

보도자료

보도일시	즉시/제한없음
	2024. 1. 29.(월)
문의	연구책임자 농생명공학부 송영훈 교수(02-880-4649) / 교신저자
	연구진 강혜원, 김하연 대학원생(02-880-4659) / 공동 제1저자

■ 제목/부제

제목	국문	낮은 온도에 의한 억제와 원적색광에 의한 유도가 오전 중 <i>FLOWERING LOCUS T</i> 발현 수준을 결정하는 메커니즘
	영문	Low temperature-mediated repression and far-red light-mediated induction determine morning <i>FLOWERING LOCUS T</i> expression levels

■ 요약

연구 필요성	식물은 빛과 주위 온도를 감지하여 적절한 시기에 개화함으로써 번식을 최대화한다. 그러나 지금까지의 개화시기 조절에 관한 연구를 위해 사용된 실험실의 장일조건(LDs)은 실제 자연의 장일조건(Natural LDs)과 비교했을 때, 크게 광질과 온도 측면에서 상이했다. 애기장대를 대상으로 한 실험에서, 실제로 두 조건에서 개화 유도 신호를 암호화하는 <i>FLOWERING LOCUS T (FT)</i> 유전자의 발현 양상이 다르게 나타남을 선행연구를 통해 확인하였다. 특히 자연환경에서는 실험실 조건에서 보여주는 높은 수준의 오후 발현뿐만 아니라 오전에도 매우 높게 발현되고 있고, 그 결과 더 이른 개화시기 표현형을 유도하고 있음을 규명하였다. 하지만 분자적 수준에서 오전의 <i>FT</i> 발현 유도와 관련된 조절 메커니즘은 잘 밝혀져 있지 않았기에, 이를 규명하는 연구를 수행하였다.
연구성과/기대효과	해당 연구에서는 개화시기를 결정하는 핵심 환경요인(광질 및 온도 변화)을 활용하여 자연과 유사한 조건을 생장실에서 구현함으로써 식물이 어떻게 환경변화를 인식하여 개화시기를 조정할 수 있는지를 밝혔다. 애기장대의 청색광수용체인 ZEITLUPE (ZTL) 단백질이 낮은 온도에 반응해서 TARGET OF EATs (TOEs) 단백질과 복합체를 형성하여 개화유전자인 <i>FT</i> 의 발현을 오전 중에 억제한다는 것을 확인하였다. 이는 봄과 같이 온도가 낮은 (개화에 적합하지 않은) 계절에 개화를 억제하는 메커니즘으로 작용될 수 있음을 의미한다. 개화에 적합한 온화한 계절이 오면 태양광에 풍부하게 존재하는 원적색광이 광수용체인 phytochrome A를 활성화시켜 ZTL의 안정성을 낮추고, 또한 <i>FT</i> 유전자의 발현 촉진자인 GIGANTEA 단백질의 축적을 증가시킴으로써 ZTL의 기능을 억제하고 있음을 발견하였다. 이러한 개화 억제와 촉진 메커니즘 사이의 균형 조절이 식물이 개화시기를 섬세하게

	조절하는데 중요함을 제시하였다. 대부분의 연구자들이 사용하는 단순화된 실험실 조건에서는 관찰하기 어려웠던 실제 자연환경에서의 개화시기 조절에 대한 이해의 폭을 넓히고 이와 함께 관련 연구가 더욱 활발히 이뤄질 수 있을 것으로 기대된다.
Journal Link	https://doi.org/10.1111/jipb.13595

■ 본문

Low temperature-mediated repression and far-red light-mediated induction determine morning *FLOWERING LOCUS T* expression levels

Hayeon Kim[§], Hye Won Kang[§], Dae Yeon Hwang, Nayoung Lee, Akane Kubota, Takato Imaizumi, and Young Hun Song*

[*Journal of Integrative Plant Biology*, 66(1)]

□ 자연 장일조건에서 ZTL에 의한 오전 중 *FLOWERING LOCUS T* (*FT*) 억제 메커니즘 발견

- 청색광수용체인 ZEITLUPE (ZTL)이 자연환경을 모방한 장일조건 (LD+FR+temp)에서 오전에만 특이적으로 *FT* 유전자의 발현을 억제한다는 것을 밝혀냈다.
- 일반적으로 사용하는 실험실의 장일조건 (LD)은 적색광 (red light)이 풍부한 인공광 (형광등, LED 등)과 향온 조건을 사용하고 있다. 이에 비해 LD+FR+temp 조건에서는 적색광 대 원적색광 (far-red)의 비율을 태양광과 유사하게 맞추었고, 하루 중의 온도 또한 실제 변화를 그대로 적용하였다.
- 기존의 LD에서와는 달리 LD+FR+temp에서 야생형 식물에 비해 *ztl* 돌연변이 식물체에서 오전에만 *FT* 발현 수준이 높게 나타났으며, 개화 시기가 앞당겨지는 것을 확인하였다.
- *FT*의 전사억제자로 알려진 TARGET OF EATs (TOEs) 단백질들과 ZTL이 LD에 비해 LD+FR+temp 조건에서 복합체를 더 많이 형성하고 있음을 발견하였다.
- 뿐만 아니라 *toe1 toe2* 이중돌연변이체에서 *FT* 유전자의 발현 양상이 LD+FR+temp 조건에서만 *ztl* 돌연변이와 매우 유사함을 볼 때 이들의 복합체 형성이 오전 특이적으로 *FT* 발현 억제에 중요함을 유추할 수 있었다.

□ 오전 중 *FT*의 발현을 유도하는 원적색광의 작용 기작 규명

- 환경요인들 중에서 적색:원적색광 비율 및 하루 중 대기온도 변화가 미치는 영향을 분석한 결과 밤부터 이른 오전까지의 낮은 온도는 오전에 *FT*의 축적을 억제하고, 반대로 원적색광은 *FT*의 축적을 촉진함을 확인하였다.

- 원적색광은 ZTL과 GIGANTEA (GI) 사이의 복합체 형성을 억제하고 GI 단백질의 축적을 촉진하는데, 증가된 GI가 오전 중 FT의 축적에 중요함을 발견하였다.
- 또한 원적색광을 흡수하는 광수용체인 phytochrome A (phyA)가 ZTL 단백질의 안정성을 낮추고 있음을 규명하였다.
- 따라서, 원적색광은 GI와 phyA의 기능을 용이하게 함으로서 ZTL에 의한 FT 억제 효과를 상쇄하고 개화를 유도할 수 있음을 유추할 수 있었다.

□ 용어설명

- LD+FR+temp: 자연에서 개화를 결정하는 핵심요인들인 적색:원적색광 비율 (1:1)과 대기온도 변화를 기존의 실험실 장일조건 (LD)에 적용한 식물 성장 환경이다. 형광등 및 LED와 같은 광원들이 적색광을 많이 포함하고 있기에 원적색광을 추가하여 태양광과 유사하게 적색광:원적색광 비율을 1:1 설정하였다. 또한, 하루종일 동일한 온도 (22℃ 등)를 사용하기 보다는 16℃에서 23℃ 범위내에서 자연에서 나타나는 하루를 주기로 하는 온도변동을 적용하였다.