도를 측정하여 µg gallic acid equivalents (GAE)/mg extract로 나타내었다.

항균 활성 평가

소목 열수추출물의 피부상재균에 대한 MIC를 확인하였다[14]. 소목 추출물을 멸균된 배지로 1/2씩 단계적으로 희석하고 96 well plate에 100 µL씩 넣은 후 각각의 균주를 10⁵ cfu/mL 농도가 되게 희석한 것을 100 µL 첨가하여 24시간 동안 37 °C에서 배양한 후 흡광광도계(Multiskan FC, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)로 595 nm의 흡광도를 측정하여 균주가 성장하지 않은 소목 추출물의 농도를 MIC로 하였다.

디스크 확산법으로 소목 열수추출물의 항균 활성을 확인하였다[16]. 멸균된 8 mm paper disc에 소목 추출물을 농도별로 80

µL씩 점종하여 준비하였다. 37 °C에서 24시간 동안 배양된 각각의 균주를 10⁵ cfu/mL로 희석하여 agar plate에 고루 퍼지도록 도말한 후 준비한 paper disc를 배지 표면에 가볍게 놓고 24시간 동안 37 °C에서 배양한 후 생육저해환(clear zone)의 크기를 측정하였다. 음성대조균으로 증류수를, 양성대조균으로는 4% 1,2-hexanediol을 사용하였다.

소목 열수추출물의 균 증식 억제 효과는 흡광도법을 통해 확인하였다[18]. 37 °C에서 24시간 동안 배양된 각각의 균주를 10⁴ cfu/mL 농도가 되도록 희석한 후 소목 추출물을 농도별로 첨가하여 혼합하였다. 혼합액 200 µL을 96 well plate에 분주하여 24시간 동안 37 °C에서 배양하였으며 2시간 간격으로 595 nm의 흡광도를 측정하여 균 증식 정도를 확인하였다.

결과 및 고찰

소목의 항균 활성에 관한 기존의 연구는 주로 메탄을 추출물을 대상으로 이루어 졌다[11-13]. 식품과 화장품 산업에서 천연물의 추출에 가장 효율적이고 안전한 용매는 물이기 때문에 본 연구에서는 소목 추출의 공정 단순화와 활용도를 높이기 위해 소목을 열수로 추출하여 항균 효과를 확인하였다. 소목 열수추출물의 수율은 14.0±0.8%였고, 총 폴리페놀 함량은 추출물 mg 당 487.5±19.7 µg GAE로 나타났다(Table 1). 소목은 추출 용매에 따라 수율이 달라지는데, 메탄을 추출은 12.3%, 에탄올 추출은 10.2%, ethyl acetate 추출은 5.0%로 열수 추출에 비해 수율이 낮게 나타났다[19]. 이는 용매의 극성이 감소할수록 식물 조직에 다량 들어있는 당류, 아미노산 및 무기질 등의 극성 성분들이 잘 추출되지 않아 수율이 낮아지는 것으로 볼 수 있다[20].

소목 열수추출물의 폴리페놀 함량을 생리활성이 높다고 알려진 다른 약용 식물과 비교하였을 때, 두충잎 추출물(64.1 µg/mg) [20], 사자발약쑥 추출물(106.9 µg/mg) [21], 모시풀 추출물(105.0 µg/mg) [22]에 비하여 매우 높은 것으로 나타났다. 폴리페놀 화합물은 항산화, 항염, 항박테리아, 당화 억제 및 면역 조절 등의 생리활성을 나타내는 것으로 보고되었다[23,24]. 폴리페놀 화합물의 우수한 항균 활성은 기존 항생제에 저항성이 있는 박테리아 문제를 해결하는데 좋은 대안으로 여겨져 왔다[25]. 특히 폴리페놀 화합물 중 flavonoid는 우수한 항균 효과를 가지고 있고, 그 작용 기작으로는 박테리아의 직접 사멸, 항생제의 상승적 활성화 및 박테리아의 병원성 억제 등이 알려져 있다[26].

피부 세균과 진균에 대한 소목 열수추출물의 MIC는 Table 2에 나타내었다. 소목 열수추출물의 *E. coli*에 대한 MIC는 0.875 mg/mL이었고, *S. aureus*, *C. acnes* 및 *M. furfur*에 대한 MIC는 1.75 mg/mL이었다. 소목 열수추출물은 피부 세균뿐만 아니라 진균에 대해서도 우수한 항균 효과를 보여주었다. Lee와 Min [27]은 소목 메탄을 추출물의 *E. coli*와 *S. aureus*에 대한

Table 1 Yield and polyphenol content of *Caesalpinia sappan* L. extract

Yield (%)	polyphenol content ⁽²⁾ (µg GAE/mg-extract)
14.0±0.8 ⁽¹⁾	487.5±19.7 ⁽¹⁾

⁽¹⁾Data represented means and SD of triplicate measurements

⁽²⁾Polyphenol content was expressed as gallic acid equivalents (GAE)

Table 2 Minimum inhibitory concentration of *Caesalpinia sappan* L. extract

Sample	Minimum inhibitory concentration (mg/mL)			
	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>C. acnes</i>	<i>M. furfur</i>
<i>C. sappan</i> extract	0.875	1.750	1.750	1.750

Table 3 Antimicrobial activities of *Caesalpinia sappan* L. extract against skin flora

Treatment agents	Clear zone size ¹⁾ (mm)			
	<i>E. coli</i>	<i>S. aureus</i>	<i>C. acnes</i>	<i>M. furfur</i>
Control	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
4% 1,2-Hexanediol	13.00±0.57	12.00±0.47	11.00±0.57	10.67±0.57
<i>C. sappan</i> extract	0.438 mg/mL	8.00±0.00	9.00±0.00	8.00±0.00
	0.875 mg/mL	9.34±0.57	9.00±0.00	8.00±0.00
	1.750 mg/mL	12.00±1.00	12.00±1.00	9.34±0.57
	3.500 mg/mL	15.34±0.57	15.34±0.57	13.33±0.57
	7.000 mg/mL	18.00±0.82	17.66±0.47	17.66±0.47

¹⁾Data represented means and SD of triplicate measurements **Fig. 1** Effect of concentrations of *Caesalpinia sappan* L. extract on growth inhibition against *Escherichia coli* (A), *Staphylococcus aureus* (B), *Cutibacterium acnes* (C), and *Malassezia furfur* (D). 4% 1,2-hexanediol was used as a positive control. Data were means and SD of triplicate measurements

MIC를 각각 3.125 및 1.563 mg/mL로 보고하였고[27], Choi 등 [28]은 소목 메탄올 추출물의 *S. aureus*에 대한 MIC를 1.6 mg/mL로 보고하여 본 연구와 큰 차이가 없었다. 따라서 소목을 메탄올이 아닌 물로 추출하여도 항균 활성에는 큰 차이가 없기 때문에 소목의 산업적 활용도를 높이기 위해 열수 추출이 바람직한 것으로 사료된다.

소목 열수추출물의 *E. coli*, *S. aureus*, *C. acnes*, *M. furfur*에 대한 항균 효과를 디스크 확산법으로 확인한 결과는 Table 3에 나타내었다. 소목 열수추출물은 3.5 mg/mL의 농도에서 *E. coli*, *S. aureus*, *C. acnes* 및 *M. furfur*에 대해서 각각 15.34, 15.34, 13.33 및 15.66 mm의 생육저해환을 보여주었다. 양성대조군으로 사용된 1,2-hexanediol은 4% (w/w)의 농도에서 *E. coli*, *S. aureus*, *C. acnes* 및 *M. furfur*에 대해서 각각 13.00, 12.00, 11.00 및 10.67 mm의 생육저해환을 보여주었다. 소목 열수추출물은 그람음성균, 그람양성균 및 진균에 대해 모두 농도의존적으로 균의 생육을 저해하였고, 3.5 mg/mL 이상의 농도에서는 양성대조군보다 우수한 항균 활성을 보여주었다. Madhubala 등[29]은 소목 메탄올 추출물이 5.0 mg/mL의 농도에서 *S. aureus*에 대해 15.0 mm의 생육저해환을 나타낸다고 보고하였고[29], Lee와 Min [27]은 소목 메탄올 추출물이 50.0 mg/mL의 농도에서 *E. coli*와 *S. aureus*에 대해 각각 13.0 및 26.0 mm의 생육저해환을 나타낸다고 보고한 바 있다. 본 연구의 소목 열수추출물은 *E. coli*와 *S. aureus* 뿐만 아니라 여드름 유발 세균인 *C. acnes*와 비듬 유발 진균인 *M. furfur*에 대해서도 낮은 농도에서 우수한 항균 활성을 나타냄을 알 수 있었다.

소목 열수추출물의 배양 시간에 따른 농도별 항균 효과를 확인한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 그람음성균인 *E. coli*, 그람양성균인 *S. aureus*와 *C. acnes*, 진균인 *M. furfur*은 모두 추출물을 첨가하지 않은 음성대조군에서 배양 4시간 이후 급격한 균의 증식이 나타났고, 양성대조군인 4% (w/w) 1,2-hexanediol 첨가 시에는 24시간 동안 균의 증식이 전혀 일어나지 않았다. *E. coli*의 경우, 소목 열수추출물을 0.875 mg/mL의 농도 이상으로 첨가 시에는 전혀 증식하지 않았고, 그보다 낮은 농도에서는 농도의존적으로 증식이 억제되었다(Fig. 1A). *S. aureus*, *C. acnes* 및 *M. furfur*의 경우, 소목 열수추출물을 1.750 mg/mL의 농도 이상으로 첨가 시에는 전혀 증식이 일어나지 않았고, 그보다 낮은 농도에서는 농도의존적으로 균의 증식이 억제되었다(Fig. 1B~D). 소목 열수추출물은 액체 배양에서도 *E. coli*와 *S. aureus* 뿐만 아니라 *C. acnes*와 *M. furfur*에 대해서도 우수한 증식억제 활성을 갖는 것으로 확인되었다. 기존의 연구에서 소목 메탄올 추출물과 에탄올 추출물은 100 ppm 이상의 농도에서 *S. aureus*의 증식을 완전히 억제하였고[18], 소목의 75% 에탄올 추출물은 100 ppm의 농도에서 *S. aureus*의 증식을 완전히 억제한다고 알려졌다[30].

소목 추출물은 동남아시아 등지에서 음료와 식품 첨가물로 사용되고 있고, 또한 치약과 스킨 케어 등의 화장품 원료로도 활용되고 있다[31]. 우리나라에서 소목 추출물은 식품 원료로 허가되지 않았고 인체 피부를 대상으로 하는 화장품 원료로는 사용이 가능한데, 과량의 소목 추출물을 경구 투여한 동물 실험에서도 독성이 없는 것[32]으로 나타나 향후 천연 색소 및 보존 효과를 가진 식품 첨가제로 활용할 수 있을 것이다.

이상의 결과에서 소목의 열수추출물은 피부상재균인 *E. coli*,

S. aureus, *C. acnes*, *M. furfur*에 대해서 우수한 항균 활성을 보여주었다. 따라서 소목 열수추출물은 항균 식품 소재뿐만 아니라 피부질환의 예방과 완화를 목적으로 하는 스킨케어 제품에 활용가능성이 높을 것으로 사료된다.

초 록

소목(*Caesalpinia sappan* L.) 열수추출물의 피부상재균(*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Cutibacterium acnes*, *Malassezia furfur*)에 대한 항균 활성을 확인하였다. 소목 열수추출물의 수율과 폴리페놀 함량은 각각 14.01±0.81%와 487.5±19.69 µg/mg-추출물로 나타났다. 소목 열수추출물의 *E. coli*, *S. aureus*, *C. acnes* 및 *M. furfur*의 증식에 대한 최소저해농도는 각각 0.875, 1.750, 1.750 및 1.750 mg/mL이었다. 디스크 확산법에서 소목 열수추출물의 처리량에 비례하여 생육저해환이 증가하였다. 소목 열수추출물은 농도에 비례하여 피부상재균의 생육을 억제하였다.

Keywords 소목(*Caesalpinia sappan* L.) · 열수 추출 · 최소저해농도 · 피부상재균 · 항균 활성

감사의 글 본 논문은 제1저자의 청운대학교 석사학위 논문을 바탕으로 작성되었습니다.

References

- Namikoshi M, Saitoh T (1987) Homoisoflavonoids and related compounds. IV. Absolute configurations of homoisoflavonoids from *Caesalpinia sappan* L. Chem Pharm Bull 35: 3597–3602
- Nirmal NP, Rajput MS, Prasad RGSV, Ahmad M (2015) Brazilin from *Caesalpinia sappan* heartwood and its pharmacological activities: A review. Asian Pac J Trop Med 8: 421–430
- Park SZ, Kang JY, Seol DW, Yang HM, Lee JM, Choi HJ, Han SY, Jeon DW (2010) Effect of the change of pH condition on the dyeing using *Caesalpinia sappan*. J Fash Bus 14: 138–150
- Maltese F, Erkelens C, van der Kooy F, Choi YH, Verpoorte R (2009) Identification of natural epimeric flavanone glycosides by NMR spectroscopy. Food Chem 116: 575–579
- Hikino H, Taguchi T, Fujimura H, Hiramatsu Y (1977) Anti-inflammatory principles of *Caesalpinia sappan* wood and of *Haematoxylon campechianum* wood. Planta Med 31: 214–220
- Ueda JY, Tezuka Y, Banskota AH, Tran QL, Tran QK, Harimaya Y, Saiki I, Kadota S (2002) Antiproliferative activity of Vietnamese medicinal plants. Biol Pharm Bull 25: 753–760
- Park KJ, Yang S, Eun YA, Kim SY, Lee HH, Kang H (2002) Cytotoxic effects of Korean medicinal herbs determined with hepatocellular carcinoma cell lines. Pharm Biol 40: 189–195
- Nguyen MT, Awale S, Tezuka Y, Ueda JY, Tran QL, Kadota S (2006) Xanthine oxidase inhibitors from the flowers of *Chrysanthemum sinense*. Planta Med 72: 46–51
- Choi SY, Yang KM, Jeon SD, Kim JH, Khil LY, Chang TS, Moon CK (1997) Brazilin modulates immune function mainly by augmenting T cell activity in halothane administered mice. Planta Med 63: 405–408
- Li WL, Zheng HC, Bukuru J, Kimpe ND (2004) Natural medicines used in the traditional Chinese medical system for therapy of diabetes mellitus. J Ethnopharmacol 92: 1–21
- Wongkrajang Y, Manamuti C, Saraya S, Temsiririrukul R, Peungvicha P,

- Cheewansirisuk C (2007) Antioxidant and preservative properties of *Caesalpinia sappan* L. extract. *Planta Med* 73: P127
12. Nirmal NP, Panichayupakaranant P (2015) Antioxidant, antibacterial, and anti-inflammatory activities of standardized brazilin-rich *Caesalpinia sappan* extract. *Pharm Biol* 53: 1339–1343
 13. Batubara L, Mitsunaga T, Ohashi H (2010) Brazilin from *Caesalpinia sappan* wood as an antiacne agent. *J Wood Sci* 56: 77–81
 14. Kwon HJ, Kim YH, Han KI, Jeon M, Han MD (2012) Antimicrobial activities and adherence inhibition on *Streptococcus mutans* by ethyl acetate extract from *Caesalpinia sappan* L. *J Dent Hyg Sci* 12: 155–162
 15. Otvos Jr L (2000) Antibacterial peptides isolated from insects. *J Pept Sci* 6: 497–511
 16. Ahn DJ, Kwak YS, Kim MJ, Lee JC, Shin CS, Jeong KT (2000) Screening of herbal plant extracts showing antimicrobial activity against some food spoilage and pathogenic microorganisms. *Korean J Med Crop Sci* 8: 109–116
 17. Folin O, Denis W (1912) On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. *J Biol Chem* 12: 239–243
 18. Lee SK (2003) Antimicrobial activities of *Caesalpinia sappan* against animal husbandry disease. *Korean J Microbiol Biotechnol* 31: 242–249
 19. Lim DK, Choi U, Shin DH (1996) Antioxidative activity of some solvent extract from *Caesalpinia sappan* L. *Korean J Food Sci Technol* 28: 77–82
 20. Kim DC (2020) Antioxidative activities of ethanolic extracts of Duzhong (*Eucommia ulmoides* Oliver) leaf and bark. *J Appl Biol Chem* 63: 259–265
 21. In MJ, Kim KH, Kim DC (2020) Antioxidant and anticoagulant activities of Ganghwa medicinal mugwort (*Artemisia princeps* Pampanini) extract. *J Appl Biol Chem* 63: 439–442
 22. Kim C, In MJ, Kim DC (2015) *In vitro* antioxidant activity of ethanol extract from *Boehmeria nivea* L. leaves. *Food Eng Prog* 19: 76–81
 23. Fraga CG, Galleano M, Verstraeten SV, Oteiza PI (2010) Basic biochemical mechanisms behind the health benefits of polyphenols. *Mol Aspects Med* 31: 435–445
 24. Xie Y, Chen X (2013) Structures required of polyphenols for inhibiting advanced glycation end products formation. *Curr Drug Metab* 14: 414–431
 25. Xie Y, Yang W, Chen X, Xiao J (2014) Inhibition of flavonoids on acetylcholine esterase: binding and structure-activity relationship. *Food Funct* 5: 2582–2589
 26. Tangney CC, Rasmussen HE (2013) Polyphenols inflammation, and cardiovascular disease. *Curr Atheroscler Rep* 15: 324
 27. Lee JY, Min KJ (2011) Antimicrobial activity and bactericidal activity of *Caesalpinia sappan* L. extract. *J Environ Health Sci* 37: 133–140
 28. Choi I, Chang HS, Yun YM, Um JC (2002) Antimicrobial activity of medicinal herbs against *Staphylococcus aureus* and *Salmonella gallinarum*. *Kor J Microbiol Biotechnol* 30: 177–183
 29. Madhubala S, Poongothai M, Mahesh Kumar E (2018) Antibacterial and anti acne activity of *Caesalpinia sappan* L. and *Cinnamomum verum* J. Presl-A comparison. *Int J Adv Res Biol Sci* 5: 118–122
 30. Shin DH, Kim MS, Han JS (1997) Antimicrobial effect of ethanol extracts from some medicinal herbs and their fractionates against food-born bacteria. *Korean J Food Sci Technol* 29: 808–816
 31. Badami S, Moorkoth S, Suresh B (2004) *Caesalpinia sappan* A medical and dye yielding plant. *Nat Prod Radiance* 3:75–82
 32. Athinarayanana G, Ranjitsingh AJA, Usha Raja Nanthini A, Padmalathad C (2017) Toxicological studies of *Caesalpinia sappan* wood derived dye in Wister albino rats. *Food Sci Hum Well* 6: 34–38