

首页 > 科研进展 > 2022年

郭房庆研究组破解植物感知高温的信号“密码”和传导机制，助力应对全球变暖下粮食安全挑战

为了抵御高温的伤害，高等植物启动自身防卫热激反应的第一步是迅速感知环境温度的升高。尽管经过将近三十年的广泛而系统的植物高温胁迫信号传导和耐热性形成分子机制方面的研究，目前人们对于高等植物如何感知高温-热的原初信号事件以及分子机制方面的了解仍然非常有限。基于前人的归纳和总结，关于高等植物感知热的原初信号事件，有三个基础且具有很高挑战性的科学问题尚待解答：（1）植物如何感知热；（2）热信号的本质（the nature of heat signal）是什么；（3）产生的热信号是如何被接受和传导的。

中国科学院分子植物科学卓越创新中心植物分子遗传国家重点实验室郭房庆研究组经过十年的艰辛探索，在解析植物感知高温分子机制方面取得突破性进展。2022年4月18日，相关成果以“A nitric oxide burst at the shoot apex triggers a heat-responsive pathway in Arabidopsis”为题在线发表于国际植物生物学权威学术期刊 *Nature Plants* 《自然-植物》。该项研究发现茎尖生长点是拟南芥感知高温的器官，高温诱导茎尖部位产生一氧化氮（nitric oxide, NO）的爆发，而随后生成的相对稳定的NO 活性分子GSNO作为移动的信号分子通过维管束从地上部向根部传递，在整个植物体水平激发细胞的高温响应和耐热性建成过程。上述发现是植物高温感知研究领域的概念颠覆性的突破性进展。在此之前，该领域的科学家认为每个植物细胞均作为一个独立的单元感知高温胁迫并启动细胞自身的热激反应。

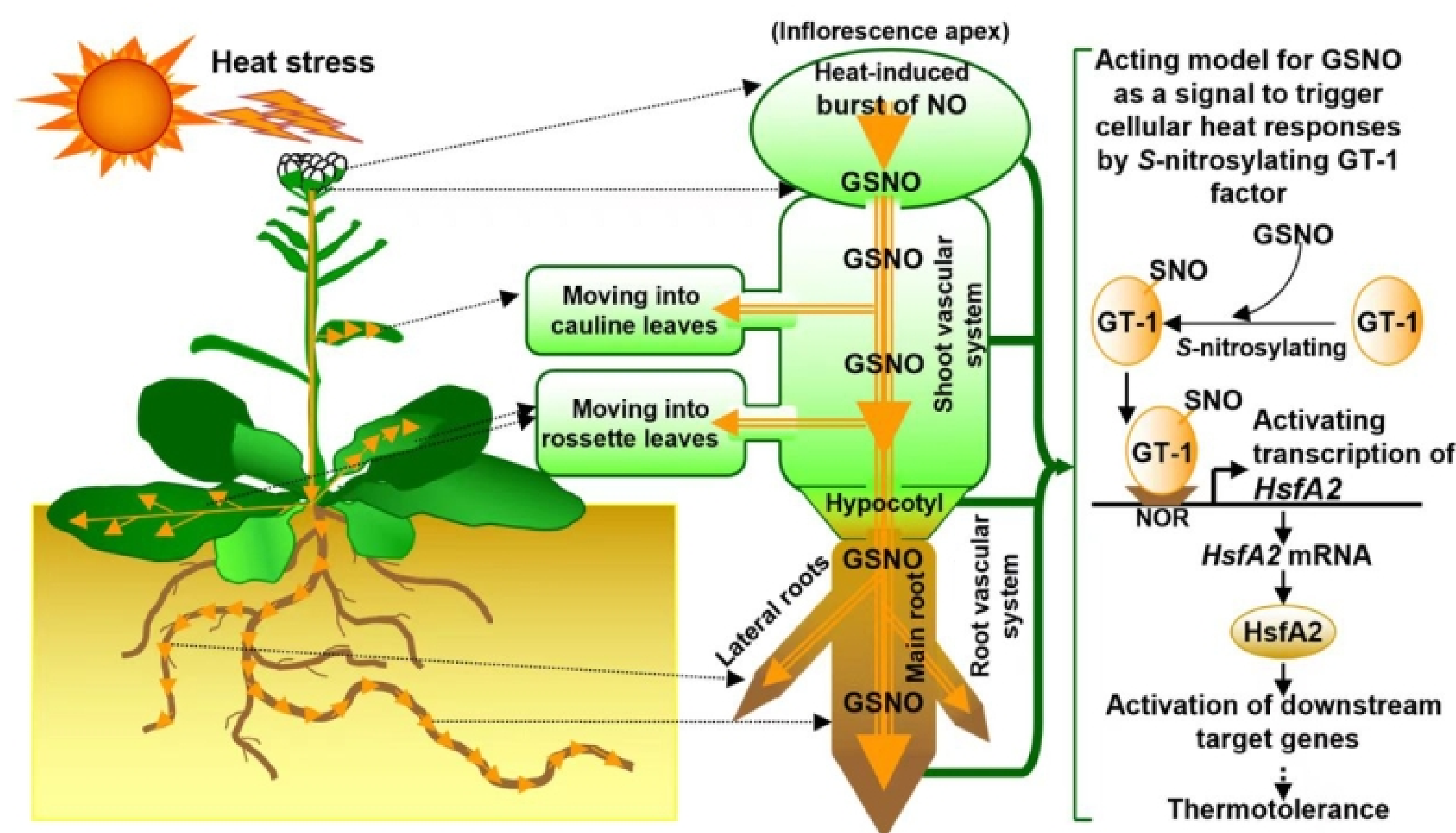
该项研究最初发端于十年前他们发现模式植物拟南芥关键热激转录因子基因 *HsfA2* 首先在茎尖生长点响应高温表达，而且其表达样式随时间推移逐渐发展到嫩叶，成熟叶片进而到根部。而他们原以为高温下 *HsfA2* 可能同时在植物体各个组织呈现遍式的表达。此外，他们也证实处于开花期的拟南芥，*HsfA2* 首先在顶端花序分生组织启动，依次发展到茎生叶，莲座叶进而到根部。通过测试多种植物激素以及已知的生物和非生物胁迫信号分子对于 *HsfA2* 表达的诱导能力，发现只有NO能引起其强烈表达，且高温诱导的表达可以被NO清除剂所抑制，表明NO介导了 *HsfA2* 的高温响应表达。NO缺乏和过量产生突变体遗传方面的证据也支持上述结论。

NO化学性质比较活泼，半衰期很短，其在植物体内与谷胱甘肽(Glutathione, GSH)发生S-亚硝基化作用形成S-亚硝基谷胱甘肽(S-nitrosoglutathione, GSNO)。质谱和NO检测分子探针分析发现高温处理后维管束中GSNO含量显著增加，且主要集中在韧皮部中。基于上述证据以及综合多种形式的野生型和NO突变体地上部和根部的嫁接实验结果，他们揭示了一条全新的植物高温感知和信号传导途径：高温诱导茎顶端（shoot apex）产生GSNO，其作为移动的信号分子由地上部向根部传递，在整个植物体水平依次激发细胞的高温防卫反应。进一步的启动子截断分析结果表明，*HsfA2*启动子存在保守的NO响应顺式原件(No-responsive elements, NORs)，且前人报道转录因子GT-1可以与此类NORs结合。他们进一步发现 *HsfA2* 的高温响应表达在 *gt-1* 突变体中被显著抑制，且突变体呈现高温敏感的表现。系列的体外和体内实验结果证实GT-1通过结合NORs从而启动 *HsfA2* 的高温响应表达。目前已知GSNO作为细胞内稳定的NO储存库和主要的活性分子，可对靶蛋白进行翻译后S-亚硝基化修饰(S-nitrosylation)。系列生化和后续质谱鉴定结果表明，GSNO亚硝基化修饰GT-1且修饰增强其结合 *HsfA2* 启动子NORs的能力；GT-1蛋白有三个半胱氨酸(Cys)残基被亚硝基化修饰，且通过定点突变证实Cys³²⁴ and Cys³⁴⁷的亚硝基化修饰对于GT-1调控 *HsfA2* 高温响应表达的启动至关重要。上述的研究结果证实，GT-1是承接GSNO信号并介导下游热响应基因表达，启动细胞高温防卫反应的关键因子。

该项研究的原始创新性和重要意义体现在如下几个方面：发现植物茎尖生长点是感知高温的器官，证实植物通过响应高温在茎顶端爆发性累积NO从而将高温胁迫-这一物理胁迫方式转换成可传递的生化信号，进而揭示转录因子GT-1可以承接GSNO信号并启动下游高温响应基因的表达。该发现将显著拓展目前人们对于植物耐热性建成的认知，将为作物的抗高温育种提供全新的思路和策略，并加速育种效率的提高，为应对温室效应导致全球气候变暖条件下的粮食安全生产挑战提供了原始创新性和前瞻性的解决方案。

研究组已毕业的博士生何宁宇作为第一作者承担了大部分的研究工作，研究组陈丽莎、孙爱珍、赵耀和中心技术平台的殷水宁等参与了部分工作，郭房庆研究员为文章通讯作者。感谢中国科学院分子植物科学卓越创新中心技术平台的支持和帮助。该工作得到了中国科学院先导项目（B类）、科技部、国家自然科学基金委员会和植物分子遗传国家重点实验室等项目的资助。

文章链接: <https://www.nature.com/articles/s41477-022-01135-9>



高温诱导茎顶端(shoot apex)产生NO的爆发，而随后生成的GSNO作为移动的信号分子，通过维管束从茎部向根部(shoot-to-root)传递，在整个植物体水平激发细胞的高温响应