

피부 마이크로바이옴의 연구 동향 분석

손효정^{1,*} · 유선희^{2,†}

¹유한대학교 의료뷰티학과, 교수

²건양대학교 글로벌의료뷰티학과, 교수

(2024년 5월 25일 접수: 2024년 6월 20일 수정: 2024년 6월 21일 채택)

Analysis of Research Trends in the Skin Microbiome

Hyo-Jeong Son¹ · Seon-Hee You^{2,†}

¹Department of Medical Beauty at Yuhan University, Professor

^{2,†}Department of Global Medical Beauty at Konyang University, Professor

(Received May 25, 2024; Revised June 20, 2024; Accepted June 21, 2024)

요약 : 피부에는 박테리아, 바이러스, 곰팡이를 포함하는 마이크로바이옴이 인체세포와 공존하고 있으며, 최근 피부 및 화장품 분야에서 피부 미생물 구성물과 피부 건강, 질병과의 연관성에 대해 많은 연구가 이루어지고 있을 뿐만 아니라 마이크로바이옴 화장품의 개발이 활발한 상황이다. 피부 마이크로바이옴은 매우 다양하며, 피부에서 구성비나 서식하는 부분이 다르지만 다양한 방법으로 상호작용을 통해 피부의 영양을 공급하거나 경쟁자인 병원균의 증식을 제한하고 있지만, 피부 마이크로바이옴과 병원균의 균형이 깨지면 면역 항상성의 파괴에 기여하고 피부 질환의 발병으로 이어질 수 있다. 이에 따라 본 논문은 우리 피부에 공생관계인 피부 마이크로바이옴의 역할과 연구 동향에 대해 파악하고, 마이크로바이옴 균형에 도움이 되는 바이오텍스 소재에 관한 산업동향을 고찰함으로써 미래의 큰 성장 가능성을 가진 피부 마이크로바이옴 시장의 중요한 자료로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

주제어 : 마이크로바이옴, 피부 마이크로바이옴, 마이크로바이옴 화장품, 응고효소음성포도구균, 프로피오니박테리움아크니스

Abstract : On the skin, the microbiome, which includes bacteria, viruses, and fungi, coexist with human cells. Microbiome cosmetics are being developed actively in the field of skin and cosmetics recently. The skin microbiome is very diverse, and although the composition ratio and habitat are different, it nourishes the skin or restricts the proliferation of pathogens, which are competitors, through interactions in various ways. However, if the balance is broken, it can contribute to the destruction of immune homeostasis and lead to the development of skin diseases. Accordingly, this paper can be used as important data for the skin microbiome market, which has great future growth potential, by understanding the role and research trends of the skin microbiome, which is a symbiotic

[†]Corresponding author

(E-mail: seonhee@konyang.ac.kr)

relationship with our skin, and by examining industrial trends in biological materials that help the microbiome balance.

Keywords : Microbiome, Skin microbiome, Microbiome cosmetic, Coagulase-negative Staphylococcus, Cutibacterium acnes.

1. 서론

마이크로바이옴(microbiome)은 미생물을 뜻하는 마이크로바이오타(Microbiota)와 유전체를 의미하는 게놈(genome)의 합성어로 ‘특정 환경에 존재하는 모든 미생물들과 유전자의 총합’을 의미한다[1]. 피부 마이크로바이옴은 인체 내에서 체중의 1-3%정도를 차지하는 것에 불과하지만, 면역작용과 대사작용에 많은 영향을 주고 있으며, 피부 마이크로바이옴의 95%는 대장을 포함한 소화기관에 존재하는데 호흡기, 생식기, 구강, 피부 등에도 널리 분포한다. 이러한 이유 때문에 피부 마이크로바이옴을 ‘제2의 장기’라고도 부르고 있다[2, 3].

피부는 신체 구조 중 최외각에 위치하고 있으며, 인체의 가장 큰 기관으로써 물리적, 화학적 장벽 기능과 함께 인체 내부의 수분과 전해질의 소실을 막아주는 투과 장벽 기능을 수행하는 중요한 기관이다[4]. 피부에는 박테리아, 바이러스, 곰팡이를 포함하는 마이크로바이옴이 인체세포와 공존하고 있으며, 최근 이러한 미생물 군집이 피부 장벽 기능의 형성과 중요한 역할을 한다는 것이 밝혀지면서, 피부 장벽 기능의 구성원으로서 각질층과 약 산성막 뿐만 아니라 피부 표면의 세균총 (microbiota)까지 고려해야 한다는 의견이 제시되고 있다[5, 6]. 피부 마이크로바이옴의 기본적인 역할은 면역체계 가동으로 인한 피부 질환의 자연 치유와 피부의 물리적, 화학적 성질, pH, 온도, 수분량, 피지량 등이 피부 환경에 영향을 미치는 것으로 여러 연구를 통해서 밝혀졌다[7-9]. 특히 아토피성 피부염에서 미생물 다양성과 질병 중증도 사이의 잠재적인 관계가 처음으로 밝혀진 이후로 피부 마이크로바이옴은 피부과 연구에서 중요하고 매력적인 분야로 여겨지고 있으며, 여드름 피부의 개선을 위한 새로운 성분 개발의 노력으로 시작된 마이크로바이옴 연구가 노화 방지 및 민감성 피부와 같은 거의 모든 영역으로 계속 확장되고 있다[5, 10, 11].

이렇듯 연구가 거듭되며 피부의 질병과 건강에 대한 인식의 전환이 일어나고 있다. 그동안의 미생물은 감염(infection)을 일으키는 병원균(pathogen)으로 주로 인식되어 피부질환에 영향을 주는 유해균의 문제로만 보았다면 마이크로바이옴의 관점으로 적용하여 유익균의 부재(不在)와 미생물의 적정 비율, 적정 상호작용, 균형상태가 피부 건강 및 질환에 영향을 주는 것으로 역할의 범위를 확장하여 여겨지고 있다. 이와 관련하여 화장품과 같은 피부관리 제품들이 피부 미생물의 균형에 대한 영향을 주는 형태로 변화하고 있는 추세이며 화장품을 통해 유익한 미생물을 증대시키거나 인위적으로 추가하는 접근 방법이 신제품 출시에 확산되고 있다[12]. 또한 최근 전 세계가 COVID-19 바이러스로 소비자들 사이에서 건강과 기능을 우선시하는 문화가 확산되고 환경적 요인 때문에 소비자들의 화장품에 대한 인식이 미를 추구하는 것에서 기능적인 것을 추구하는 방향으로 변화하였다고 사료된다.

이에 따라 본 연구에서는 피부 마이크로바이옴에 대한 체계적인 문헌 고찰과 이와 관련된 화장품과 뷰티분야에 대한 연구 동향과 시장가능성에 대해 알아보려고 하였다.

2. 연구 방법

2.1. 자료 수집 방법

본 연구는 마이크로바이옴과 피부에 존재하는 마이크로바이옴 균형을 유지하는 요인을 조사하기 위하여 구글 학술 검색(www.scholar.google.co.kr)과 학술연구정보서비스 RISS(www.riss.kr), Pubmed(www.pubmed.ncbi.nlm.nih.gov), ScienceDirect(www-scencedirect-com)를 통해 2006년부터 2023년까지 총 17년 간의 학위논문과 국내학술논문, 학술지, 해외학술지를 활용하여 자료를 수집하였다. 검색에 사용된 주제어별 검색 건수는 “skin microbiome” 1,081건, “skin

microbiome composition” 1,455건, “microbiome cosmetics” 2,523건 “skin microbiome biotics” 1,081건, “마이크로바이옴 화장품” 14건, Skin Microbiome for Cosmetic Application 14건으로 검색되었고, 이 중 중복되거나 본 연구와 관련 없는 내용을 제외한 46개의 문헌을 최종 연구 대상으로 선정하였다.

2.2. 자료 분석 방법

본 연구에 수집된 자료들은 크게 피부 마이크로바이옴 균형을 유지할 수 있는 환경이나, 조건, 피부건강에 영향을 미치는 프로바이오틱스, 프리바이오틱스, 포스트바이오틱스, 신바이오틱스 4가지로 나누어 피부에 작용하는 요인의 연구결과를 분석하였고, 피부에 상재 하며 공생관계를 유지하는 마이크로바이옴이 피부에서 구체적으로 어떤 역할을 하는지에 대한 연구결과 위주로 내용을 분석하였다. 또한 마이크로바이옴 화장품 시장에 대한 동향과 발전가능성에 대해 언론기사 및 해외 보고서 등을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 피부 마이크로바이옴

피부를 구성하는 가장 바깥층인 표피층에는 다양한 미생물들이 존재하며 피부장벽 기능에 중요한 역할을 하며, 피부면역 반응을 자극하거나 교육할 수 있고 피부 세포들의 분화 및 재생에 관여 및 병원성 미생물에 대한 방어기전을 가짐으로써 생리학과 병리학적 측면에서도 중요한 의미를 가지고 있다[10, 12]. 피부에 존재하는 미생물은 대부분 박테리아로 구성되어 있으며, 주로 Actinobacteria가 36-51%로 가장 많은 비율을 차지하고, Firmicutes 24-34%, Proteobacteria 11-16%, Bacteroidetes 6-9% 등의 순서로 구성되고 있다[8, 13-15]. 건강한 성인의 피부 미생물 군집의 구성은 주로 피부의 부위별 생리에 따라 다르며, 건조하거나 습하거나 혹은 피지분비가 많은 등의 미세 환경과 관련하여 박테리아의 수가 영향을 받는 것으로 밝혀졌다. 특히 피지가 많이 분비되는 부위는 친유성인 *Propionibacterium* 종이 다수를 차지하는 반면 *Staphylococcus* 및 *Corynebacterium* 종과 같은 습한 환경에서 번성하는 박테리아는 팔꿈치와 발의 구부러진 부분을 포함하여 피부의 습한 부위에 다수를 차지하였고,

Malassezia 속의 진균류는 몸통과 팔 부위에 우세한 반면, 발 부위에는 *Malassezia* spp., *Aspergillus* spp., *Cryptococcus* spp., *Rhodotorula* spp., *Epicoccum* spp.의 보다 다양한 진균류가 지배종으로 발견되고 있다[16, 17].

피부에서의 마이크로바이옴의 구성은 개인의 유전적 특성, 거주지역, 환경 오염 수준, 일상적인 활동 수준, 개인 위생 등과 같은 개인의 환경 요소, 음식 선택, 스트레스 수준, 약물 복용 등의 개인의 식습관 및 생활 방식이 피부의 마이크로바이옴 구성에 영향을 미치며[18], 다양한 방법으로 서로 상호작용하며 역할을 해내고 있다.

대표적으로 피부에 존재하는 유익균에 의한 작용은 패턴을 인식하는 수용체의 활성화를 통해 면역을 형성하며, 피부 생리를 유지하기 위한 뚜렷한 지시 매커니즘을 가지고 있는데, 피부에 공생하는 포도상구균 종은 면역 반응 경로를 활성화시켜 면역 장벽을 강화하여 병원성 감염을 예방할 수 있고, Toll-like receptor(TLRs)의 활성화를 유발하여 상처가 빠르게 복구될 수 있도록 하는 것으로 알려져 있다[19]. 이렇듯 피부에서는 면역체계와 피부 마이크로바이옴 사이의 끊임없는 상호작용을 하며 강력한 병원균 제어시스템을 갖추고 있고 재생의 역할을 하기 때문에 피부 마이크로바이옴과 병원균의 불균형이 발생하면 피부 방어막이 무너지고 피부질환이 발생할 수 있다[20, 21]. 피부에서 일반적으로 발견되는 박테리아는 Table 1에 나타내었다.

3.2. 피부 마이크로바이옴과 바이오티크의 관계

피부에 도움이 되는 마이크로바이옴은 다양한 종류의 박테리아와 다른 미생물 군으로 구성되며, 피부의 건강을 유지하고 보호하는 역할을 하는데, 피부 마이크로바이옴의 밸런스에 도움이 될 수 있는 종류는 프로바이오틱스, 프리바이오틱스, 포스트바이오틱스, 신바이오틱스가 대표적으로 알려져 있다.

3.2.1. 프로바이오틱스(Probiotics)

WHO 정의에 따르면 프로바이오틱스는 “적절한 양을 숙주에게 투여했을 때 건강상의 이점을 제공할 수 있는 살아있는 미생물”을 말한다[22, 23]. 다양한 박테리아 중에서 *Bifidobacterium*, *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Bacillus* 및 *Enterococcus* 종은 일반적으로 프로바이오틱스로 간주되고 있으며, 프로바이오틱스는 유산균(*Lacto-*

Table 1. Many of the skin commensals generally found on healthy human skin Bacterial phyla

Actinobacteria	Firmicutes	Proteobacteria	Bacteroidetes	Fungi
<i>Actinomyces</i>	<i>Aerococcus</i>	<i>Acidovorax</i>	<i>Chryseobacterium</i>	<i>Aspergillus</i>
<i>Brevibacterium</i>	<i>Bacillus</i>	<i>Acinetobacter</i>	<i>Prevotella</i>	<i>Aureoumbra</i>
<i>Cellulomonas</i>	<i>Enterococcus</i>	<i>Aeromonas</i>	<i>Porphyromonas</i>	<i>Candida</i>
<i>Cellulosimicrobium</i>	<i>Eubacterium</i>	<i>Agrobacterium</i>	<i>Sphingobacterium</i>	<i>Cyanophora</i>
<i>Corynebacterium</i>	<i>Finogoldia</i>	<i>Alcanivorax</i>		<i>Cryptococcus</i>
<i>Cutibacterium</i>	<i>Gemella</i>	<i>Aurantimonas</i>		<i>Epicoccum</i>
<i>Dermabacter</i>	<i>Granulicatella</i>	<i>Bradyrhizobium</i>		<i>Epidermophyton</i>
<i>Detzia</i>	<i>Staphylococcus</i>	<i>Enhydrobacter</i>		<i>Gracilaria</i>
<i>Kocuria</i>	<i>Streptococcus</i>	<i>Enterobacter</i>		<i>Leucocytozoon</i>
<i>Micrococcus</i>	<i>Veillonella</i>	<i>Escherichia</i>		<i>Malassezia</i>
<i>Corynebacterium</i>		<i>Haemophilus</i>		<i>Nannizzia</i>
<i>Propionibacterium</i>		<i>Halomonas</i>		<i>Nephroselmis</i>
<i>Pseudonocardia</i>		<i>Idiomarina</i>		<i>Parachlorella</i>
<i>Rothia</i>		<i>Imtechium</i>		<i>Pyramimonas</i>
		<i>Klebsiella</i>		<i>Pycnococcus</i>
		<i>Marinobacter</i>		<i>Rhodotorula</i>
		<i>Moraxella</i>		<i>Tilletia</i>
		<i>Neisseria</i>		<i>Trichophyton</i>
		<i>Paracoccus</i>		<i>Zymoseptoria</i>
		<i>Pasteurella</i>		
		<i>Pelomonas</i>		
		<i>Pseudomonas</i>		
		<i>Rasbo</i>		
		<i>Serratia</i>		
		<i>Sphingomonas</i>		
		<i>Stenotrophomonas</i>		
		<i>Haematobacter</i>		
		<i>Paracoccus</i>		

bacillus)과 바이피도박테리움(*Bifidobacterium*)이 대표적으로 많이 알려져 있는 미생물이다. 프로바이오틱스는 피부 건강에 긍정적인 영향과 안전한 것으로 보고되고 있으며[24], 특히 피부 장벽 약화로 발생할 수 있는 아토피 피부염과 관련한 연구가 꾸준히 보고되고 있다. 이와 관련한 선행연구로는 프로바이오틱스 중 *Lactobacillus* GG균, *Rhamnosus*균, *Bifidus*균 등은 아토피 피부염 환자에서 지나치게 항진된 Th2 사이토카인을 억제하고 저하된 Th1 사이토카인을 증진시켜 면역의 균형을 유지함으로써 아토피 피부염의 치료에 긍

정적인 영향을 주는 것으로 보고되고 있으며[25, 26], 그 밖에도 마우스에서 표피 증식 및 건선과 유사한 피부 염증에서 프로바이오틱스 균주인 *Lactobacillus pentosus* (L. pentosus) GMNL-77의 경구투여가 홍반성 인설 병변을 유의하게 감소시켰으며, TNF- α , IL-6, and the IL-23/IL-17A 와 관련된 사이토카인, IL-23, IL-17A/F, and IL-22를 포함한 전염증성 사이토카인의 mRNA수준을 유의하게 감소시킨 것으로 밝혀져 건선의 치료에 프로바이오틱스를 적용할 수 있다는 연구 결과가 보고되고 있다[27]. 또

한, *Lactobacillus*의 항산화효과[28], 항주름효과[29], 미신 분비로 피부 장벽 기능 개선[30], 여성의 비만호르몬과 염증성사이토카인에 미치는 영향[31]에 대한 효능이 보고되고 있다.

3.2.2. 프리바이오틱스(Prebiotics)

프리바이오틱스는 일종의 비 소화성 섬유화합물인 유익균인 프로바이오틱스가 사용하는 물질로 일상에서 섭취하는 야채, 과일 등의 식물성 식품에 함유되어 유익균의 먹이가 되는 영양분을 의미하고 있으며, 프리바이오틱스는 유익한 정상피부 미생물의 성장 활동을 자극하고, 프락토올리고당과 같은 탄수화물이 피부 건강을 증진시키는 것으로 알려져 있다[32].

프리바이오틱스는 에너지원의 역할을 할 뿐만 아니라 장에서 유산균의 성장과 활성을 선택적으로 자극하고 장내 환경을 개선하는 유산균의 수와 효과를 증대시킴으로서 궁극적으로는 숙주의 건강을 향상시키는 효과를 나타내며, 글루코오스, 갈락토오스, 프락토오스, 자이로오스 단위로 이루어진다. 그 종류로는 자일로올리고당(xylo-oligosaccharides; XOS), 락툴로오스(lactulose), 이소말토올리고당(isomaltooligosaccharides; IMO), 대두올리고당(soyoligosaccharides; SOS)이 대표적으로 알려져 있다[33, 34].

3.2.3. 포스트바이오틱스(Postbiotics)

포스트바이오틱스는 유산균을 포함하는 유익균 즉, 프로바이오틱스가 식이섭취유인 프리바이오틱스를 대사 하여 만들어 내는 최종 분자 대사산물인 생명물질로 천연 향생물질, 20여 가지 복합아미노산, 미네랄, 천연비타민, 오메가3, 신경전달물질, 천연호르몬, 텍스트린 등을 포함하는 기능성 생리 화합물이다[35]. 포스트바이오틱스의 대사산물은 염증과 산화스트레스를 예방하고 피부에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 확인되고 있으며, 포스트바이오틱스를 세포에 처리 후 세포 생존력과 에너지 증가, 인볼루크린(involutrin), 필라그린(filaggrin)로 인해 표피층의 두께가 증가되는 연구 결과들이 보고되고 있다[36, 37]. 이는 포스트바이오틱스가 시간이 지남에 따라 피부의 표피층을 강화하고 환경요인으로부터 방어할 수 있는 강력한 피부장벽을 구축하는데 도움이 될 수 있을 것으로 사료되어 진다.

3.2.4. 신바이오틱스(Synbiotics)

신바이오틱스(synbiotics)는 프로바이오틱스와 프리바이오틱스의 혼합물로 단일제제로 혼합된 것을 말하며, 신바이오틱스로 개발되는 의약품이나 식품은 프로바이오틱스와 프리바이오틱스 각각의 효과가 동시 나타나 두 요인의 시너지 효과가 발생하는 장점이 검증되고 있는 추세이다[38, 39]. 최근 연구로는 셀레늄 나노입자와 신바이오틱스를 결합한 국소용 크림을 제조하여 적용한 것이 자외선으로부터 피부를 보호하고 일광화상의 치료에 도움이 된다는 연구결과가 보고되고 있으며[40], 국소 아토피치료로 신바이오틱스를 적용하여 아토피환자의 quality of life (QoL) 점수가 점진적으로 개선되고 scoring of atopic dermatitis (SCORAD)는 상당히 감소하여, 신바이오틱스의 피부 적용이 무해하다는 연구 결과가 보고되고 있다[41].

3.2. 피부 마이크로바이옴과 뷰티산업 동향과 발전 가능성

최근 피부 미생물에 대한 연구와 과학적 조사가 증가하면서 화장품 산업에서도 관련 연구를 필연적으로 시행하고 있고, 글로벌 헬스케어 및 퍼스널케어 기업들의 피부 마이크로바이옴 상용화에 대한 관심이 증가함에 따라 미용목적의 피부 마이크로바이옴 뷰티 산업은 지속적으로 성장할 것으로 예상하고 있으며[10, 42], THE BRAINY INSIGHT에 따르면 전 세계 마이크로바이옴 화장품 시장은 2022년 4,571만 달러 규모였으며, 2022년부터 2030년까지 연평균 성장률(CAGR) 6.59%로 성장, 시장규모는 7,616만 달러에 이를 것으로 예상하고 있다. 또한, 시장 조사기관인 민텔(Mintel)에 따르면, ‘마이크로바이옴’ 키워드를 내세운 스킨케어 제품의 수가 2019년 기준 전년대비 57.4%의 성장률을 나타내고 있고, 마이크로바이옴과 관련한 화장품 키워드 검색으로 ‘발효’, ‘효소’, ‘유산균’ 등의 단어가 상위 기록됨에 따라 뷰티산업의 화장품 관련 업계들은 발 빠르게 움직이고 움직이고 있다[43, 44]. 기존의 화장품에는 피부에 나쁜 영향을 미칠 수 있는 합성 화학물질과 보존제, 유화제 등의 제형 성분이 포함되어 있는데 이런 성분들은 여러 번 세안 후에도 피부 표면에 남아 피부 미생물의 균형을 저해하는 작용을 할 수 있다고 보고되고 있

다[45]. 이와 관련하여 최근 새로운 제품 개발의 접근방식은 ‘좋은’ 박테리아가 제거되는 것을 방지하거나 프리바이오틱스 또는 프로바이오틱스를 첨가하여, 세정 후 제거된 ‘좋은’ 박테리아를 복원하는데 주력하고 있다.

국내에서 마이크로바이옴 연구 및 제품과 관련하여, LG생활건강은 7가지 프로바이오틱스와 파라프로바이오틱스 캡슐을 함유한 두피제품을 출시하였고, 코스맥스는 2019년 향노화 마이크로바이옴 화장품을 처음으로 개발하여 피부 보호 및 진정작용의 마이크로코쿠스 용해물과 바실러스 발효물을 함유한 자외선 차단 화장품 성분을 개발하였다. 원료 회사인 현대바이오랜드는 제주용암해수를 활용해 피부 마이크로바이옴 기술 특허를 획득하였고, 아이오펜, 헤라, 일리온, 메디힐, 닥터자르트, AHC 등 다수의 화장품 기업과 일동 제약, 종근당건강, 한미약품, 동아제약, 동국제약 등의 제약회사 등의 마이크로바이옴과 관련하여 연구 및 제품이 이어지고 있는 추세이다.

국외 관련 제품으로 La Roche Posay는 Prebiotic Thermal Water라는 온천수를 화장품에 적용하여 피부 미생물총 구성을 바람직한 방향으로 변화시키고 다양성을 증대함으로써 피부의 예민함을 관리하면서 피부 보습 및 피부장벽의 개선을 위한 성분으로 개발하여 사용하고 있다. SK-II는 PITERA라인의 제품에 발효 효모 추출물을 피부 보습유지와 향노화 성분으로 사용하고 있다. 크리닉은 Lactobacillus 추출물을 특허 등록하였고 피부 장벽의 재생 및 피부 자극 경감 성분으로 사용하고 있다. 아모레퍼시픽은 피부 장벽 강화를 위한 유산균 발효 용해성분, 두피 장벽 강화를 위한 녹차 유래 유산균 발효 용해성분 15종을 각각 스킨케어와 두피케어 제품에 적용하고 있다. 본 연구들을 종합해본 결과, 국내의 마이크로바이옴 관련 화장품 기술 수준은 상당히 높은 편으로 마이크로바이옴 소재를 통해 글로벌 시장을 이끌 수 있을 것으로 보여지며, 마이크로바이옴 화장품 시장은 미래의 큰 성장 가능성을 가지고 발전할 것으로 사료되어 진다.

4. 결론

피부를 구성하는 표피층에는 다양한 미생물이 존재하며, 이들은 피부 면역반응과 생리학적 및 병리학적 측면에서 피부 마이크로바이옴의 연구

는 매우 중요한 의미를 가지고 있다. 피부마이크로바이옴은 매우 다양하고 피부에서 구성비나 서식하는 부분이 다르지만 다양한 방법으로 상호작용을 하며 피부의 영양을 공급하거나 경쟁자인 병원균의 증식을 제한하고 있으며, 피부마이크로바이옴과 병원균의 균형이 깨지면 면역 항상성의 파괴에 기여하고 피부 질환의 발병으로 이어질 수 있다. 우리나라는 발효문화에 익숙하고 화장품 제조 기술과 마이크로바이옴을 다루는 기술은 상당히 높은 것으로 보여지며, 마이크로바이옴을 활용한 지속 가능하며 자연주의 친환경 맞춤형 화장품의 개발로 많은 발전을 이룰 수 있을 것이라고 생각된다. 하지만 장기적인 수요와 시장의 형성을 위해서는 마이크로바이옴 원료에 대한 효능이 입증되고 안전성에 대한 신뢰가 온전히 형성되도록 하는 것이 중요하고, 제도적 뒷받침이 실행되어야 한다. 현재 국내 마이크로바이옴 화장품은 미생물 생균을 바로 배합하는 것이 불법이고, 마이크로바이옴의 피부 면역 기능을 직접적으로 홍보할 수 없으나, 미국과 유럽의 경우는 생균을 배합한 화장품을 출시하며 해당 국가 화장품 산업에 상당한 기여를 하고 있다. 따라서 국내에서도 뷰티 산업의 지속적인 발전을 위해 마이크로바이옴 화장품과 관련하여 유산균 배합에 대해서는 규제를 완화하는 가이드라인이 마련하는 것이 중요하며, 이를 통해 미래의 큰 성장 가능성을 가진 마이크로바이옴 화장품 시장의 선점을 기대할 수 있을 것으로 사료되어 진다.

References

1. B. Y. Kim, "Microbiome research and industrial use", *The Korean Society for Biotechnology and Bioengineering news*, Vol.25, No.2 pp. 17-23, (2018).
2. K. A. Jang, Y. J. Hwang, H. R. Kim, K. O. Kim, Y. J. Lee, K. A. Hwang, "Research Trends in Microbiome Response to Diet Focused on Obesity", *Food Industry and Nutrition*, Vol.26, No.1 pp. 15-19, (2021).
3. M. S. Kim, D. G. Lee, M. J. Kim, S. H. Kang, "The Role and Research Trends of Skin Microbiome Improving Skin Condition", *Journal of Skin Barrier*

- Research*, Vol.23, No.2 pp. 41–42, (2021).
4. M. S. Shin, Y. K. Lee, S. Y. Choi, J. S. Hwang, P. Y. Song, H. C. Park, K. K. Kim, H. J. Son, Y. J. Kim, K. M. Lee, "Protective Effects of *Trifolium pratense* L. Extract against H₂O₂-induced Oxidative Stress in HaCaT Keratinocytes", *Journal of the Korean Applied Science and Technology*, Vol.40, No.2 pp. 223–232, (2023).
 5. S. Y. Jeong, "Skin Microbiome for Cosmetic Application", *Journal of Skin Barrier Research*, Vol.21, No.1 pp. 30–34, (2019).
 6. A. M. Lee, "Forensic application of Korean skin microbiome analysis", *Unpublished master's dissertation, Sung Kyun Kwan University*, Seoul, (2023).
 7. Y. Belkaid, J. A. Segre, "Dialogue between skin microbiota and immunity", *Science*, Vol.346, No.6212 pp. 954–959, (2014).
 8. E. A. Grice, H. H. Kong, S. Conlan, C. B. Deming, J. Davis, A. C. Young, G. G. Bouffard, R. W. Blakesley, P. R. Murray, E. D. Green, "Topographical and temporal diversity of the human skin microbiome", *Science*, Vol.324, No.5931 pp. 1190–1192, (2009).
 9. E. A. Grice, J. A. Segre, "The skin microbiome", *Nature reviews microbiology*, Vol.9, No.4 pp. 244–253, (2011).
 10. J. H. Kim, J. S. Whang, "Skin Microbiome-Based Cosmetics and Therapeutics Industry Trends", *bio economy brief*, Vol.97 (2020).
 11. S. S. Hur, "Development of Fermentation Process of Ginseng Leaf Extraction Probiotic Strain and Characterization of Product Quality", *Journal of Oil & Applied Science*, Vol.35, No.4 pp. 1213–1234, (2018).
 12. Y. A. Lee, "Skin microbiome research trends", *BRIC View*, T03 (2023).
 13. A. L. Byrd, Y. Belkaid, J. A. Segre., "The human skin microbiome", *Nature Reviews Microbiology*, Vol.16 pp. 143–155, (2018).
 14. I. J. McLoughlin, E. M. Wrigh, J. R. Tagg, R. Jain, J. D. F. Hale, "Skin Microbiome–The Next Frontier for Probiotic Intervention", *Probiotics Antimicrobial Proteins*, Vol.14 pp. 630–647, (2022).
 15. R. L Gallo, "Human Skin Is the Largest Epithelial Surface for Interaction with Microbes", *Journal of Investigative Dermatology*, Vol.137 pp. 1213–1214, (2017).
 16. H. H. Kong, J. A. Segre, "Biogeography and individuality shape function in the human skin metagenome", *Nature*, Vol.514, No.7520 pp. 59–64, (2014).
 17. K. Findley, "Topographic diversity of fungal and bacterial communities in human skin", *Nature*, Vol.498 pp. 367–370, (2013).
 18. K. T. Arnaud, K. Dorothee, S. Birgit, P. Andreas, "The epidermal lipid barrier in microbiome–skin interaction", *Trends in Microbiology*, Vol.7 pp. 723–734, (2023).
 19. Y. Lai, A. Di Nardo, T. Nakatsuji, A. Leichtle, Y. Yang, A. L. Cogen, Z. R. Wu, L. V. Hooper, R. R. Schmidt, S. V. Aulock, "Commensal bacteria regulate Toll-like receptor 3-dependent inflammation after skin injury", *Nature Medicine*, Vol.15 pp. 1377–1382, (2009).
 20. Y. Belkaid, O. J. Harrison, "Homeostatic Immunity and the Microbiota", *Immunity*, Vol. 46 pp. 562–576, (2017).
 21. A. Balato, S. Cacciapuoti, R. Di Caprio, C. Marasca, A. Masarà, A. Raimondo, G. Fabbrocini, "Human Microbiome: Composition and Role in Inflammatory Skin Diseases", *Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis*, Vol.67 pp. 1–18, (2019).
 22. S. Bajagai, Yadav, "Probiotics in animal nutrition: production, impact and regulation", Food and Agriculture Organization, (2016).
 23. G. G. Manuel, T. Marta, R. Miguel, J. Rosario, G. Pilar, S. Manuel, J. Z. Maria, O. Monica, G. Julio, D. Juan,

- "Antihypertensive effects of probiotics Lactobacillus strains in spontaneously hypertensive rats", *Molecular nutrition & food research*, Vol.59, No.11 pp. 2326–2336, (2015).
24. L. Yuying, D. Q. Tran, J. Marc Rhoads, "Probiotics in disease prevention and treatment", *The Journal of Clinical Pharmacology*, Vol.58 pp. S164–S179, (2018).
 25. A. Ljungh, T. Wadstrom, "Lactic acid Bacteria as Probiotics", *Current Issues in Intestinal Microbiology*, Vol.7, No.2 pp. 73–90, (2006).
 26. S. J. Hong, M. S. Chong, S. H. Ahn, "A Review on Effects of Probiotics in Atopic Dermatitis", *The Journal of Korean Oriental Ophthalmology & Otorhinolaryngology & Dermatology*, Vol.33, No.1 pp. 25–44, (2020).
 27. C. S. Wu, W. H. Chuo, Y. H. Chen, Y. H. Chao, C. C. Lin, Y. R. Li, W. H. Tsai, Y. K. Chen, "Lactobacillus pentosus GMNL-77 inhibits skin lesions in imiquimod-induced psoriasis-like mice", *Journal of Dermatological Science*, Vol.86, No.2 pp. 17–18, (2017).
 28. K. F. Azman, R. Zakaria, "D-Galactose-induced accelerated aging model: an overview", *Biogerontology*, Vol.20, No.6 pp. 763–782, (2019).
 29. K. M. Kim, H. Y. Kim, S. Y. Cha, Y. H. Kim, J. W. Song, S. H. Lee, "Skin Barrier-enhancing, Antiwrinkle, and Antimelanogenic Effects of Probiotic Lysates Composed of Nucleotides", *Journal of Korean Beauty Society*, Vol.27, No.6 pp. 1343–1350, (2021).
 30. V. P. Mariana, K. Lizardo, Freni, Tavarria, "Chapter 19 – Probiotics and skin health, Editor(s): Adriano Brandelli", *Probiotics, Academic Press*, pp. 389–405, (2022).
 31. H. A. Hyun, D. H. Choi, H. S. Eom, J. S. Kim, E. T. Oh, J. Y. Cho, "Effects of 8 weeks Pregnancy Pilates Exercise and Probiotics Combined Treatment on Postnatal Women's Gut-microbiota, Body Composition, Blood Lipids, Obesity Hormones, Inflammatory Indicators", *Journal of the Korean Applied Science and Technology*, Vol.37, No.4 pp. 878–892, (2020).
 32. F. H. Al-Ghazzewi, R. F. Tester, "Impact of prebiotics and probiotics on skin health", *Beneficial microbes*, Vol.5, No.2 pp. 99–107, (2014).
 33. R. G. Kerry, J. K. Patra, S. Gouda, Y. H. Park, H. S. Shin, G. Das, "Benefaction of probiotics for human health: A review", *Journal of Food and Drug Analysis*, Vol.26, No.3 pp. 927–939, (2018).
 34. H. J. Pung, "A Study on the Stability, Human Skin Safety and Efficacy of Cleanser Containing Microbiome-related Complex", Unpublished master's dissertation, Ajou University, (2023).
 35. R. M. Patel, P. W. Denning, "Therapeutic use of prebiotics, probiotics, and postbiotics to prevent necrotizing enterocolitis: what is the current evidence?", *Clinics in perinatology*, Vol.40, No.1 pp. 11–25, (2013).
 36. P. V. Panchamvedi, A. Patil, M. Monica Autiero, S. Mishra, T. Petry, "Cosmetic products containing human skin microbiome modulating ingredients – A safety assessment approach", *Toxicology Letters*, Vol. 384, No.1 pp. 24–40, (2023).
 37. D. Collins, Y. Qu, N. Huang, R. Cao, N. Pernodet, "437 Postbiotics power in supporting skin", *Journal of Investigative Dermatology*, Vol.142, No.8 Supplement, (2022).
 38. A. Wasilewski, M. Zielińska, M. Storr, J. Fichna, "Beneficial Effects of Probiotics, Prebiotics, Synbiotics, and Psychobiotic in Inflammatory Bowel Disease", *Inflammatory bowel disease*, Vol.21, pp. 1674–1682, (2015).
 39. Y. H. Kim, "Probiotics, prebiotics, Synbiotics and Human Health", *BT NEWS*, Vol.23, No.1 pp. 17–22, (2016).

40. K. Kaur, G. Rath, "Formulation and evaluation of UV protective synbiotic skin care topical formulation", *Journal of Cosmetic and Laser Therapy*, Vol.21, No.6 pp. 332-342, (2019).
41. M. Noll, M. Jäger, L. Lux, C. Buettner, M. Axt-Gadermann, "Improvement of Atopic Dermatitis by Synbiotic Baths", *Microorganisms*, Vol.9, No.3 pp. 527, (2021).
42. ALCIMED. Skin Microbiome—The Development of a Science that will Transform the Cosmetic Industry, ALCIMED: Paris, France, (2016).
43. Korea Cosmetic Association. "Cosmetic Repot" Vol.265 May, (2021).
44. The brainy insights. "Microbiome Cosmetic Products Market Size by Type (Prebiotics, Postbiotics and Probiotics), Application (Serum, Creams & Moisturizer, Toner, Oil, Mist, and Others), Distribution Channel (Specialty Stores, Exclusive brand store, Hypermarket/supermarket, Online, and Others)" Regions, Global Industry Analysis, Share, Growth, Trends, and Forecast 2022 to 2030, (2022).
45. A. Bouslimani, R. D. Silva, T. Kosciolk, "The impact of skin care products on skin chemistry and microbiome dynamics", *BMC Biology*, Vol.17 pp. 1-20, (2019).