농촌진흥청 보도자료 대체불가 대한민국

보도 시점 2026. 11. 2.(월) 11:00 / 11. 3.(화) 조간 배포 2026. 11. 2.(월) 06:00

대마 기능성 성분 '칸플라빈' 생산 적합한 숙주-효소 조합 확인

- 농촌진흥청, 효모와 담배에서 '칸플라빈' 생성 효소 확인
- 효모-대마 유래 효소, 담배-미생물 유래 효소가 칸플라빈 생산 적합 조합
- 생산 생물-효소 조합, 생합성 단계 연결…유용 천연물을 생명공학 기술로 생산하는 연구 확대할 것

농촌진흥청(청장 이승돈)은 어떤 숙주 생물을 이용하느냐에 따라 대마에 소량 존재하는 기능성 성분 '칸플라빈' 생성 활성이 달라지는 것을 확인했다.

칸플라빈은 대마에서 생성되는 천연물로, 대표적으로 칸플라빈 에이(A)와 비(B)가 있다. 다양한 생리활성이 보고된 이들의 활용 가능성이 연구되고 있으나, 대마에 0.02% 미만(건조 중량 기준)으로 매우 적게 존재해 식물에서 직접 추출하는 것으로는 충분한 양을 확보하기 어렵다.

이에 연구진은 직접 칸플라빈을 추출하는 대신 효모나 식물 등 다른 생물을 이용해 칸플라빈을 생성하는 방법에 주목했다. 효모와 실험용 담배(*Nicotiana benthamiana*)에서 식물과 미생물 유래 후보 효소 6종을 각각 추출하고, 이 효소들이 효모와 담뱃잎에서 칸플라빈을 생성하는지 비교했다.

그 결과, 효모에서는 대마 유래 프레닐 전달효소(CsPT) 3가 칸플라빈 에이(A)와 비(B)를 생성했다. 프레닐 전달효소 앞부분의 일부 서열을 제거한 변형 효소(cytCsPT3)를 사용했을 때는 기존 효소보다 칸플라빈 에이(A)와 비(B) 생성이 더 뚜렷했다.

이는 식물 유래 효소를 다른 생물에서 이용할 때 그 생물의 특성에 맞게 효소 구조를 조정하는 것이 원하는 물질 생산에 도움이 될 수 있음을 보여준다.

담배에서는 미생물에서 유래한 효소(NphB)가 칸플라빈 에이(A)를 만드는 데 적합한 것으로 나타났다. 이를 통해 연구진은 칸플라빈 생산에 활용할 효소를 선정할 때는 효소를 생산하는 생물인 '숙주'와의 조합도 함께 고려해야 함을 확인했다.

연구진은 효소 활성을 확인하는 시험법도 구축했다. 시험 결과, 산도(pH) 9.0에서 칸플라빈 에이(A)가 안정적으로 생성됐으며, 담뱃잎에서 미생물 유래 효소(NphB)가 많이 만들어질수록 칸플라빈 생성량도 증가하는 경향을 보였다.

연구 결과는 국제학술지 Biotechnology for Biofuels and Bioproducts (IF 6.0)에 게재됐으며, 특허 출원*도 완료됐다. 앞으로 칸플라빈 등 유용 천연물 생산에 적합한 효소와 생산 생물을 찾는 데 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

* 효모 또는 식물 기주 시스템 맞춤형 프레닐기 전달효소를 활용한 칸플라빈 A 생산 방법(10-2025-0158399)

농촌진흥청 식물소재바이오공학과 신공식 과장 직무대리는 "이번 연구로 천연물을 생명공학 기술로 생산할 때 효소 자체의 성능뿐만 아니라 효소와 숙주 생물의 조합도 중요함을 확인했다."라며, "앞으로 효소 성능을 높이고 칸플라빈 생성에 필요한 여러 과정을 하나의 생산 체계로 연결해 직접 확보하기 어려운 유용 천연물 생산 연구에 활용할 계획이다."라고 말했다.

붙임. 효모와 담배에서 달라지는 칸플라빈 생성 효소의 활성

담당 부서	국립농업과학원 식물소재바이오공학과	책임자	과 장 (직무대리)	신공식 (063-238-4615)
		담당자	연구사	이샛별 (063-238-4625)



대한민국 정책브리핑

대체불가 대한민국

OPEN 출처표시 공공누리 공공저작물 자유이용허락

붙임 **효모와 담배에서 달라지는 칸플라빈 생성 효소의 활성**

1. 연구 배경

□ 필요성

○ 칸플라빈은 대마에 존재하는 플라보노이드계 천연물로, 항염증 등 다양한 생리활성이 보고돼 기능성·의약 소재 후보로 연구되고 있음

○ 칸플라빈 A와 B는 대마 식물체에 들어 있는 양이 적어 직접 추출만으로 충분한 양을 확보하는 데 한계가 있음

* 칸플라빈 함량: 건조한 식물 1g당 0.2mg 미만

○ 따라서 효모나 식물 등 다른 생물을 이용해 칸플라빈을 만드는 생명공학적 생산 전략 연구가 필요함

□ 연구 목표

○ 식물·미생물 유래 후보 효소 6종이 효모와 담배에서 어떻게 작동하는지 비교

○ 칸플라빈 생성에 적합한 효소와 생산 생물의 조합을 찾고, 담뱃잎 추출물을 이용한 간단한 효소 시험법 구축

2. 주요 연구 결과

□ 효모에서는 대마 유래 프레닐 전달효소(CsPT) 3가 칸플라빈 A와 B 생성

○ 식물과 미생물에서 유래한 후보 효소 6종을 효모에서 만들어 칸플라빈 생성 여부를 비교

○ 대마 유래 프레닐 전달효소 3가 칸플라빈 A와 B를 생성하는 것을 확인

□ 효소 앞부분 일부를 제거하자 칸플라빈 생성이 더 뚜렷

○ 프레닐 전달효소 3의 앞부분 일부 서열을 제거한 변형 효소(cytCsPT3)를 제작

○ 동일한 시험 조건에서 변형 효소 cytCsPT3의 칸플라빈 A와 B 생성 피크가 기존 프레닐 전달효소 3보다 크게 나타남

○ 다른 생물에서 식물 효소를 사용할 때 그 생물의 특성에 맞게 효소를 조절하는 것이 중요할 수 있음을 확인

□ 담배에서는 미생물 유래 NphB가 칸플라빈 A 생성

○ 담뱃잎에서 후보 효소를 만든 뒤 잎 추출물을 이용해 비교한 결과,

미생물 유래 NphB와 식물 발현에 맞춘 NphB_Nb에서 칸플라빈 A 생성 확인

○ NphB를 만든 담뱃잎 추출물을 이용한 시험에서 pH 9.0에서 칸플라빈 A가 안정적으로 생성됐으며, NphB 단백질이 많이 만들어질수록 생성량도 증가하는 경향을 확인

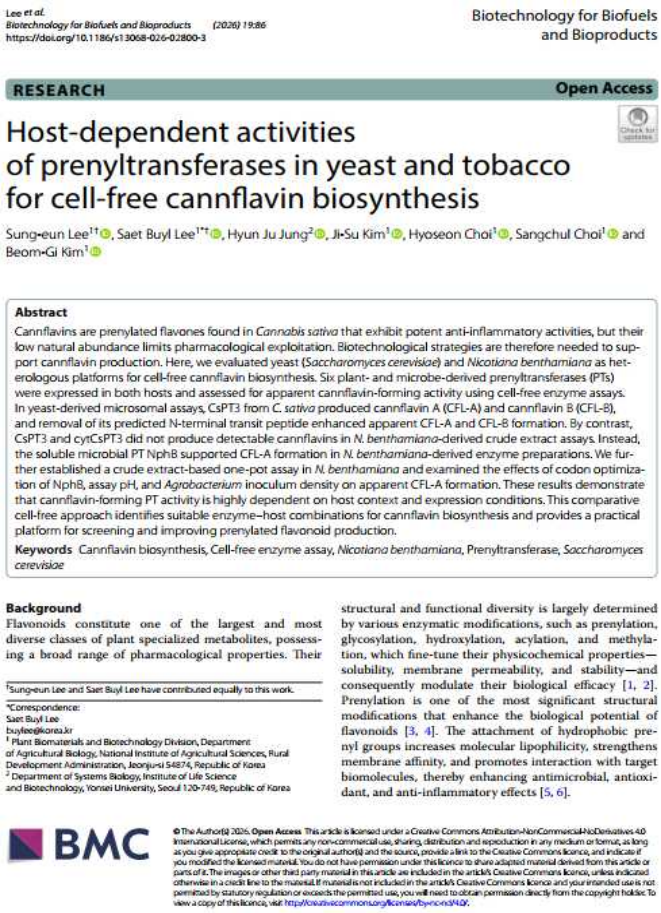
3. 성과 및 기대효과

□ 학술적 연구 성과

○ 연구 결과는 국제학술지 Biotechnology for Biofuels and Bioproducts (2026, IF 6.0)에 게재됐으며, 관련 기술은 국내 특허로 출원함 (10-2025-0158399)

□ 기대효과

○ 칸플라빈 등 식물에 소량 존재하는 유용 천연물 생산에 적합한 효소와 생산 생물을 찾는 데 활용할 수 있으며, 향후 효소 개량과 여러 생합성 단계를 연결하는 합성생물학·대사공학 연구로 확대 가능



Lee et al.
Biotechnology for Biofuels and Bioproducts (2026) 19:86
https://doi.org/10.1186/s13068-026-02800-3

Biotechnology for Biofuels and Bioproducts

RESEARCH Open Access

Host-dependent activities of prenyltransferases in yeast and tobacco for cell-free cannflavin biosynthesis

Sung-eun Lee[1†], Saet Buyl Lee[1*†], Hyun Ju Jung[2], Ji-Su Kim[1], Hyoseon Choi[1], Sangchul Choi[1] and Beom-Gi Kim[1]

Abstract

Cannflavins are prenylated flavones found in *Cannabis sativa* that exhibit potent anti-inflammatory activities, but their low natural abundance limits pharmacological exploitation. Biotechnological strategies are therefore needed to support cannflavin production. Here, we evaluated yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) and *Nicotiana benthamiana* as heterologous platforms for cell-free cannflavin biosynthesis. Six plant- and microbe-derived prenyltransferases (PTs) were expressed in both hosts and assessed for apparent cannflavin-forming activity using cell-free enzyme assays. In yeast-derived microsomal assays, CsPT3 from *C. sativa* produced cannflavin A (CFL-A) and cannflavin B (CFL-B), and removal of its predicted N-terminal transit peptide enhanced apparent CFL-A and CFL-B formation. By contrast, CsPT3 and cytCsPT3 did not produce detectable cannflavins in *N. benthamiana*-derived crude extract assays. Instead, the soluble microbial PT NphB supported CFL-A formation in *N. benthamiana*-derived enzyme preparations. We further established a crude extract-based one-pot assay in *N. benthamiana* and examined the effects of codon optimization of NphB, assay pH, and *Agrobacterium* inoculum density on apparent CFL-A formation. These results demonstrate that cannflavin-forming PT activity is highly dependent on host context and expression conditions. This comparative cell-free approach identifies suitable enzyme–host combinations for cannflavin biosynthesis and provides a practical platform for screening and improving prenylated flavonoid production.

Keywords Cannflavin biosynthesis, Cell-free enzyme assay, *Nicotiana benthamiana*, Prenyltransferase, *Saccharomyces cerevisiae*

Background

Flavonoids constitute one of the largest and most diverse classes of plant specialized metabolites, possessing a broad range of pharmacological properties. Their structural and functional diversity is largely determined by various enzymatic modifications, such as prenylation, glycosylation, hydroxylation, acylation, and methylation, which fine-tune their physicochemical properties—solubility, membrane permeability, and stability—and consequently modulate their biological efficacy [1, 2]. Prenylation is one of the most significant structural modifications that enhance the biological potential of flavonoids [3, 4]. The attachment of hydrophobic prenyl groups increases molecular lipophilicity, strengthens membrane affinity, and promotes interaction with target biomolecules, thereby enhancing antimicrobial, antioxidant, and anti-inflammatory effects [5, 6].

†Sung-eun Lee and Saet Buyl Lee have contributed equally to this work.

*Correspondence:
Saet Buyl Lee
buylee@korea.kr
[1] Plant Biomaterials and Biotechnology Division, Department of Agricultural Biology, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Jeonju-si 54874, Republic of Korea
[2] Department of Systems Biology, Institute of Life Science and Biotechnology, Yonsei University, Seoul 120-749, Republic of Korea

BMC

© The Author(s) 2026. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License, which permits any non-commercial use, sharing, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if you modified the licensed material. You do not have permission under this licence to share adapted material derived from this article or parts of it. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/.

게재 논문 표지