

DOI: 10.3724/SP.J.1005.2010.00129

## miR398 在植物逆境胁迫应答中的作用

丁艳菲<sup>1</sup>, 王光钺<sup>2</sup>, 傅亚萍<sup>3</sup>, 朱诚<sup>1</sup>

1. 浙江大学生命科学院, 杭州 310029;
2. 浙江林学院林业与生物技术学院, 临安 311300;
3. 中国水稻研究所, 杭州 310006

**摘要:** MicroRNA (miRNA) 是一类新型的调控基因表达的小分子 RNA, 它作为基因表达的负调控因子, 在转录后水平调节靶基因的表达。miRNA 参与调控植物的生长发育, 并在多种非生物与生物胁迫响应中发挥重要作用。miR398 是第一个被报道的受氧化胁迫负调控的 miRNA。它通过负调控其靶基因 Cu/Zn 过氧化物歧化酶 (Cu/Zn-superoxide dismutase, CSD) 的表达, 在多种逆境胁迫响应中扮演重要角色, 如调节铜代谢平衡, 应答重金属、蔗糖、臭氧等非生物胁迫, 以及参与应答生物胁迫等。文章综述了 miR398 在多种逆境胁迫响应中重要的调节作用及 miR398 自身的转录调控。

**关键词:** miR398; 非生物胁迫; 生物胁迫; 基因表达调控; 胁迫应答

## The role of miR398 in plant stress responses

DING Yan-Fei<sup>1</sup>, WANG Guang-Yue<sup>2</sup>, FU Ya-Ping<sup>3</sup>, ZHU Cheng<sup>1</sup>

1. College of Life Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China;
2. College of Forest and Biotechnology, Zhejiang Forestry University, Lin'an 311300, China;
3. China National Rice Research Institute, Hangzhou 310006, China

**Abstract:** MicroRNAs (miRNAs) are a new class of small RNAs, which act as post-transcriptional negative regulators of gene expression. Plant miRNAs are important in the regulation of plant growth, development and in response to various abiotic and biotic stresses. miR398 is the first reported miRNA to be down-regulated by oxidative stresses. miR398 plays an important role in stresses, such as regulating copper homeostasis, in response to abiotic stresses including heavy metals, sucrose, and ozone and biotic stresses via down-regulating the expression of Cu/Zn-superoxide dismutase (CSD). This review focused on the crucial role of miR398 in regulation of different stresses and the transcriptional regulation of *MIR398* gene.

**Keywords:** miR398; abiotic stress; biotic stress; gene expression regulation; stress responses

植物在生长发育中, 不可避免地受到各种非生物胁迫(盐害、冷害、干旱、重金属等胁迫)与生物胁迫(病原菌侵染)。在长期进化过程中, 植物产生了多

种胁迫耐性机制, 其涉及许多代谢过程与生理、分子水平的调控, 尤其涉及到胁迫应答基因在转录水平与转录后水平的表达调节。MicroRNA(miRNA)是

收稿日期: 2009-06-13; 修回日期: 2009-06-26

基金项目: 浙江省科技厅优先主题项目(编号: 2007C13063), 中国水稻研究所水稻生物学国家重点实验室基金项目(编号: 090102)和国家自然科学基金项目(编号: 30671255)资助

作者简介: 丁艳菲(1984-), 女, 博士研究生, 研究方向: 植物逆境生理与分子生物学。Tel: 0571-88206481; E-mail: dingyanfei1984@126.com

通讯作者: 朱诚(1963-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 植物逆境生理与分子生物学。Tel: 0571-88206482; E-mail: pzhch@zju.edu.cn

最近发现的一类长度为 21~25 nt (核苷酸)的非编码蛋白质的小分子RNA。它作为一种新型的调控基因表达的小分子RNA,通过靶mRNA的切割或翻译抑制两种沉默机制,在转录后水平负调控其靶基因的表达<sup>[1-3]</sup>。miRNA参与调控植物的生长发育,并且受逆境胁迫诱导表达发生变化,在植物多种逆境胁迫应答过程中发挥重要的调节作用<sup>[4,5]</sup>。

在已知的众多参与植物抗逆过程的 miRNA 中,miR398 是第一个被发现受逆境胁迫负调控的 miRNA。在植物约 20 个保守的 miRNA 家族中,miR398 直接与胁迫应答网络相关,因为它靶向 2 种 Cu/Zn 过氧化物歧化酶(Cu/Zn-superoxide dismutase, CSD): 细胞质 CSD1 和叶绿体 CSD2。miR398 在多种逆境胁迫响应中的调控功能已得到广泛研究,其在调节植物铜代谢平衡,应答过量的铜、铁、镉等重金属胁迫,蔗糖、臭氧、盐害等其他非生物胁迫,以及病原菌生物胁迫中均扮演重要角色。另外,miR398 可受到 SBP 结合蛋白 7(SQUAMOSA promoter binding protein, SPL7)转录因子的调节。本文综述了 miR398 在多种非生物及生物胁迫响应中的调控作用及其上游的调控因子,揭示 miR398 在多种胁迫应答调控网络中的重要作用以及对其靶基因的精细负调控机制,明确 miRNA 在基因表达调控中的明星分子地位。

## 1 miR398 简介

### 1.1 miR398 的发现

2004 年, Sunkar和Zhu<sup>[5]</sup>在干旱、盐害、冷害、脱落酸胁迫下构建拟南芥幼苗的小RNA文库,克隆了 miR398 等 26 个与逆境胁迫应答相关的miRNA。Jones-Rhoades和Bartel<sup>[1]</sup>采用比较基因组学的方法预测了拟南芥和水稻基因组中保守的miR398 家族,其包括 3 个成员: miR398a、miR398b和miR398c。miR398b与 miR398c序列相同,miR398a 3 端的最后一个核苷酸与miR398b、miR398c有差异<sup>[1,6,7]</sup>。miR398 在拟南芥和水稻中高度保守,暗示其可能在多种生物的胁迫应答响应中发挥作用。

### 1.2 miR398 的靶基因

根据miRNA在物种间的高保守性以及与其靶基

因序列的互补性等特征, Jones-Rhoades和Bartel<sup>[1]</sup>利用生物信息学方法预测并通过 5' RACE实验验证了 miR398 靶向两种Cu/Zn过氧化物歧化酶(CSD): 细胞质CSD1 和叶绿体CSD2, 以及细胞色素C氧化酶亚基V(COX5b.1)。CSD是植物抵御活性氧(Reactive oxygen species, ROS)毒害的主要超氧化物歧化酶(Superoxide dismutases, SOD), 这暗示miR398 可能在氧化胁迫响应中发挥作用<sup>[8]</sup>。

植物体内ROS是光合作用和呼吸作用产生的必然副产物。但盐害、冷害、重金属、机械伤害、营养缺乏、病原体等多种胁迫均诱导光合电子传递链及呼吸链产生过量ROS, 还诱导NADPH氧化酶产生ROS。ROS包括超氧化物阴离子( $O_2^-$ )和羟自由基( $OH\cdot$ ), 以及过氧化氢( $H_2O_2$ )和单线态氧( $^1O_2$ )等, 它们均具有高的活性和毒性而对细胞造成毒害。在进化过程中, 植物产生高效的ROS清除机制以抵御ROS毒害。其中SOD可将ROS转变成 $H_2O_2$ 和分子氧, 构成了清除超氧自由基的第一道防线。根据辅因子的不同 SOD 分为 3 种: Fe-SOD、Mn-SOD 和 Cu/Zn-SOD(CSD)<sup>[8,9]</sup>。CSD作为主要的SOD, 在清除超氧化物的过程中发挥重要作用。拟南芥基因组编码 3 种CSD同工酶, 分别是细胞质CSD1、叶绿体基质CSD2 和过氧化物酶体CSD3<sup>[6]</sup>。CSD1 和CSD2 作为 miR398 调控的靶标, 其表达变化依赖于miR398 的水平, 而miR398 的表达又受到环境的诱导调控。而 miR398 作用的另一个靶标COX5b.1 是否也参与植物氧化胁迫耐性尚无报道。

miR398 与其 3 个靶标CSD1、CSD2 及COX5b.1 mRNA 的互补性在拟南芥、水稻和松树中保守<sup>[7,10,11]</sup>。与绝大多数的植物miRNA与其靶mRNA 的互补位点相似, miR398 与CSD2 mRNA的编码区互补。然而, miR398 与CSD1、COX5b.1 mRNA的互补区域在CSD1、COX5b.1 mRNA的 5' 非编码区(5' UTR)<sup>[12]</sup>。由于CSD调节ROS含量, miR398 的重要功能之一可能是影响ROS的信号, 进而参与胁迫响应。miR398 与其靶基因CSD1、CSD2、COX5b.1 在不同被子植物中的保守性表明, miR398 对其靶标的负调节对于植物的环境适应与生存起到重要影响。

## 2 miR398 与抗非生物胁迫

### 2.1 miR398 与营养胁迫

#### 2.1.1 miR398 调节植物铜代谢平衡

铜是植物正常生命活动所必需的微量元素,它作为蛋白的重要辅因子,参与光合作用、呼吸代谢、氧化胁迫抵御以及感受乙烯等多种生理代谢过程<sup>[13]</sup>。高等植物主要存在两种含铜蛋白:质体蓝素(Plastocyanin, PC)和Cu/Zn过氧化物歧化酶(CSD)。PC是含铜量最多的蛋白,它参与叶绿体类囊体膜的光合作用电子传递过程;而CSD是清除超氧化物的主要抗氧化酶<sup>[8,14]</sup>。其中,PC是植物光合作用进行自养生长所必需,而CSD并不是必需的,在缺铜时质体中CSD可被Fe-SOD所替代。拟南芥在低铜环境中,CSD1和CSD2含量下降,它们的功能被Fe-SOD所代替。进一步的研究发现,miR398家族介导了这种低铜环境下CSD的下调<sup>[15,16]</sup>。

Abdel-Ghany和Pilon<sup>[15]</sup>发现拟南芥miR398受缺铜胁迫诱导表达,直接介导CSD1、CSD2 mRNA降解,而Fe-SOD转录上调。PC和CSD作为两种重要的含铜蛋白,充当了铜库的角色。铜受限的情况下CSD表达下降:一方面,Fe-SOD转录上升,不影响植物总体的SOD活性与氧化胁迫耐性;另一方面,CSD表达下降也有利于将有限的铜转运到PC,以保证高等植物光合电子传递对铜的需求,从而实现了植物在缺铜应答时,通过调整铜的分配,以达到对有限铜的有效利用。因此,拟南芥中miR398介导的CSD的下调作为一种调节非必需铜蛋白的机制,让植物在低铜供应时节省铜用于最必需的用途。这证明,miRNA可以通过调控其靶蛋白表达的方式来控制生物体内矿质元素铜水平的自我平衡。

#### 2.1.2 SBP结合蛋白7(SQUAMOSA promoter binding protein, SPL7)转录因子对miR398的表达调控

逆境胁迫影响植物的生长发育,植物通过顺式作用元件与反式作用因子的相互协调作用,调控基因表达以对多种胁迫信号产生响应。目前调控miRNA自身表达的顺式作用元件和反式作用因子研究甚少。铜缺乏时miR398表达上调,从而导致CSD1、CSD2 mRNA的降解<sup>[15]</sup>。Yamasaki等<sup>[17]</sup>对拟南芥MIR398家族的3个成员:MIR398a、MIR398b、

MIR398c进行顺式作用元件分析,在MIR398b、MIR398c的启动子区域分别发现了8个GTAC序列,而GTAC序列是生物体缺铜应答的必需元件。

进一步研究发现,SPL7转录因子是拟南芥维持铜稳态的关键调节因子,它对铜缺乏下miR398的表达上调非常重要。SPL7是SPL家族成员,是铜响应调节因子1(Copper response regulator1, CRR1)的同源蛋白。而CRR1是莱氏衣藻(*Chlamydomonas reinhardtii*)铜缺乏时的关键转录因子,它包含1个SBP(SQUAMOSA promoter binding protein)域,介导缺铜响应时PC与细胞色素c6之间的转换。转录因子SPL7直接结合到MIR398基因启动子区的GTAC序列,从而启动MIR398基因的表达<sup>[17]</sup>。

### 2.2 miR398 与非生物逆境胁迫

逆境胁迫诱导植物某些miRNA过量或低量表达,进而负调控其靶基因的表达,对外界逆境胁迫做出应答反应。干旱、冷害、盐害、重金属等环境胁迫,可诱导植物细胞中ROS快速大量积累。而CSD作为最主要的SOD,可清除体内的超氧自由基,进而缓解逆境对植物生长的危害。研究表明,CSD1和CSD2的转录受氧化胁迫所诱导,其诱导受到miR398的调节。

#### 2.2.1 抗高铜、高铁、镉、汞等重金属胁迫

重金属包括铜、铁、锰、锌等必需重金属和镉、汞、砷等非必需重金属。微量的必需重金属是细胞代谢的必要物质,作为辅因子参与氧化反应或与核酸、蛋白质相互作用,但含量过高即对植物造成毒害。非必需重金属元素和过量的必需重金属元素对植物均有害,其毒性不仅在于与蛋白的羧基或巯基作用使其失活,还可参与Fenton反应,诱导植物细胞中ROS快速大量积累而导致氧化胁迫<sup>[18]</sup>。miR398是第一个被详细报道的受重金属胁迫调控表达的miRNA,其表达受重金属胁迫所抑制,进而上调其靶基因CSD的转录,清除ROS以抵御氧化胁迫。

Sunkar等<sup>[6]</sup>发现拟南芥幼苗的miR398在高铁、高铁重金属氧化胁迫下表达诱导降低,CSD mRNA的表达量积累,导致植株对氧化胁迫的耐受性大大增加。CSD1和CSD2基因的表达通过miR398对其mRNA的裂解进行精细调节,并且miR398对CSD1、CSD2 mRNA的时空特异性表达起到重要作用。采用

转基因方法研究发现, 过表达具有miR398 抗性的CSD2 的转基因拟南芥, 相比过表达常规CSD2 的转基因拟南芥, 积累更多的CSD2 mRNA, 表现出更强的重金属氧化胁迫耐性。因此, 解除miR398 对CSD2 基因表达抑制的转基因植株的获得, 可提供新的改善植物氧化胁迫耐性的途径。

以往研究表明苜蓿具有较强的重金属抗性<sup>[19]</sup>。Zhou等<sup>[20]</sup>利用生物信息学预测了蒺藜苜蓿(*Medicago truncatula*)中 38 个miRNA。为证实这些miRNA并研究miRNA是否在蒺藜苜蓿的重金属耐性中发挥作用, Zhou等<sup>[20]</sup>应用qRT-PCR方法发现蒺藜苜蓿中 8 个miRNA的表达受到重金属的诱导与调节。其中, miR398 在汞、镉、铝胁迫下表达下调。这暗示miR398 也在非必需重金属胁迫应答中发挥重要作用。

### 2.2.2 抗蔗糖胁迫

miR398 对CSD1、CSD2 mRNA的转录后水平调节不仅参与应答重金属信号, 还可响应蔗糖分子信号<sup>[12]</sup>。Dugas和Bartel<sup>[12]</sup>的研究发现, 生长在添加蔗糖培养基中的拟南芥, 比没有外加蔗糖的拟南芥积累了更多的miR398, 且CSD1、CSD2 mRNA及蛋白含量均诱导降低。另外, 蔗糖诱导MIR398c启动子驱动的GUS基因表达活性上升, 表明蔗糖诱导MIR398c转录提高。进一步研究发现, 表达具有miR398 抗性的CSD拟南芥突变体, 即miR398 与CSD1、CSD2 mRNA互补位点突变, CSD1、CSD2 mRNA上调, 但CSD1、CSD2 蛋白却没有积累, 这暗示miR398 在与靶mRNA互补位点减少时, 可能通过对靶标的翻译抑制进而对靶基因进行负调控。

以往的研究表明, 糖可能在植物基因表达调控中发挥作用<sup>[21]</sup>, 而miR398是第一个受糖调节的植物miRNA。外源的蔗糖通过影响miR398 的表达来调节CSD1、CSD2 的活性, 进而控制ROS含量参与ROS的清除。高水平蔗糖下miR398 被诱导, CSD1、CSD2 表达降低, 暗示糖与miR398 靶标之间的功能联系。糖可以抑制光合, 降低叶绿体中ROS的产生, 因此可能降低对CSD活性的需求<sup>[12]</sup>。

### 2.2.3 抗其他非生物逆境胁迫

Sunkar等<sup>[6]</sup>发现, miR398 在强光照、甲基紫精(Methyl viologen, MV)作用下表达受到抑制, CSD1、CSD2 mRNA转录上升。甲基紫精结合到叶绿体类囊

体膜上, 将电子转移到O<sub>2</sub>, 在光下引发超氧自由基的持续产生。

Jagadeeswaran等<sup>[22]</sup>报道臭氧、盐害等非生物胁迫下miR398 表达下调。臭氧抑制miR398 的表达, 臭氧胁迫去除后miR398 水平逐渐恢复正常。但是, 不同于重金属、蔗糖胁迫下CSD1 和CSD2 均受到miR398 的转录负调控, 臭氧、盐害胁迫下仅CSD1 受到miR398 的负调控。臭氧、盐害胁迫下miR398 表达下调, CSD2 表达也受抑制。这表明不同胁迫下CSD2 的表达并不严格受到miR398 的调控, 可能存在其他的调节机制。总之, 拟南芥中miR398 的表达受到多种非生物逆境胁迫的诱导, 进而调控其靶标CSD表达, 揭示出miR398 在逆境胁迫应答网络中的重要地位。

## 3 miR398 与抗生物胁迫

病原体感染是一个广泛影响植物生长发育的生物因素。在进化过程中, 许多植物获得了抵御病原菌侵染的机制。当植物受到病原菌侵染后, 其自身的防御系统被激活并诱导产生一系列的防卫反应, 如过敏性反应(Hypersensitive response, HR)和氧化迸发(Oxidative burst)等。据报道, miRNA参与植物的抵御病原体反应, miR393 能被植物病原菌(*Pseudomonas syringae* pv. tomato DC3000)的鞭毛蛋白诱导, 抑制其靶基因生长激素受体(TIR1, AFB2 和AFB3)的表达, 从而阻断生长激素应答途径, 抑制宿主植物中细菌性病菌的生长<sup>[23]</sup>。丁香假单胞杆菌番茄致病变种(*Pseudomonas syringae* pv. tomato DC3000)是引起番茄和拟南芥斑点病的植物病原菌。假单胞菌侵染拟南芥会诱导氧化迸发。miR398 是第一个报道的细菌性病菌应答中表达下调的miRNA。Jagadeeswaran等<sup>[22]</sup>用丁香假单胞杆菌番茄致病变种的无毒性Pst DC3000(avrRpm1)或Pst DC3000(avrRpt2)菌株侵染拟南芥叶, 导致miR398 表达受抑, 进而诱导靶标CSD水平上调以参与植物对病原体的防御反应。

## 4 miR398 调控 CSD 机制的复杂性

miR398 靶向CSD1 和CSD2 这两种CSD基因。拟南芥在高铜、高铁、强光照、甲基紫精、臭氧、盐害非生物与病原菌生物胁迫下, CSD1 mRNA的表达



始终受到miR398的调控,二者表现出动态的、相反的含量变化对应关系。然而,CSD2 mRNA的表达水平变化并不总与CSD1水平变化保持一致,CSD2 mRNA含量在多种胁迫下表现出不同的反应,如过量的铜、铁、强光照、甲基紫精胁迫下表达上调;病原菌和臭氧胁迫下则表达下调<sup>[6,22]</sup>。这暗示CSD2 mRNA的表达并不完全受到miR398的调节。miR398介导的基因转录后调节机制结合其他的基因表达调控方式,共同参与拟南芥的胁迫应答反应。Moeder等<sup>[24]</sup>发现顺乌头酸酶结合CSD2 mRNA的5' UTR,并调节拟南芥和烟草中CSD2 mRNA的稳定性。进一步研究发现,顺乌头酸酶敲除突变体相比野生型植株,CSD2的转录水平较高,但CSD1含量未受影响。

另一方面,植物miRNA与其靶mRNA几乎完全互补配对,通过介导靶mRNA裂解从而调节靶基因表达;动物miRNA与其靶mRNA部分互补配对,抑制靶mRNA的翻译<sup>[2~4]</sup>。然而最近研究表明,植物miRNA比想象中更多地通过翻译阻遏及其翻译后修饰来调控靶蛋白的生物活性<sup>[25]</sup>。Dugas和Bartel<sup>[12]</sup>研究发现了表达具有miR398抗性的CSD突变体,CSD1、CSD2 mRNA上调,但CSD1、CSD2蛋白积累下降,这暗示miR398可能抑制CSD1、CSD2 mRNA的翻译从而对靶标进行负调控。

## 5 结 语

植物在进化过程中形成了多种非生物和生物逆境胁迫响应机制,如盐害、干旱、重金属、病原菌等胁迫在转录或转录后调控植物特定基因的表达。这些与胁迫耐性相关的基因包括直接参与代谢与生理变化的基因以及间接参与抗逆过程的调节基因。而miRNA是植物逆境胁迫适应过程中的一类重要的调控因子,它可受逆境胁迫所诱导,通过靶基因的切割或翻译抑制两种沉默机制调控其下游许多逆境诱导基因的表达,间接影响代谢与生理过程以抵御逆境胁迫。miRNA介导的基因转录后调节对于植物响应逆境胁迫至关重要,植物胁迫应答相关的miRNA研究已经成为研究热点。而miR398作为研究的比较透彻的植物逆境miRNA,可以作为胁迫miRNA的代表。对miR398及其靶基因CSD在多种胁迫响应中的作用研究,可加深人们对miRNA在转

录后水平调控基因表达机制以及miRNA对植物逆境胁迫应答调控机制的理解。

在植物miRNA研究方面,以往的工作主要集中在miRNA下游靶标的研究,而miRNA自身表达的调控研究较少<sup>[26]</sup>。目前不仅对多种胁迫下miR398对其靶标CSD的调控作用进行了较为全面的报道,研究还发现MIR398基因上游的启动子区域存在GTAC调控元件,且SPL7转录因子对MIR398的自身表达起到关键的调控作用。这说明围绕miRNA,其上游的调控因子与下游的靶标组成了一个完整的调控网络,展现出细胞中基因表达全方位、多层次的调控网络系统。

## 参考文献(References):

- [1] Jones-Rhoades MW, Bartel DP. Computational identification of plant microRNAs and their targets, including a stress-induced miRNA. *Mol Cell*, 2004, 14(6): 787–799. [\[DOI\]](#)
- [2] Bartel DP. MicroRNAs: Genomics, biogenesis, mechanism, and function. *Cell*, 2004, 116(2): 281–297. [\[DOI\]](#)
- [3] Schwab R, Palatnik JF, Riester M, Schommer C, Schmid M, Weigel D. Specific effects of microRNAs on the plant transcriptome. *Dev Cell*, 2005, 8(4): 517–527. [\[DOI\]](#)
- [4] Carrington JC, Ambros V. Role of microRNAs in plant and animal development. *Science*, 2003, 301(5631): 336–338. [\[DOI\]](#)
- [5] Sunkar R, Zhu JK. Novel and stress-regulated microRNAs and other small RNAs from *Arabidopsis*. *Plant Cell*, 2004, 16(8): 2001–2019. [\[DOI\]](#)
- [6] Sunkar R, Kapoor A, Zhu JK. Posttranscriptional induction of two Cu/Zn superoxide dismutase genes in *Arabidopsis* is mediated by downregulation of miR398 and important for oxidative stress tolerance. *Plant Cell*, 2006, 18(8): 2051–2065. [\[DOI\]](#)
- [7] Bonnet E, Wuyts J, Rouze P, Van de Peer Y. Detection of 91 potential conserved plant microRNAs in *Arabidopsis thaliana* and *Oryza sativa* identifies important target genes. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2004, 101(31): 11511–11516. [\[DOI\]](#)
- [8] Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Plant Sci*, 2002, 7(9): 405–410. [\[DOI\]](#)
- [9] Kliebenstein DJ, Monde RA, Last RL. Superoxide dismutase in *Arabidopsis*: An eclectic enzyme family with disparate regulation and protein localization. *Plant Physiol*, 1998, 118(2): 637–650. [\[DOI\]](#)
- [10] Axtell MJ, Bartel DP. Antiquity of microRNAs and their targets in land plants. *Plant Cell*, 2005, 17(6): 1658–1673. [\[DOI\]](#)
- [11] Axtell MJ, Snyder JA, Bartel DP. Common functions for

- diverse small RNAs of land plants. *Plant Cell*, 2007, 19(6): 1750–1769. [\[DOI\]](#)
- [12] Dugas DV, Bartel B. Sucrose induction of *Arabidopsis* miR398 represses two Cu/Zn superoxide dismutases. *Plant Mol Biol*, 2008, 67(4): 403–417. [\[DOI\]](#)
- [13] Pilon M, Abdel-Ghany SE, Cohu CM, Gogolin KA, Ye H. Copper cofactor delivery in plant cells. *Curr Opin Plant Biol*, 2006, 9(3): 256–263. [\[DOI\]](#)
- [14] Weigel M, Varotto C, Pesaresi P, Finazzi G, Rappaport F, Salamini F, Leister D. Plastocyanin is indispensable for photosynthetic electron flow in *Arabidopsis thaliana*. *J Biol Chem*, 2003, 278(33): 31286–31289. [\[DOI\]](#)
- [15] Abdel-Ghany SE, Pilon M. MicroRNA-mediated systemic down-regulation of copper protein expression in response to low copper availability in *Arabidopsis*. *J Biol Chem*, 2008, 283(23): 15932–15945. [\[DOI\]](#)
- [16] Yamasaki H, Abdel-Ghany SE, Cohu CM, Kobayashi Y, Shikanai T, Pilon M. Regulation of copper homeostasis by microRNA in *Arabidopsis*. *J Biol Chem*, 2007, 282(22): 16369–16378. [\[DOI\]](#)
- [17] Yamasaki H, Hayashi M, Fukazawa M, Kobayashi Y, Shikanai T. SQUAMOSA promoter binding protein-like7 is a central regulator for copper homeostasis in *Arabidopsis*. *Plant Cell*, 2009, 21(1): 347–361. [\[DOI\]](#)
- [18] Clemens S. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis. *Planta*, 2001, 212(4): 475–486. [\[DOI\]](#)
- [19] Hildebrandt U, Regvar M, Bothe H. Arbuscular mycorrhiza and heavy metal tolerance. *Phytochemistry*, 2007, 68(1): 139–146. [\[DOI\]](#)
- [20] Zhou ZS, Huang SQ, Yang ZM. Bioinformatic identification and expression analysis of new microRNAs from *Medicago truncatula*. *Biochem Biophys Res Commun*, 2008, 374(3): 538–542. [\[DOI\]](#)
- [21] Roitsch T. Source-sink regulation by sugar and stress. *Curr Opin Plant Biol*, 1999, 2(3): 198–206. [\[DOI\]](#)
- [22] Jagadeeswaran G, Saini A, Sunkar R. Biotic and abiotic stress down-regulate miR398 expression in *Arabidopsis*. *Planta*, 2009, 229(4): 1009–1014
- [23] Navarro L, Dunoyer P, Jay F, Arnold B, Dharmasiri N, Estelle M, Voinnet O, Jones JDG. A plant miRNA contributes to antibacterial resistance by repressing auxin signaling. *Science*, 2006, 312(5772): 436–439. [\[DOI\]](#)
- [24] Moeder W, Del Pozo O, Navarre DA, Martin GB, Klessig DF. Aconitase plays a role in regulating resistance to oxidative stress and cell death in *Arabidopsis* and *Nicotiana benthamiana*. *Plant Mol Biol*, 2007, 63(2): 273–287. [\[DOI\]](#)
- [25] Brodersen P, Sakvarelidze-Achard L, Bruun-Rasmussen M, Dunoyer P, Yamamoto YY, Sieburth L, Voinnet O. Widespread translational inhibition by plant miRNAs and siRNAs. *Science*, 2008, 320(5880): 1185–1190. [\[DOI\]](#)
- [26] 李培旺, 卢向阳, 李昌珠, 方俊, 田云. 植物 microRNAs 研究进展. *遗传*, 2007, 29(3): 283–288.

## •综合信息•

### 北方遗传资源的保护与利用研讨会第一轮通知

我国幅员辽阔, 由于地理及气候的差异而形成了南北方各具特点的遗传资源。遗传资源的保护与合理利用是人类社会可持续发展的必要措施之一。为此, 中国遗传学会拟于 2010 年 8 月在内蒙古呼和浩特市召开主题为“北方遗传资源的保护与利用”研讨会。会议将邀请我国遗传学及其相关研究领域的专家和学者, 就近年来国内外遗传学最新研究进展和我国北方遗传资源保护与利用进行研讨和交流。希望通过本次研讨会, 促进我国遗传资源的保护与利用, 欢迎从事遗传学及其相关学科的学者与研究生踊跃参加。

#### 1. 主办单位

中国遗传学会

#### 2. 承办单位

内蒙古大学生命科学学院, 内蒙古遗传学会, 内蒙古自治区科学技术协会

#### 3. 协办单位

黑龙江省遗传学会, 吉林省遗传学会, 辽宁省遗传学会, 北京市遗传学会, 天津市遗传学会, 河南省遗传学会, 河北省遗传学会, 山西省遗传学会

#### 4. 征文内容

遗传资源的保护与利用、医学遗传学、动物遗传学、植物遗传学、微生物遗传学、分子遗传学及基因组学等领域的研究进展。论文摘要(500—1000 字)或全文, 格式参考《国际遗传学杂志》稿约([genetics.hrbmu.edu.cn](http://genetics.hrbmu.edu.cn))。

征文截止日期: 2010 年 6 月 31 日。

#### 5. 会议时间、地点

会议时间: 2010 年 8 月中旬(具体日期见第二轮通知)

会议地点: 内蒙古呼和浩特市

#### 6. 报名及论文摘要发送邮箱: [nmgycxh@sohu.com](mailto:nmgycxh@sohu.com)

其它具体适宜详情见第二轮通知, 请关注 <http://www.geneticsociety.cn/>