

보도시점 2026.5.22.(금) 03:00(국제엠바고) 배포 2026. 5. 21.(목) 09:00
(2026.5.22.(금) 초간)

장(腸)이 뇌(腦)를 설득해 편식을 고친다!

- IBS 마이크로바이옴-체-뇌 생리학 연구단, 장(腸)이 뇌(腦)의 선택적 섭식 행동을 유도·조절하는 장-뇌 축 작동 원리 규명
- 비만·대사질환 치료·연구의 새로운 가능성 제시, 국제적 학술지 Science誌 게재

몸속 장(腸)이 영양 결핍 상태를 감지하고, 뇌(腦)에 신호를 보내 무엇을 먹을지 결정하는 장-뇌 간의 행동 조절 원리가 밝혀졌다.

과학기술정보통신부(부총리 겸 과학기술정보통신부 장관 배경훈, 이하 '과기정통부')는 기초과학연구원(원장 직무대행 김영덕, 이하 'IBS') 마이크로바이옴-체-뇌 생리학 연구단 서성배 단장 연구팀이 서울대학교, 이화여자대학교 공동 연구진과 함께 몸속 단백질 부족 신호를 감지한 장이 뇌의 신경회로를 바꿔 필수 아미노산을 선택·우선적으로 섭취하게 만드는 장-뇌 축* 작동 원리를 규명했다고 밝혔다.

* 장-뇌 축(gut-brain axis): 장과 뇌가 신경, 호르몬, 면역 신호 등을 통해 서로 정보를 주고받는 생리적 연결 체계

이번 연구 성과는 과기정통부의 개인기초연구사업(리더연구) 및 IBS 기초과학 연구단사업, 삼성미래기술육성사업 등으로 이어진 꾸준한 지원을 통해 맺은 결실이며 세계 최고 권위의 학술지인 사이언스(Science)誌에 5월 22일 03시 (한국시간) 온라인 게재되었다.

장(腸)은 단순 소화기관을 넘어 몸속 영양 상태와 음식 성분, 미생물, 병원균 등 다양한 정보를 감지하고, 장 분비 호르몬을 통해 혈당, 식욕, 면역 등 전신 대사를 조절하는 '제2의 뇌'로 불린다. 그러나 장에서 만들어진 신호가 어떠한 신경·호르몬 경로를 통해 뇌에 전달되고, '무엇을 먹을지'라는 행동 선택으로 이어지는지 구체적 과정은 명확히 밝혀지지 않았었다.

연구진은 이번 연구에 앞서 2021년 네이처(Nature)에 발표한 연구 결과에서 초파리가 단백질 결핍 상태가 되면 장에서 'CNMa'라는 펩타이드 호르몬이 분비되면서 단백질 음식을 선호하게 된다는 사실을 밝힌 바 있다.

* CNMa: 초파리 장에서 분비되는 펩타이드 호르몬의 하나로, 단백질 결핍 상황에서 필수 아미노산 섭취 행동을 조절하는 신호 물질

이어진 이번 연구에서는 이 CNMa 호르몬 신호가 뇌로 전달되는 경로뿐 아니라 새로운 신경 회로와 역할, 영양소 선택 원리 등 장-뇌 간 섭식 행동 조절의 원리와 과정을 밝혀내며 세계적 학술지에 연이어 등재되는 성과를 이루게 되었다.

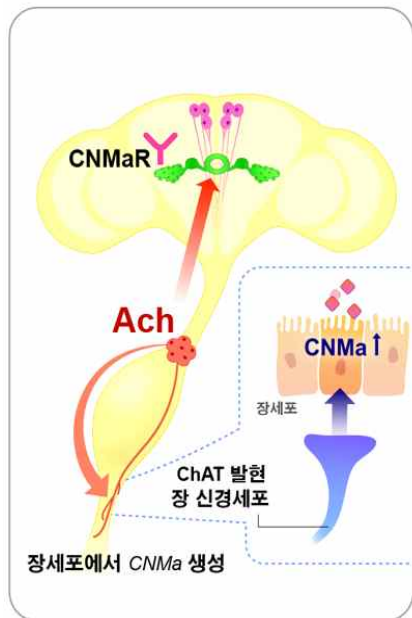
우선 연구팀은 영양 결핍에 대응하는 장-뇌 축이 단일 경로가 아닌 빠른 신경 망과 느린 호르몬 작용을 동시에 가동하는 정밀 시스템을 밝혀냈다.

장 상피세포가 단백질 부족 신호를 감지하면 먼저, 장-뇌 신경 경로를 통해 빠르게 뇌에 신호를 보내 즉각 필수 아미노산 섭취를 유도한다. 뒤이어 분비된 CNMa 호르몬은 순환계를 타고 느리게 뇌에 도달하여 단백질 선호 행동이 지속 되도록 돕는다.

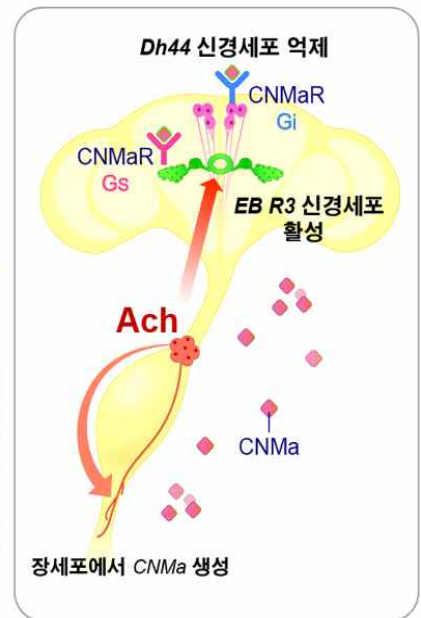
빠른 신경 경로와 느린 호르몬 경로가 서로 협력해 영양 결핍 상황에 정밀하게 대응한다는 새로운 개념을 제시한 것이다.

이어 연구진은 장 유래 CNMa 신호가 뇌에서 필수 아미노산 섭취를 촉진하는 동시에, 탄수화물(포도당) 섭취를 촉진하는 뉴런(DH44)의 활성을 억제한다는 사실도 밝혀냈다. 몸의 균형을 맞추기 위해 장과 뇌가 스스로 식단을 재조정하는 셈이다.

필수 아미노산 결핍에 빠른 반응



필수 아미노산 결핍에 느린 반응



이러한 결과는 동물이 부족한 영양소를 채우기 위해 전체 식사량을 늘리는 것이 아니라 특정 영양소를 선택하고 다른 영양소는 배제하는 선택적 섭식 행동 메커니즘을 규명했다는 점에서 주목할 만하다.

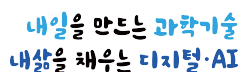
아울러 연구진은 이러한 장-뇌 축 시스템이 초파리를 넘어 포유류(생쥐)에서도 동일하게 작동함을 확인했다. 특히 기존에 단백질 결핍 반응의 핵심 호르몬으로 알려진 간 유래 호르몬(FGF21)이 없는 상태에서도 동일한 행동 반응이 유지되는 것을 확인하여 기존 호르몬에 독립적으로 작동하는 대안적 조절 시스템을 증명함으로써, 향후 인간의 식이 장애 치료에 적용할 수 있는 가능성을 대폭 높였다.

* FGF21: 간 등에서 분비되는 대사 조절 호르몬으로, 단백질 제한이나 에너지 대사 변화에 반응하는 것으로 알려짐

서성배 IBS 연구단장은 “비만·식욕 조절 약물 대부분은 장 호르몬 신호를 활용하지만, 그동안 자연 분비 장 호르몬이 뇌와 행동에 미치는 영향과 경로는 충분히 연구되지 못했다”라며, “이번 연구는 장-뇌의 영양소 선택 원리를 밝힌 것으로, 향후 비만, 대사 질환, 식이 행동 장애 치료 연구에 중요한 기반이 될 것으로 기대한다”고 밝혔다.

과기정통부 김성수 연구개발정책실장은 “새로운 생명 현상의 규명 등 기초 연구 성과는 결국 국가 과학기술 경쟁력의 단단한 뿌리가 된다”고 평가하며 “연구자들이 실패를 두려워하지 않고 독창적·혁신적 연구에 마음껏 도전하는 안정적인 연구 환경을 구축하는 데 정책적 역량을 집중하겠다”고 밝혔다.

담당 부서	과학기술정보통신부 기초연구진흥과	책임자	과 장	조종영 (044-202-4530)
		담당자	사무관	최승현 (044-202-4532)
연구 기관	기초과학연구원(IBS) 마이크로바이옴-체-뇌 생리학 연구단	교신저자	단 장	서성배 (062-715-3791)
	서울대학교 기초과학연구원	제1저자	선임연구원	김보람 (02-880-8168)



연구 추가 설명

논문/저널 /저자	<p>Complex interplay of neuronal and hormonal gut- brain responses to essential amino acid deficit / SCIENCE (2026)</p> <p>김보람 (공동제1저자/한국과학기술원), 이성주 (공동제1저자/한국과학기술원), 배혜연(한국과학기술원,IBS 마이크로바이옴-체-뇌 생리학 연구단), 김신혜 (IBS 마이크로바이옴-체-뇌 생리학 연구단), 원종훈(IBS 마이크로바이옴-체-뇌 생리학 연구단), 김동우(한국과학기술원, IBS 마이크로바이옴-체-뇌 생리학 연구단), 정병권(IBS 마이크로바이옴-체-뇌 생리학 연구단), Makoto I. Kanai (Osaka Metropolitan University), 윤성은(광주과학기술원), 오양균 (공동교신저자/이화여자대학교), 이원재 (공동교신저자/서울대학교), 서성배 (공동교신저자/IBS 마이크로바이옴-체-뇌 생리학연구단, 광주과학기술원, 한국과학기술원)</p>
연구내용 보충설명	<p>이번 연구는 필수아미노산 결핍에 대응하는 장-뇌축(gut-brain axis)이 단일 경로가 아니라, 시간적으로 서로 다른 두 개의 시스템인 '빠른 신경 회로'와 '느린 호르몬 경로'가 함께 작동한다는 점을 규명했다는 데 큰 의의가 있다. 또한 단백질이 부족한 상황에서 단순히 섭취량이 증가하는 것이 아니라, 당분 섭취를 억제하고 탄수화물 대신 필수아미노산을 우선적으로 선택하도록 행동이 재조정되는 기작을 밝혀냈다는 점에서도 차별화된다.</p> <p>연구팀은 단백질이 결핍되면 초파리 장 상피세포에서 분비되는 CNMa 펩타이드가 뇌에서 CNMa 수용체(CNMa receptor, CNMaR)를 발현하는 특정 뉴런인 ellipsoid body(EB) R3m 뉴런을 활성화시켜 필수아미노산에 대한 선택적 섭취 행동을 증가시킨다는 사실을 규명했다. 반대로 해당 뉴런의 기능을 억제할 경우, 필수아미노산 선호 행동은 사라졌다.</p> <p>또한 연구팀은 CNMa 신호가 CNMaR을 발현하는 DH44 뉴런의 활성을 억제해 탄수화물 섭취 행동을 감소시킨다는 사실도 확인했다. 이를 통해 동물이 필수아미노산이 부족한 상황에서는 탄수화물보다 필수아미노산을 우선적으로 선택하도록 유도된다는 점을 밝혔다. 이러한 CNMa 기반의 호르몬 반응은 비교적 느리게 작동하지만, 단백질 결핍 상태에서 필수아미노산 섭취 행동을 장시간 유지시키는 역할을 한다.</p> <p>특히 이번 연구에서는 장에서 뇌로 직접 연결되는 빠른 콜린성(cholinergic) 기반의 신경 회로가 존재한다는 사실도 새롭게 밝혀냈다. 연구팀은 CNMaR을 발현하는 장 뉴런이 아세틸콜린(acetylcholine)을 이용해 단백질 부족 신호를 뇌로 빠르게 전달함으로써 초기 필수아미노산 섭취 행동을 유도한다는 점을 확인했다. 즉, 장-뇌축이 '빠른 신경 반응'과 '느린 호르몬 반응'이라는 두 가지 시스템을 조합해 영양 결핍 상황에 정밀하게 대응한다는 새로운 개념을 제시한 것이다.</p> <p>연구진은 이러한 필수아미노산 특이적 섭취 행동이 초파리뿐 아니라 생쥐 모델에서도 보존되어 있음을 확인했다. 생쥐 역시 단백질이 부족한 상황에서 필수</p>

	<p>아미노산에 대한 선택적 섭취 행동을 보였으며, 이러한 반응은 기존에 단백질 결핍 반응의 핵심 호르몬으로 알려진 FGF21이 결핍된 상태에서도 유지되었다. 이는 필수아미노산 섭취 행동이 기존의 FGF21 중심 경로와는 독립적인 새로운 장-뇌축 조절 시스템에 의해 제어될 가능성을 시사하는 중요한 발견이다.</p> <p>현재까지 다양한 기능을 수행하는 장 호르몬들이 어떠한 방식으로 뇌에 영향을 미치는지는 명확히 밝혀지지 않았다. 예를 들어, 식욕과 혈당 조절에 관여하는 호르몬인 GLP-1은 장에서 생성되지만 수 분 내에 빠르게 분해되기 때문에, 혈액순환을 통해 이동한 뒤 혈액-뇌 장벽(BBB)*을 통과해 뇌의 GLP-1 수용체에 직접 작용할 만큼 충분한 농도로 도달하기 어려운 것으로 알려져 있다. 이는 내인성 GLP-1 역시 단순한 혈액순환뿐 아니라 직접적인 장-뇌축 신경 경로를 통해 신호를 전달할 가능성을 시사한다. 반면 GLP-1 작용제인 위고비(Wegovy)와 삭센다(Saxenda)는 체내에서 훨씬 안정적으로 장시간 유지되기 때문에 뇌에 직접 작용할 가능성이 높은 것으로 여겨진다.</p> <p>* 혈액-뇌 장벽(Blood-Brain Barrier, BBB) : 혈액 속 물질이 뇌로 이동하는 것을 선택적으로 제한하는 보호 장벽</p> <p>연구팀은 이번 연구가 장-뇌축 기반 치료 전략 개발은 물론, 비만·대사질환·영양 불균형과 관련된 후속 연구에도 중요한 단서를 제공할 것으로 기대하고 있다.</p>
<p style="text-align: center;">연구 이야기</p>	<p>[연구과정]</p> <p>본 연구는 필수아미노산 결핍 신호가 장에서 시작해 뇌 회로와 행동으로 이어지는 과정을 규명하기 위해, 유전학적 조작·세포생리·회로 분석·행동 실험을 통합한 다층적 접근을 사용하였다.</p> <p>먼저 연구팀은 CNMaR을 발현하는 뉴런들을 비편향적 스크리닝으로 탐색해 초파리 뇌의 ellipsoid body(EB) 영역에 존재하는 R3m 뉴런을 핵심 표적으로 규명하고, 이 뉴런에 대해 칼슘이미징(calcium imaging)·전기생리학·약리학적 조작을 통해 CNMa에 의한 활성화 메커니즘을 정밀하게 분석했다. 또한 탄수화물 섭취 행동과 관련된 DH44 뉴런 역시 CNMa 신호에 의해 억제된다는 사실을 칼슘이미징으로 확인해 두 뉴런 집단의 상반된 반응을 입증했다.</p> <p>이어 연구팀은 CNMa⁺ 장신경을 표지한 뒤, 특정 뉴런만 선택적으로 활성화하는 P2X₂ 기반 실험 기법을 이용해 장에서 EB로 전달되는 빠른 신경 신호를 실시간 칼슘이미징으로 기록했다. 또한 신경 전기신호를 차단하는 물질인 TTX(tetrodotoxin)와 콜린성 길항제를 이용해, 이 경로가 아세틸콜린(acetylcholine)에 의존한 실제 시냅스 전달이라는 점도 검증했다.</p> <p>마지막으로 이러한 회로적 조절이 실제 행동으로 어떻게 이어지는지를 섭취 행동 분석 실험으로 확인했으며, 동일한 필수아미노산 선택 행동이 생쥐에서도 관찰된다는 점을 추가 실험으로 입증함으로써, 장-뇌축 기반 영양 감지 시스템이 종을 넘어 보존된다는 사실을 제시했다.</p>

[어려웠던 점]

이번 연구는 핵심 회로를 규명하는 과정에서 여러 기술적 어려움이 있었다. CNMaR 발현 뉴런을 비편향적으로 스크리닝하는 데 예상보다 많은 시간이 소요됐고, EB R3m 및 DH44 뉴런의 반응을 정밀하게 측정하기 위해 칼슘 이미징, 전기생리학, 약리학적 접근을 모두 적용해야 했다. 이 과정에서 다양한 장비와 실험 조건을 여러 차례 처음부터 다시 구축해야 하는 어려움도 있었다.

특히 장신경-EB 연결은 선행 연구가 거의 없어 실제로 신호가 검출될지조차 확신하기 어려운 상태에서 조건을 하나씩 구축해야 했다. 빠르고 미세한 신호를 안정적으로 기록하기까지 많은 실험적 탐색이 필요했으며, 단백질 결핍 조건에서 나타나는 섭식 행동 역시 환경 변화에 매우 민감해 재현성 있는 행동 실험 조건을 정립하는 데 상당한 시간이 소요되었다.

[성과 및 차별점]

필수아미노산 결핍을 미각이 아닌 장 내부에서 어떻게 감지하고, 그 신호가 특정 영양소를 선택적으로 섭취하는 행동으로 이어지는지는 거의 알려져 있지 않았다. 연구팀은 이전 연구에서 장 상피세포가 필수아미노산 결핍에 반응해 CNMa를 분비한다는 사실을 밝혔지만, 이 신호가 어떤 뇌 회로를 조절해 필수아미노산 특이적 섭식 행동을 유도하는지는 규명되지 않은 상태였다.

이번 연구는 CNMa가 빠르게 작동하는 장신경 경로와 지속적으로 작동하는 호르몬 경로라는 두 축을 통해 뇌에 도달하며, EB R3m 뉴런 활성화와 DH44 뉴런 억제를 통해 필수아미노산 섭취를 높이고 탄수화물 섭취를 줄이는 회로적 원리를 규명했다.

특히 필수아미노산 결핍에 반응하는 CNMa⁺ 장신경이 EB로 직접 신경 신호를 전달한다는 점을 실험적으로 입증함으로써, 하나의 장 신호가 서로 다른 시간적 스케일의 두 경로를 통해 선택적 섭식 행동을 조절한다는 새로운 모델을 제시했다.

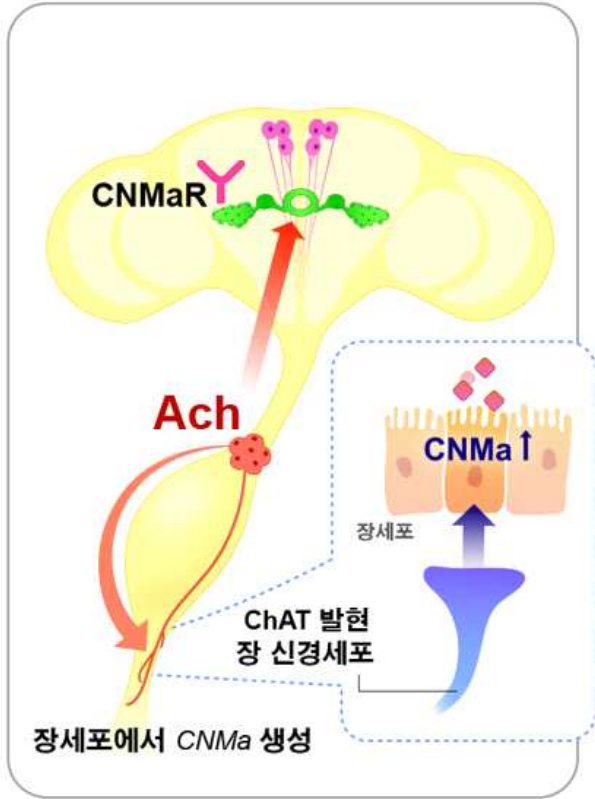
나아가 이러한 필수아미노산 선택 행동이 생쥐에서도 나타나며 기존 FGF21 경로와 독립적으로 유지된다는 점을 확인함으로써, 이러한 행동이 종을 넘어 보존된 영양 감지-섭식 조절 메커니즘임을 보여준다는 점에서도 중요한 의의가 있다.

[향후 연구 계획]

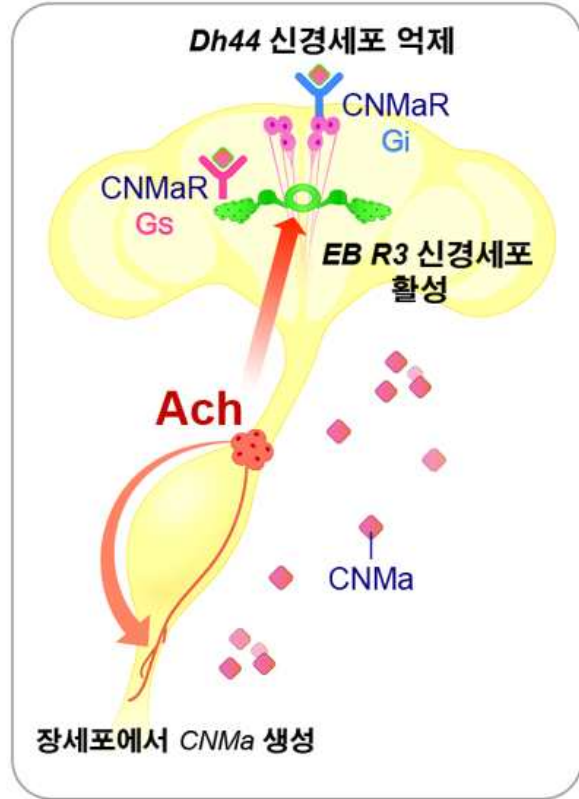
향후 연구에서는 단백질 결핍이 필수아미노산 선택 행동 외에 다른 섭식-비섭식 행동에도 어떤 변화를 유도하는지 그 범위를 확장해 규명할 계획이다. 더불어 초파리에서 밝혀낸 CNMa 기반의 장-뇌 신호 체계가 포유류에서도 보존되어 있는지를 확인하기 위해, 생쥐 장 조직에서 CNMa와 기능적으로 대응하는 신호 분자를 탐색하고, 장에서 뇌로 전달되는 빠른 신경 경로와 느린 호르몬 경로가 각각 어떤 분자-세포 기전에 의해 구성되는지를 체계적으로 분석할 예정이다. 이를 통해 종을 넘어 보존된 영양 감지 메커니즘을 보다 정밀하게 밝혀 보편적 원리를 제안하는 것을 목표로 한다.

그림 설명

필수 아미노산 결핍에 빠른 반응



필수 아미노산 결핍에 느린 반응



[그림] 필수 아미노산 결핍에 대한 장-뇌 축의 신경·호르몬 조절 메커니즘

필수아미노산(essential amino acid, EAA)이 부족해지면 초파리 장 상피세포에서 CNMa 펩타이드 분비가 증가한다. 증가한 CNMa는 먼저 CNMaR⁺ 콜린성 장신경을 활성화해, 뇌의 EB R3m 뉴런으로 단백질 부족 신호를 빠르게 전달한다. 또한 이러한 장신경은 장 상피세포에서 CNMa 생성 자체를 더욱 증가시키는 양성 (positive) 피드백 루프를 형성한다.

한편, 장에서 유래한 CNMa는 호르몬처럼 작용해 뇌의 EB R3m 뉴런을 직접 활성화함으로써 필수아미노산 섭취를 촉진한다. 동시에 탄수화물 섭취와 관련된 DH44 뉴런의 활성을 억제해 탄수화물 섭취를 감소시킨다. 즉 장-뇌축은 빠른 신경 반응과 느린 호르몬 반응을 함께 활용해, 부족한 영양소를 우선적으로 섭취하도록 행동을 조절한다.

연구진 이력사항

<서성배 IBS 마이크로바이옴-체-뇌 생리학 연구단장, 교신저자>

1. 인적사항

- 소 속 : IBS 마이크로바이옴-체-뇌 생리학 연구단장
- 전 화 : 062-715-3790
- e-mail : seongbaesuh@gist.ac.kr



2. 학력

- 1993 학사, University of California, Berkeley, Molecular and Cellular Biology
- 2001 박사, University of California, Los Angeles, Genetics and Neural development
- 2007 박사후연구원, California Institute of Technology, Behavioral Neurobiology

3. 경력사항

- 2002 - 2007 California Institute of Technology, 박사 후 연구원
- 2008 - 2013 NYU School of Medicine, Skirball Institute, Cell Biology, 조교수
- 2013 - 2015 NYU School of Medicine, Skirball Institute, Cell Biology, 부교수
- 2011 - 2020 New York University, Center for Neural Science, 겸임교수
- 2015 - 2018 NYU School of Medicine, Skirball Institute, Cell Biology, Neuroscience Institute, 부교수
- 2018 - NYU School of Medicine, 겸임교수
- 2015 - 2022 KAIST 생명과학과, 부교수
- 2022 - 2025 KAIST 생명과학과, 교수
- 2025 - 현재 GIST 융합신경생리학과, 교수
- 2025 - 현재 IBS 마이크로바이옴-체-뇌 생리학 연구단, 연구단장

4. 전문 분야 정보

- 2019 KAIST 우수 연구 성과 Top 10 선정
- 2015 Ajinomoto Prize - Young investigator in Gustation sponsored by Association of Chemoreception Sciences
- 2011-2016 Irma T. Hirschl/ Monique Weill-Caulier Research Award
- 2010-2012 Klarman Family Foundation
- 2009-2011 Whitehall Foundation
- 2008-2009 Whitehead Presidential Award
- 2008-2010 Alfred P. Sloan Foundation Fellow
- 2006-2007 Howard Hughes Medical Institute Research Fellowship
- 2003-2005 National Research Service Award
- 2002-2003 Caltech Divisional Fellowship

<이원재 서울대학교 생명과학부 교수, 공동교신저자>

1. 인적사항

- 소 속 : 서울대학교 생명과학부 교수
- e-mail : lwj@snu.ac.kr



2. 학력

- 1991 석사, Laboratoire de Chimie Biologique, Université de Paris VI, France
- 1994 박사, Institut Pasteur de Paris - Université de Paris VI, France

3. 경력사항

- 1994 - 1996 Institut Pasteur de Paris, 박사 후 연구원
- 1996 - 2001 연세대학교 의과대학, 조교수
- 2001 - 2010 이화여대 생명약학부, 부교수 및 교수
- 2010 - 2011 이화여대 생명과학부, 석좌교수
- 2006 - 2015 생체공생시스템 창의연구단, 단장
- 2015 - 2024 홀로지노믹스 창의연구단, 단장
- 2019 - 현재 한국과학기술한림원, 정회원
- 2011 - 현재 서울대학교 생명과학부, 교수

4. 전문 분야 정보

- Gut microbiome
- Gut Innate Immunity
- Gut-Brain Axis

<오양균 이화여자대학교 생명과학과 부교수, 공동교신저자>

1. 인적사항

- 소 속 : 이화여자대학교 생명과학과 부교수
- 전 화 : 02-3277-5046
- e-mail : yangkyun@ewha.ac.kr



2. 학력

- 2007 학사, KAIST 생명과학과
- 2013 박사, KAIST 생명과학과

3. 경력사항

- 2013 - 2015 KAIST 박사 후 연구원
- 2015 - 2022 NYU School of Medicine, Postdoc Fellow
- 2022 - 2024 이화여대 생명과학과, 조교수
- 2024 - 현재 이화여대 생명과학과, 부교수

4. 전문 분야 정보

- 2026 KSMCB 초파리분과 총무위원
- 2026 KSBNS 학술위원
- 2026 KSBMB 홍보위원
- 2026 한국유전학회 국제학술대회 추진위원회 부위원장
- 2025 2025 ICGSK Rising Star Awards
- 2024 KSMCB 동계학술대회 위원

<김보람 서울대학교 기초과학연구원 선임연구원, 제1저자>

1. 인적사항

- 소 속 : 서울대학교 기초과학연구원 선임연구원
- e-mail : boram0924@snu.ac.kr



2. 학력

- 2010 학사, 이화여자대학교 생명과학과
- 2012 석사, 이화여자대학교 생명과학
- 2019 박사, 서울대학교 생명과학

3. 경력사항

- 2020 - 2026 한국과학기술원 생명과학연구소 연수연구원
- 2026 - 현재 서울대학교 기초과학연구원 선임연구원

4. 전문 분야 정보

- 2021 한국 로레알-유네스코 여성과학자상
- 2022 다한우수논문상, 한국뇌연구원

<이성주 Yale University, Postdoctoral Associate, 공동제1저자 >

1. 인적사항

- 소 속 : Yale University, Department of Immunobiology
- e-mail : seongju.lee@yale.edu



2. 학력

- 2017 학사, 고려대학교 생명과학부
- 2025 박사, 한국과학기술원 (KAIST) 생명과학과

3. 경력사항

- 2025 한국과학기술원 (KAIST) 생명과학연구소 연수연구원
- 2025 - 현재 Yale University, Department of Immunobiology, Postdoctoral Associate

4. 전문 분야 정보

- 2024 BK21 FOUR BioKAIST Initiative 최우수 구두 발표상
- 2023 KSBNS (Korean Society for Brain and Neural Sciences) 포스터 우수 발표상
- 2022 Humanity/Leadership III <Neuroscience 101>, KAIST 우수강의상