

# 拟南芥 *CARK* 家族响应脱落酸信号的研究

黄彦菱<sup>1</sup>, 姜雅淇<sup>2</sup>, 李小意<sup>1</sup>, 李高明<sup>1</sup>, 杨毅<sup>1</sup>

(1. 四川大学生命科学学院 生物资源与环境教育部重点实验室, 成都 610065;

2. 四川大学文学与新闻学院, 成都 610065)

**摘要:** 植物激素脱落酸(Abscisic acid, ABA)在植物应对生物和非生物胁迫中起着重要作用. 本研究利用以 *carks* 单基因突变体为亲本, 构建双重突变体来检测 *CARKs* 在 ABA 信号途径中的功能. 然后, 分析多重突变体在 ABA 处理下, 种子萌发率和子叶变绿的响应. 结果显示: 单基因突变体和双重突变体与野生型相比, 萌发率更高, 双重突变体的子叶绿芽率高于单基因突变体. 以上结果表明, *CARKs* 家族基因在 ABA 信号途径中起正调控作用, 而且它们的功能是冗余的.

**关键词:** *CARKs*; 激酶; 脱落酸; 种子萌发

**中图分类号:** Q495 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19907/j.0490-6756.2021.026004

## A study on the response of *Arabidopsis CARKs* kinases to ABA signaling

HUANG Yan-Ling<sup>1</sup>, JIANG Ya-Qi<sup>2</sup>, LI Xiao-Yi<sup>1</sup>, LI Gao-Min<sup>1</sup>, YANG Yi<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Bio-resources and Eco-Environment of Education,  
College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. College of History and Culture, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

**Abstract:** The plant hormone abscisic acid (ABA) plays an important role in the response of plants to abiotic and biotic stresses for survival and reproduction. In this study, the T-DNA mutants of *carks* as parents to construct double mutant to detect the function of *CARKs* in the ABA signaling pathway. Seed germination and cotyledon greening rate were analyzed in plants before and after ABA treatment. The results revealed that, compared with wild type, *CARKs* single mutant and double mutants had a higher germination rate. The cotyledon greening rates of double mutants also showed similar results. These results indicated that *CARKs* play a positive regulatory role in the ABA-mediated germination and seedling growth in *Arabidopsis*. And the members of the *CARK* family showed redundant roles in ABA signaling.

**Keywords:** *CARKs*; Kinase; Abscisic acid; Germination

## 1 引言

植物不能像动物那样通过迁移来寻找适宜的生存环境, 因此, 为了能够在不断变化的环境中生存, 植物通常会被不同的环境驯化出一系列的调控

机制<sup>[1]</sup>. 在遭遇干旱、冷冻、盐碱等逆境胁迫时, 植物的各种内源激素便单独或协同地发挥重要作用以应对这些非生物胁迫<sup>[2]</sup>. 植物在干旱时, 体内 ABA 含量迅速增加, 进而激活 ABA 信号通路, 合成干旱相关基因的表达, 或通过抑制气孔开放以降

收稿日期: 2020-09-11

基金项目: 国家自然科学基金(31671455, 31870240)

作者简介: 黄彦菱(1989—), 女, 加拿大人, 硕士研究生, 研究方向为植物遗传和分子生物学. E-mail: 1808066846@qq.com

通讯作者: 杨毅. E-mail: yangyi528@scu.edu.cn

低植物的蒸腾作用,从而使其更好地应对干旱胁迫.此外,ABA 参与调节植物生长发育的诸多过程,能够迟滞种子的萌发,抑制植物的生长<sup>[3-4]</sup>.

ABA 通路中三大核心元件包括:ABA 受体(Regulatory Components Of ABA Receptors/Pyrabactin Resistance/ PYR Like, RCAR/PYR/PYL)、SNF1 相关联的蛋白激酶(SNF1-Related Protein Kinases, SnRK2s)和下游的转录因子. ABA 存在时,在 ABA 受体与 ABA 结合后,抑制蛋白磷酸酶 2C(protein phosphatase 2Cs, PP2Cs)的活性,从而释放了对 SnRK2s 的抑制<sup>[5-6]</sup>. SnRK2s 自我磷酸化后,激活其磷酸激酶活性,磷酸化离子通道蛋白,控制对渗透胁迫的适应性反应<sup>[7]</sup>. ABA 受体除了响应 ABA 应答外,也会参与到植物对其它非生物胁迫的应答.近期研究表明,在拟南芥中过表达 RCAR12 或 RCAR13 后,经过高温或者冷冻处理,与野生型的拟南芥相比,其存活率明显较高,揭示了 RCAR12 和 RCAR13 可能在拟南芥对极端温度的响应方面发挥了积极作用<sup>[8]</sup>. 在小麦中, TaOPR1 (12-Oxo-Phytodienoic Acid Reductase 1)通过 ABA 信号通路调控逆境因子 MYC2(Myelocytomatosis 2),从而提高了小麦对盐的耐受性<sup>[9]</sup>. 因此,研究植物对 ABA 的响应有利于提升农作物对非生物胁迫的适应性,对指导农业生产具有重要意义.

本实验先前以拟南芥中的 ABA 受体 RCAR3/PYL8 为诱饵筛选到 CARK1,荧光双分子互补实验和酵母双杂交实验证明:该激酶分别与 RCAR3、RCAR11、RCAR12、RCAR13、RCAR14 在体内外均有较强的相互作用,并且能够磷酸化它们<sup>[10]</sup>. 根据蛋白质同源性分析,除 CARK1 外,该家族还拥有 10 个同源蛋白,分别命名为 CARK2-11,同时将该家族分为三个亚家族,其中 CARK4 为 III 亚家族,CARK5-9 为 II 亚家族,剩下的均为 I 亚家族.前期的研究证明了 CARK1 通过磷酸化 ABA 受体从而正调控 ABA 信号的传递.因此,通过对 CARK 家族单突变体和双重突变体的分析,探究 CARKs 是否全部参与 ABA 信号的调控,且在 ABA 信号途径.

## 2 材料与方法

### 2.1 材料

*cark1*, *cark2*, *cark4*, *cark5*, *cark6*, *cark7*, *cark11* 七种 T-DNA 插入突变体从拟南芥生物资

源中心(*Arabidopsis* Biological Resource Center, ABRC)购买,背景为哥伦比亚野生型(Col-0),详细信息见表 1. 鉴定引物根据突变体种子编号在 <http://signal.salk.edu/index.html> 中查找,引物由北京擎科公司合成.

表 1 *carks* 突变体信息

Tab. 1 Informations of *carks* mutants

基因名	AGI	种子储存号
CARK1	AT3G17410	<i>Salk_113377</i>
CARK2	AT3G62220	<i>Salk_020728</i>
CARK4	AT2G41970	CS822613
CARK5	AT3G59350	<i>Salk_136404</i>
CARK6	AT2G43230	<i>Salk_203094</i>
CARK7	AT1G06700	<i>Salk_086563</i>
CARK11	AT1G48210	<i>Salk_149921C</i>

### 2.2 方法

2.2.1 拟南芥基因组的提取和 PCR 扩增 本实验用 Plant Genomic DNA Extraction Kit 试剂盒(Biovision). 取 1 cm<sup>2</sup> 左右的拟南芥嫩叶片,加液氮磨碎,然后加 buffer A 400  $\mu$ L; 65  $^{\circ}$ C 加热 10 min,离心 10 min,转移上清,加 400  $\mu$ L buffer B 混匀;离心 10 min,加 400  $\mu$ L buffer C 洗涤后离心去废液,加适量 buffer D 溶解. 以提取的基因组 DNA 为模板,加入引物和 2 $\times$ T5 Super PCR Mix(北京擎科),PCR 扩增检测条带.

2.2.2 拟南芥的杂交 为了获取双重突变体,当单基因突变体拟南芥开花期时,选择刚冒白的花朵,除去多余部分,只留柱头. 将父本的花粉抖到柱头上,用套子覆盖,第二天重复此授粉过程. 由此获得的杂交种子用于双重突变体的 PCR 筛选和鉴定.

2.2.3 ABA 抑制的种子萌发 用 MS 固体培养基培养种子,ABA 处理的浓度为 0.3、0.5 和 1  $\mu$ mol/L,分别统计萌发的种子数和总数,间隔 12 h 统计一次,并计算萌发率,生物学重复三次.

2.2.4 ABA 抑制的绿芽率 用 MS 固体培养基培养种子,ABA 处理的浓度为 0.3、0.5 和 1  $\mu$ mol/L. 待种子萌发后,每隔 24 h 统计种子子叶变绿的个数和种子总数,并计算百分率,生物学重复三次.

## 3 结果

### 3.1 *carks* 突变体的鉴定

PCR 鉴定结果表明成功构建了十种双重突变体,如图 1 所示,左上角第一个株系是双重突变体

*cark1cark4*, 记为 *cark1/4*. 同理, 其余九种双重突变体分别记为 *cark1/7*、*cark1/11*、*cark4/5*、*cark4/7*、*cark4/11*、*cark5/7*、*cark5/11*. 提取构建的双重突变体拟南芥的基因组为模板, 进行 PCR 扩增. 其中引物 LP 和 RP 分别位于 T-DNA 插入位点的两端, LP 为正向引物, RP 为反向引物, LB1.3 为插入到拟南芥基因组上的 T-DNA 载体片段的末端, 且为正向引物. 用 LP+RP 这对引物能扩出条带时, 表明没有 T-DNA 插入; 用 LB1.3+RP 这对引物能扩出条带时, 表明有 T-DNA 插入. 所以, 用这两对引物同时扩增一个模板时, 如果只出现 LP+RP 的条带, 表明是野生型; 若只出现 LB1.3+RP 的条带, 表明是突变体; 若两者皆有带, 则是杂合植株. 由此观之, 上述双重突变体的纯合植株已全部构建成功.

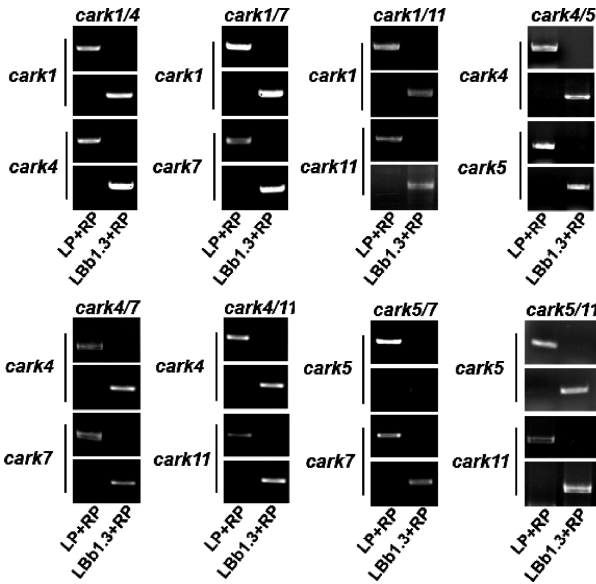


图 1 *carks* 双重突变体基因组的 PCR 鉴定  
Fig. 1 PCR identification of *carks* double mutant plants

### 3.2 ABA 抑制的种子萌发和子叶变绿分析

在种子萌发和子叶变绿阶段, *cark1*、*cark4*、*cark5*、*cark6* 单基因突变体相较于野生型对 ABA 不敏感, 如图 2 所示. 在 MS 固体培养基上, *cark1*、*cark4*、*cark5*、*cark6* 突变体和野生型的萌发趋势基本一致(图 2a), 而用 ABA 处理后(图 2b~d), 虽然所有株系的萌发都被抑制, 但 *cark1*、*cark4*、*cark5*、*cark6* 突变体的萌发率均较野生型高. 用 0.3  $\mu\text{mol/L}$  的 ABA 处理所有株系 7 d 后, 野生型的绿芽率只有 22% 左右(图 2e, f), 而 *cark1* 为 76%, *cark4* 为 62%, *cark5* 为 39%, *cark6* 为 46% 左右. 以上结果表明, *CARK1*、*CARK4*、*CARK5*、

*CARK6* 在 ABA 介导的抑制种子萌发和子叶变绿中起着正调控作用.

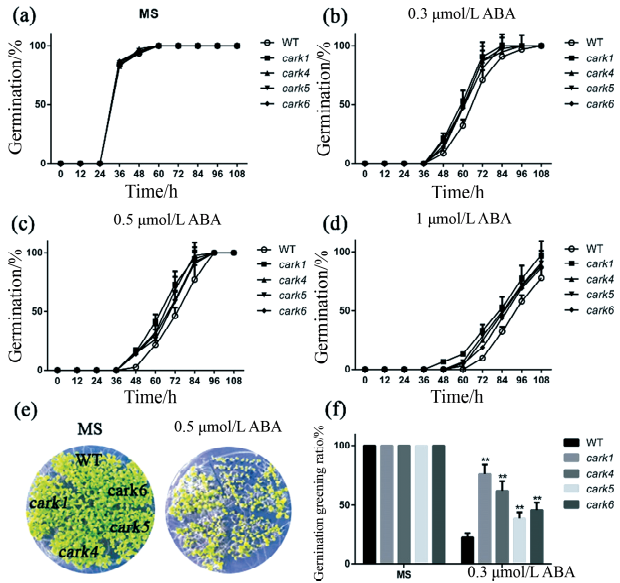


图 2 *carks* 单基因突变体在种子萌发和子叶变绿时对 ABA 的敏感分析(I)

\*\*  $P < 0.01$ .

Fig. 2 *carks* single gene mutant plants were insensitive to ABA in ABA-mediated seed germination and green shoots (I)

\*\*  $P < 0.01$ .

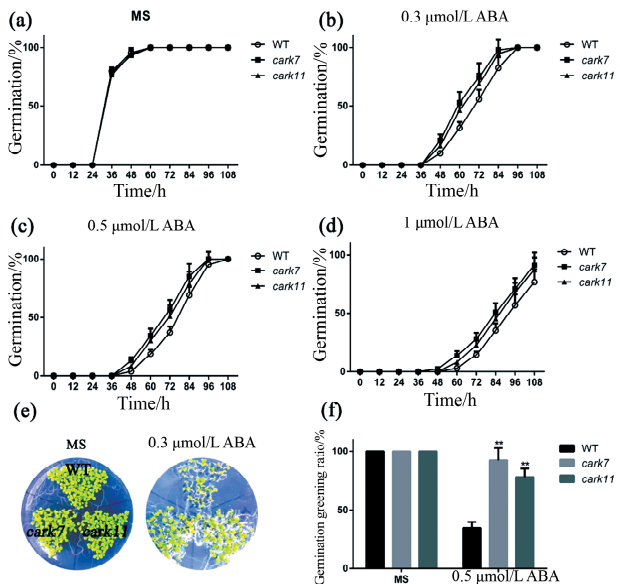


图 3 *carks* 单基因突变体在种子萌发和子叶变绿时对 ABA 的敏感分析(II)

\*\*  $P < 0.01$ .

Fig. 3 *carks* single gene mutant plants were insensitive to ABA in ABA-mediated seed germination and green shoots (II)

\*\*  $P < 0.01$ .

相似地, 在种子萌发和子叶变绿时期, *cark7*、*cark11* 单基因突变体相较于野生型对 ABA 不敏

感,如图 3 所示. 在 MS 固体培养基上, *cark7*、*cark11* 突变体和野生型的萌发基本一致(图 3a). 用 0.3  $\mu\text{mol/L}$  ABA 处理后(图 3. 3b-d), *cark7*、*cark11* 突变体的萌发率均比野生型高, 差异均较大. 用 0.3  $\mu\text{mol/L}$  的 ABA 处理 8 d 后, 野生型的绿芽率为 35% 左右(图 3e、f), 而 *cark7* 为 92%, *cark11* 为 78%. 以上结果表明 *CARK7* 和 *CARK11* 功能缺失的株系在 ABA 介导的抑制种子萌发和子叶变绿时对 ABA 不敏感.

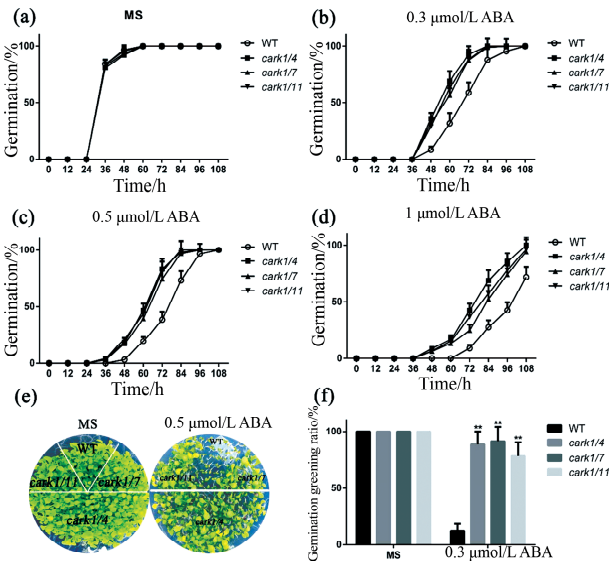


图 4 *carks* 双重突变体在种子萌发和子叶变绿时对 ABA 的敏感性分析 (I)  
 \*\*  $P < 0.01$ .

Fig. 4 *carks* double mutant plants were insensitive to ABA in ABA-mediated seed germination and green shoots (I)  
 \*\*  $P < 0.01$ .

*cark1/4*、*cark1/7*、*cark1/11* 双重突变体在种子萌发和子叶变绿阶段相较于野生型对 ABA 极不敏感, 如图 4 所示. *cark1/4*、*cark1/7*、*cark1/11* 双重突变体和野生型的萌发在不处理时几乎一致(图 4a). 用 ABA 处理时(图 4b~d), *cark1/4*、*cark1/7*、*cark1/11* 双重突变体的萌发率均比野生型高, 且差异均较大. 用 0.5  $\mu\text{mol/L}$  的 ABA 处理全部株系, 10 d 后, 野生型的绿芽率只有 13% 左右(图 4e、f), 而 *cark1/4* 为 88%, *cark1/7* 为 91%, *cark1/11* 为 78%. 其余的双重突变体 *cark4/5*、*cark4/7*、*cark4/11*、*cark5/7*、*cark5/11* 在萌发和子叶变绿时同样对 ABA 不敏感, 如图 5 所示. 无处理时, 上述双重突变体和野生型的萌发率保持一致(图 5a). 用 ABA 处理时(图 5b~d), *cark4/5*、*cark4/7*、*cark4/11*、*cark5/7*、*cark5/11* 双重突变体

的萌发率均比野生型高, 且差异均很大. 用 0.5  $\mu\text{mol/L}$  的 ABA 处理 10 d, 野生型的绿芽率为 20% 左右(图 5e、f), 而 *cark4/5*、*cark4/7*、*cark4/11*、*cark5/7*、*cark5/11* 则分别为 81%、89%、76%、79%、85%. 以上结果表明, *carks* 双重突变体在种子萌发和子叶变绿阶段对 ABA 的不敏感性强于 *carks* 单突变体.

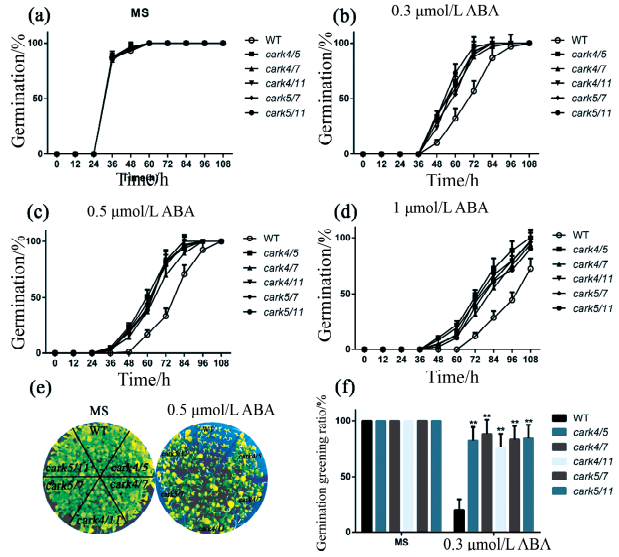


图 5 *carks* 双重突变体在种子萌发和子叶变绿时对 ABA 的敏感性分析 (II)  
 \*\*  $P < 0.01$ .

Fig. 5 *carks* double mutant plants were insensitive to ABA in ABA-mediated seed germination and green shoots (II)  
 \*\*  $P < 0.01$ .

## 4 讨论

截至目前, 已经发现了四个激酶能磷酸化 ABA 受体. 但是它们的功能以及对 ABA 信号通路的影响是不同的. 在正常情况下, TOR (Target of Rapamycin) 磷酸化 RCAR12 的 S119 位点, 抑制 ABA 信号通路; 在胁迫下, SnRK2s 磷酸化 TOR 的一个亚基 Raptor, 从而抑制 TOR 的激酶活性<sup>[11]</sup>. 随后研究者又发现, 激酶 AEL (*Arabidopsis* EL1-like) 分别磷酸化 RCAR11 的 S109 和 S156, RCAR12 的 S136 和 S182 的位点, 促进泛素化修饰, 从而加剧降解, 因此 AEL 在 ABA 信号通路中起负调控作用<sup>[12]</sup>. 质膜磷酸激酶 CEPR2 (C-terminally encoded peptide receptor 2) 磷酸化被募集到质膜上的 RCAR10 的 S54, 促进 RSL1 泛素连接酶对 RCAR10 的泛素化, 进而促进 26S 蛋白酶对其降解<sup>[13]</sup>. 本研究的蛋白质磷酸激酶 CARK1

磷酸化 RCAR3 的 T77 位点和 RCAR11 的 T78 位点, 由此可见, ABA 受体不同位点被磷酸化导致其对 ABA 信号途径的影响不同, 从而形成了复杂的调控网络, 以应对多变的生态环境。

*carks* 单基因突变体 *cark1*、*cark4*、*cark5*、*cark6*、*cark7* 和 *cark11* 在种子萌发和子叶变绿阶段相对于野生型对 ABA 不敏感(图 2 和图 3), *carks* 双重突变体 *cark1/4*、*cark1/7*、*cark1/11*、*cark4/5*、*cark4/7*、*cark4/11*、*cark5/7* 和 *cark5/11* 同样也在萌发和子叶变绿阶段相较于野生型对 ABA 不敏感, 且这种不敏感性强于单基因突变体(图 4 和图 5), 这说明 CARKs 家族成员在 ABA 信号途径中的功能是冗余的。实验室前期的工作表明 CARK1 能够磷酸化 ABA 受体<sup>[6-7]</sup>, 所以以 CARKs 基因功能缺失的突变体为材料, 探究这些突变体在 ABA 处理下的表型, 从而探讨 CARKs 在 ABA 信号通路中的作用。在预实验中, 由于 *cark2* 株系在萌发时对 ABA 的耐受性与野生型差异较小, 因此在构建双重突变体时未将其作为重点。

结果表明, CARKs 存在功能冗余性, 接下来可以通过体内外蛋白质互作的方法分析不同的 CARK 是否会与相同的 ABA 受体存在相互作用, 进而用体外磷酸化实验分析这些 CARKs 激酶是否磷酸化相同的 ABA 受体, 或者分析这些 CARKs 激酶在体内对相同的 ABA 受体稳定性的影响。如果实验结果表明不同的 CARKs 激酶会磷酸化相同的 ABA 受体, 并且会影响其体内的蛋白水平, 那么就找到了其存在功能冗余性的原因。研究 CARKs 在 ABA 信号通路中的功能有助于为研究植物应对逆境时的调节机制提供新思路, 提升农作物对逆境的适应性, 并最终提高农作物的产量。

## 参考文献:

- [1] Park S R, Hwang J, Kim M. The *Arabidopsis* WDR55 is positively involved in S R ABA-mediated drought tolerance response [J]. *Plant Biotechnol Rep*, 2020, 14: 407.
- [2] Wang J, Song L, Gong X, *et al.* Functions of Jasmonic acid in plant regulation and response to abiotic

- stress [J]. *Int J Mol Sci*, 2020, 130: 15.
- [3] Yang J, Duan G, Li C, *et al.* The crosstalks between jasmonic acid and other plant hormone signaling highlight the involvement of jasmonic acid as a core component in plant response to biotic and abiotic stresses [J]. *Front Plant Sci*, 2019, 10: 1349.
- [4] Sah S K, Reddy K R, Li J. Abscisic acid and abiotic stress tolerance in crop plants [J]. *Front Plant Sci*, 2016, 7: 571.
- [5] Zhang L, Li X, Li D, *et al.* CARK1 mediates ABA signaling by phosphorylation of ABA receptors [J]. *Cell Discov*, 2018, 4: 30.
- [6] 樊晶, 马燕林, 曹婧, 等. 拟南芥 ABA 受体与 UGT71B6 的相互作用研究 [J]. *四川大学学报: 自然科学版*, 2019, 56: 333.
- [7] Zhu J K. Abiotic stress signaling and responses in Plants [J]. *Cell*, 2016, 167: 313.
- [8] Zhang Q, Kong X, Yu Q, *et al.* Responses of PYR/PYL/RCAR ABA receptors to contrasting stresses, heat and cold in *Arabidopsis* [J]. *Plant Signal Behav*, 2019, 14: 1670596.
- [9] Dong W, Wang M, Xu F, *et al.* Wheat oxophytodi-enoate reductase gene TaOPR1 confers salinity tolerance via enhancement of abscisic acid signaling and reactive oxygen species scavenging [J]. *Plant Physiol*, 2013, 161: 1217.
- [10] Li X Y, Kong X G, Huang Q, *et al.* CARK1 phosphorylates subfamily III members of ABA receptors [J]. *J Exp Bot*, 2019, 70: 519.
- [11] Wang P, Zhao Y, Li Z, *et al.* Reciprocal regulation of the TOR kinase and ABA receptor balances plant growth and stress response [J]. *Mol Cell*, 2018, 69: 100.
- [12] Chen H H, Qu L, Xu Z H, *et al.* EL1-like casein kinases suppress ABA signaling and responses by phosphorylating and destabilizing ABA receptors PYR/PYLS in *Arabidopsis* [J]. *Mol Plant*, 2018, 11: 706.
- [13] Yu Z, Zhang D, Xu Y, *et al.* CEPR2 phosphorylates and accelerates the degradation of PYR/PYLS in *Arabidopsis* [J]. *J Exp Bot*, 2019, 70: 5457.

## 引用本文格式:

中文: 黄彦菱, 姜雅淇, 李小意, 等. 拟南芥 CARK 家族响应脱落酸信号的研究 [J]. *四川大学学报: 自然科学版*, 2021, 58: 026004.

英文: Huang Y L, Jiang Y Q, Li X Y, *et al.* A study on the response of *Arabidopsis* CARKs kinases to ABA signaling [J]. *J Sichuan Univ: Nat Sci Ed*, 2021, 58: 026004.

《四川大学学报(自然科学版)》是由国家教育部主管、四川大学主办的自然科学综合性学术期刊,双月刊,国内外公开发刊。主要刊登在基础应用学科和高新技术科学领域具有创造性的学术论文,促进国内外学术交流,对国家和省部级基金项目成果给予优先发表。

### 1. 开设栏目

**1.1 研究论文:**透彻、完整、清晰地报导具有学术价值的新的实验、理论结果和进展。研究论文一般分引言、理论或实验方法、结果与讨论、结论等部分,不超过 8000 字。要求在引言及相关部分对该研究内容相关的背景及现状、本工作所解决的问题及意义有清楚、简洁、完整和客观的叙述。

**1.2 快报:**快速、简要地报道新的实验和理论结果。快报正文内容不分章节,一般不超过 6000 字。一旦被接受,将在 4 个月之内发表,作者可将其更为详细的内容投往国内外其它期刊。

**1.3 综合评述:**对变化较快的各相关领域的研究进展做出评述。综合评述一般不超过 10000 字,必须有作者对该领域的较为独到的和具有个人特色的批评性意见和展望。

### 2. 稿件要求

**2.1 标题、作者、单位、摘要及关键词**要求用中英双语表示。题目应以简明、确切的词语反映文中最重要的内容,避免使用非标准的缩略语以及结构式和公式。中国作者姓名采用汉语拼音。单位必须写出全称,所在城市和邮政编码。摘要应体现稿件的研究目的、方法、主要结果和结论等,不使用图表、公式,不采用非标准的术语、缩写词等。应精选出反映稿件内容的中、英文关键词各 3~6 个,按其重要性排列,分别列于中、英文摘要后。另外,请注明中图分类号代码。

**2.2 中文标准基金全称及批准号、作者简介、通讯作者信息**一律在首页用中文脚注标注。作者简介内容包括:姓名、出生年、性别、民族(汉族可省)、籍贯、职称、最高学历(可省,但在读研究生需标注)、研究方向和 E-mail 地址等。通讯作者应标注其 E-mail 地址。

**2.3 使用国际标准的缩略词、符号和计量单位系统时**,全文要一致。摘要和正文中的缩略词在首次出现时须写出全称,后附缩略词,并用圆括号括起,此后可直接引用。应严格执行 GB3100~3102-93 有关法定计量和单位的规定。单位符号一律用正体,变量的符号(包括下标)需用斜体。

**2.4 插图(照片)、表具有自明性**,并按出现的先后次序顺序编号。在论述中应先文后图、表。中文稿件中,插图(照片)、表标题应同时采用中英文双语表示。插图(照片)、表头的量或用来标记图形轴线的量,用“量符号/单位标准化符号”形式标记。表应置于正文相应位置处,用三线表,必要时可加辅助线。若有表注,可写在表底线左侧。插图曲线要求墨色均匀、粗细均匀,照片要求清晰,黑白反差大。彩色插图(照片)需转化为灰度图。插图(照片)要精选,切忌与表中表达重复。

**2.5 应引用与本工作有关的、近年的主要文献**,未公开发表的资料请勿引用。引用时,参考文献序号须加[ ],一般置于右上角;若写成“文献[ ]”,则与正文平排。参考文献应按正文中引文出现的先后顺序列出。参考文献中,作者应以姓在前、名缩写在内的形式列出

(不加缩写点)。文献作者 3 名以内全部列出,4 名以上只列前 3 名,后加“等”或“*et al*”。英文稿件中的中文参考文献需在其后注明“(in Chinese)”。专著、期刊等文献格式按 GB/T 7714-2015 的规则执行,说明如下(详细说明请参考本刊网站投稿指南):

#### + 专著(包括各种图书,学位论文,技术报告,文集,丛书等)

主要责任者. 题名:其他题名信息[文献类型标志]. 其他责任者. 版本项(初版不写). 出版地:出版者,出版年:起始页码。

#### + 专著中的析出文献

析出文献主要责任者. 析出文献题名[文献类型标志]. 析出文献其他责任者//主要责任者. 专著题名:其他题名信息. 版本项(初版不写). 出版地:出版者,出版年:起始页码。

#### + 连续出版物(包括期刊,报纸等)

主要责任者. 题名:其他题名信息[文献类型标志]. 年,卷(期)-年,卷(期). 出版地:出版者,出版年:起始页码。

#### + 连续出版物中的析出文献

析出文献主要责任者. 析出文献题名[文献类型标志]. 连续出版物题名:其他题名信息,年,卷(期):起始页码。

#### + 专利文献

申请专利者或所有者. 专利题名:专利国别,专利号[文献类型标识]. 公告日期或公开日期。

#### + 电子文献

主要责任者. 题名:其他题名信息[文献类型标志/文献载体标志]. 出版地:出版者,出版年(更新或修改日期)[引用日期]. 获取或访问路径(其中文献类型标志/文献载体标志包括:[DB/OL]表示联机网上数据库,[DB/MT]表示磁带数据库,[M/CD]表示光盘图书,[CP/DK]表示磁盘软件,[J/OL]表示网上期刊,[EB/OL]表示网上电子公告)

### 3. 其 它

**3.1 自 2007 年起**,作者须通过网站投稿系统投稿。来稿刊登与否由编辑部根据专家审稿意见和编委会决议最后审定。拟刊登的稿件,作者需提供其最后定稿的方正或 Word 等电子文档;不拟刊登的来稿,编辑部将及时函告作者,但稿件不退还,请自留底稿。

**3.2 稿件文责自负(包括政治、学术、保密等)**,编辑部有权进行技术性和文字性的修改。来稿一经排版,作者对清样稿不能再作大量的文字改动。编辑部对在本刊发表论著者,收取适量的发表费。稿件刊登后向作者寄送本期样刊 1 份、精装抽印本 10 份,并为作者提供该文的 PDF 文档。

**3.3 作者须同意将该文的复制权、发行权、信息网络传播权、翻译权、汇编权等权力在全世界范围内转让给编辑部。**

**3.4 清样稿的 PDF 文档将通过 E-mail 发给通讯作者**作最后的阅读和校对。编辑部在收到校对后的清样稿和发表费后再安排付印。

**3.5 凡与编辑部的通讯**,请注明稿件编号。来函请寄: 610064 四川省成都市四川大学学报(自然科学版)编辑部。电话:(028) 85410393, E-mail:scdx@scu.edu.cn, 网址: <http://science.ijournals.cn>

本刊被下列国内外重要检索系统列为刊源:

- + 中国综合性科技类核心期刊(北大核心)
- + 中国科学引文数据库(CSCD)
- + 中国科技论文与引文数据库
- + 中国学术期刊综合评价数据库
- + 中国学术期刊(光盘版)数据库
- + 万方数据系统科技期刊群数据库
- + 维普中文科技期刊数据库
- + 中国知网数据库
- + 美国《数学评论》(MR)
- + 美国《化学文摘》(CA)
- + 俄罗斯《文摘杂志》(PЖ)
- + 英国《动物学记录》(ZR)
- + 美国《生物学文摘》(BA)
- + 德国《数学文摘》(Zbl Math)

四川大学学报(自然科学版)  
Sichuan Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)  
(双月刊 1955年创刊)  
第58卷 第2期

Journal of Sichuan University  
(Natural Science Edition)  
(Bimonthly, Started in 1955)  
Vol. 58 No. 2

主办单位 四川大学  
主管单位 国家教育部  
编辑出版 四川大学学报(自然科学版)编辑部  
(四川省成都市武侯区望江路29号,  
邮编: 610064)  
E-mail: scdx@scu.edu.cn  
主 编 王玉忠 院士  
常务副主编 陈忠林 教授  
印 刷 成都市富生实业有限公司  
国内发行 四川省报刊发行局  
国内订购 全国各地邮政局  
国外发行 中国国际图书贸易总公司  
出版日期 2021年3月28日

Sponsored by Sichuan University  
Managed by National Education Ministry  
Edited by Editorial Department of Journal of Sichuan University (Natural Science Edition)  
<http://science.scu.edu.cn>  
<http://science.ijournals.cn>  
Editor Academician WANG Yu-Zhong  
Administrative Vice Editor Professor CHEN Zhong-Lin  
Printed by Chengdu Fusheng Co., Ltd  
Distributed by Sichuan Newspaper & Journal Publishing Bureau  
Domestic All Local Post Offices  
China International Book Trading Corporation  
Publishing Date Mar. 28, 2021

连续出版物号: ISSN 0490-6756  
CN 51-1595/N

邮发代号: 国内 62-127  
国外 BM 5974

国内定价: 20.00元/期  
120.00元/年