

含羞草与草莓对电脉冲刺激的反应

贾克楠¹, 魏云波¹, 王忆^{2,*}

¹北航实验学校中学部, 北京100191; ²中国农业大学园艺学院, 北京100193

摘要: 本研究以敏感植物含羞草和非敏感植物草莓为试材, 对其能否对电脉冲刺激做出响应及其规律做了初步研究。结果发现, 含羞草对电脉冲刺激非常敏感, 微弱的单脉冲刺激可以导致小叶关闭和叶轴下垂。连续脉冲刺激可延缓草莓果实发育进程, 并诱发JA积累, 但对IAA和ABA含量没有显著影响。而且连续电脉冲刺激可抑制草莓果实成熟相关基因的表达, 如色素代谢关键基因*FaCHS*和*FaDFR*, 香味代谢相关基因*FaQR*和细胞壁代谢相关基因*FaPG*和*FaEXPs*等。以上结果表明, 敏感植物对电脉冲刺激的应答反应体现快速的机械运用, 而非敏感植物可体现在基因表达、生理代谢和生长发育。

关键词: 电脉冲; 刺激; 应答反应; 草莓; 含羞草

由于植物的生长不可避免地受到各种环境的刺激和影响, 长期的进化使植物演化出了对环境刺激感知和反应的能力。动物对各种刺激的感知和反应的基础是电化学信号, 且多体现为快速的运动。和动物不同的是, 植物不能运动。因此, 与植物其它生命活动的研究相比, 人们对植物中是否有电信号的存在以及能否响应电信号刺激的研究很少。这些研究也多集中在一类特殊的植物, 即对环境刺激做出“动作反应”的敏感植物, 如含羞草和捕蝇子草等(娄成后1992)。研究证实, 敏感植物对环境刺激的感知和反应是由电信号介导的。但是, 对于非敏感的普通植物中电信号是否存在, 特别是电信号的作用机制了解很少(娄成后1995; 任海云等1993; 郭健等2000)。

随着现代分子生物学的快速发展, 对模式植物拟南芥的研究发现, 植物对各种刺激实际上是非常敏感的。当拟南芥遇到触摸、风吹、雨打、湿度和光线变化等刺激后, 虽然没有明显的动作或形态等外在的变化反应, 但某些基因表达可发生剧烈的变化(Braam和Davis 1990)。这说明植物对刺激的反应可能更多地体现在基因表达和代谢调控等水平上。Mousavi等(2013)在《Nature》上的文章报道, 拟南芥遭遇昆虫叮咬等机械伤害刺激后, 可以激发电信号产生, 而这种电信号的系统传递可以介导刺激远端的激素茉莉酸积累, 进而使植物产生系统的抗虫反应。

目前, 植物能否对外源电信号刺激做出应答反应及其规律和机制鲜有报道。有鉴于此, 本研究以典型的敏感植物含羞草为材料, 对其响应电脉冲刺激反应的条件和基本规律进行了研究。在此基础上, 再以草莓果实为材料, 对非敏感植物的

对电脉冲信号应答反应以及果实中成熟相关的基因进行研究。该研究为通过电脉冲刺激调控植物的生长和发育提供参考。

材料与方法

1 植物材料

含羞草(*Minosa pudica* L.) 2月龄小苗购自于北京花卉市场, 之后移栽到直径23 cm、高15 cm盛有花卉营养土和砾石(2:1)的塑料盆中。在温度20~30°C、光照强度约为600 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、湿度约为60%的条件下继续培养2个月后用于试验。二倍体草莓(*Fragaria vesca* L.)种子点种在装有花卉营养土的穴盘中。在温度25°C、光照强度为350 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 、湿度约为60%的人工气候室中培养2个月后, 移栽到以上描述的塑料盆中, 直到开花结果。

2 电脉冲刺激

2.1 电脉冲设备

脉冲刺激采用两种设备, 一是自制的电刺激仪, 用于单脉冲刺激; 二是DL-Y音频电刺激仪(广东汕头医用设备厂), 用于连续脉冲刺激。电子元器件均购自北京中关村电子市场。稳压电源为DYY-6C(北京市六一仪器厂)。

为实现不同脉冲组合、刺激力度及刺激的自动化操纵, 我们自行研发了简易的电刺激仪器(图1)。其基本原理是利用一组定时开关和一组继电器的组合操纵稳压电源的电流输出时间, 继而通过

收稿 2016-09-20 修定 2017-03-15

资助 北京青少年科技创新学院翱翔计划第八批、北京市创新人才培养“翱翔计划”基地实验室和果树逆境生理与分子生物学北京市重点实验室。

* 通讯作者(E-mail: wangyi@cau.edu.cn)。

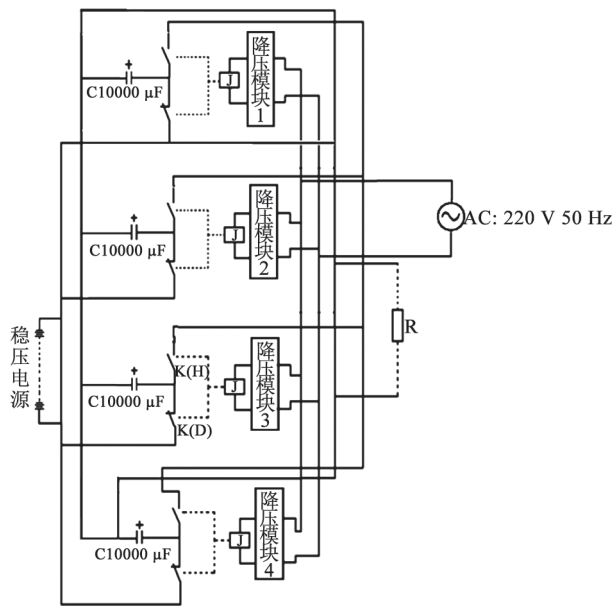


图1 脉冲刺激仪电路图

Fig.1 Circuit diagram of electric pulse stimulation apparatus

电容放电实现单脉冲刺激。该设备可实现每天最多64次的单脉冲刺激,电压在1~50 V之间任意设置。

2.2 电脉冲方法

电脉冲刺激方法分为两种,一是单脉冲刺激,二是连续脉冲刺激。单脉冲的触发由继电器控制和定时开关控制。每次开关产生一次脉冲,脉冲的大小由输入电压控制。连续脉冲是由音频脉冲产生的,刺激的力度由设定电流和持续时间控制。

2.3 电极连接方式

电极连接有以下三种方法。盐桥法:取直径约为2 mm的棉线,用 $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl浸湿,然后将电极和植物特定的刺激位点连接。针刺法:将缝衣针($36 \text{ mm} \times 0.4 \text{ mm}$)穿线孔和导线连接,将针刺入植物刺激位点,刺入深度大约2 mm。缠绕法:将导线铜芯直接缠绕到刺激部位。

3 含羞草的电脉冲刺激

3.1 不同电极连接方式下测定含羞草电阻变化

用盐桥法、针刺法和缠绕法这3种电极连接方法,分别在主茎和叶轴处进行单脉冲刺激,测定含羞草不同部位的电阻变化。

3.2 不同电极位点对含羞草叶轴下垂响应的影响

用针刺法对含羞草主茎的不同部位进行单脉冲刺激,测定叶轴下垂响应时间。设置以下5种位

点,(1)复叶叶枕两侧;(2)跨越叶枕的2个节间;(3)电极位于节间的中部,两极之间的距离为节间长度的1/3;(4)两电极之间的距离为整个节间的长度,上部为正极,下部为负极;(5)两电极之间的距离为整个节间的长度,上部为负极,下部为正极。

3.3 不同电压对含羞草小叶关闭的影响

含羞草对机械伤害非常敏感,针的插入将导致叶片关闭或叶轴下垂。因此,在刺激实施之前,需要等待含羞草回到静息状态,即枝干和叶片恢复到电极连接前的完全展开状态。实验采用上述的自制仪器,以0~20 V不同电压进行刺激,每5 V为一个单位;持续观察并拍照。

4 草莓果实的电脉冲刺激

4.1 不同电脉冲刺激下草莓果实的发育

单脉冲刺激使用医用电导材料,将材料裁剪成 $50 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 的条形,一端和导线链接,另一端和果实表面直接接触。此链接方式可实现最大电流达10 mA,自制的电刺激仪可实现非连续的单脉冲刺激。音频电刺激仪用于连续音频脉冲刺激,频率为每次5 min,每天2次连续脉冲,一共刺激10 d。每天观察草莓果实表型。

4.2 电脉冲刺激下草莓果实IAA、ABA和JA含量测定

实验对中绿果期的草莓果实进行了每天6次单脉冲刺激,连续刺激后3 d后测定果实激素含量。每种处理选取4个果实。按照果实重量(W)/提取液(V)=1/3的比例,进行激素提取和测定分析。

吲哚乙酸(auxin, IAA)、脱落酸(abscisic acid, ABA)和茉莉酸(jasmonic acid, JA)的分析采用酶联免疫分析法,由中国农业大学农学系中心实验室完成。其基本原理是将激素通过蛋白包被在酶联免疫板上,之后加入特异的激素抗体,交连激素和样品激素和抗体竞争结合,最终抗体结合的量取决于样品中激素的浓度。结合反应结束后,洗涤未交联的物质,之后加入酶标二抗。显色后,通过酶联免疫仪器测酶标二抗的量,继而通过标准曲线换算出激素浓度。

4.3 电脉冲刺激下草莓果实中基因表达分析

实验对转色期草莓果实连续脉冲刺激8 d后,进行果实成熟相关基因表达分析。

RNA提取选用EASYspin植物RNA快速提取

试剂盒。具体操作步骤按试剂盒说明书进行。总RNA提取后,进行cDNA反转录合成。在PCR管中加入1 μg 总RNA和2 μL OligodT,之后用RNase free water补齐至15 μL ,70 $^{\circ}\text{C}$ 温育10 min破坏RNA的二级结构,立即冰浴3 min。在冰上依次加入下列10 μL 混液试剂:5 \times 反转录酶缓冲液5 μL 、RNA酶抑制剂(20 U $\cdot\mu\text{L}^{-1}$) 0.7 μL 、dNTP (各个10 mmol $\cdot\text{L}^{-1}$) 2.5 μL 、M-MLV反转录酶1 μL 、DEPC处理水0.8 μL ,42 $^{\circ}\text{C}$ 温育1 h,70 $^{\circ}\text{C}$ 加热15 min灭活反转录酶,

贮于-20 $^{\circ}\text{C}$ 备用。定量RT-PCR分析采用SYBR Premix Ex TaqTM (TaKaRa)体,仪器为7500 Real-Time PCR System (Applied Biosystems),以*FaACTIN*做为内参。基因表达采用 $2^{-\Delta\Delta C_T}$ 相对水平,其中 ΔC_T 代表目的基因和参照基因的差异。qRT-PCR中涉及的引物如表1所示。

5 数据处理与分析

采用Sigmaplot软件进行试验数据处理。用Student's T-test检验法检验数据是否存在显著差异。

表1 基因扩增所用引物

Table 1 Primers for gene amplification

基因	正向引物(5'→3')	反向引物(5'→3')	用途
<i>FaC4H</i>	ACGCTCAACAGAAAGGAGAGAT	TTCGGGGTGGTTCACAA	色素代谢
<i>FaCHS</i>	CATACCCCGACTACTACTTTCGT	CGCACATACTGGGATTCTCTT	色素代谢
<i>FaCHI</i>	AGCGAAAGCCATTGAAAAGT	CATTTGGTGATTGTGTGAAGAG	色素代谢
<i>FaDFR</i>	ACCCTGAGAACGAAGTGATAAAG	TAAACACCACCCTCCGAAC	色素代谢
<i>FaQR</i>	CACTGACTCTCCCTACTACAAT	ATACACTCATCCCCACCTTA	香味代谢
<i>FaPG</i>	GCAAGTAGAGTCGCACAGTTTT	TCAGTATTAGGCTTCCCACCA	细胞壁代谢
<i>FaCEL</i>	GCTCTGTTTTGCCTGGACTT	GCGTGGCTTAGATAGTTGGAAT	细胞壁代谢
<i>FaXYL1</i>	ATGGAAAGCCTACTTGTGCTG	CTGGTGTAATGTTGTTGGTCGT	细胞壁代谢
<i>FaEXP1</i>	AGGACGGAGTTGGATTGC	TGAGCGTGAGCGTGAAG	细胞壁代谢
<i>FaEXP2</i>	GTATCGTCCCGTCTCATT	AGTAGGAGTGCCCGTTGATT	细胞壁代谢
<i>FaEXP3</i>	TACTGCCACTAACTTCTGC	TTATGCCTCCTGCTCTCCT	细胞壁代谢
<i>FaACTIN</i>	GCCAACCGTGAGAAGATG	TCCAGAGTCAAGAACAATACCAG	内参基因

实验结果

1 含羞草对电脉冲刺激的应答反应

1.1 不同电极连接下含羞草电阻的测定

含羞草为敏感植物,其刺激-应答反应可体现为快速的运动,即小叶关闭和叶轴的下垂运动。这种快速的运动为探究电脉冲刺激应答的条件和规律提供了一个理想的实验体系。本文使用了盐桥法、针刺法和缠绕法3种电极连接方法。盐桥法和缠绕法尽管产生的电阻不同,但阻值都很大,在所给定的电压范围内不足以引发应答反应。针刺法由于其引发的电阻很小,是最合适的方法。针刺法测定结果(图2)显示,无论是主茎还是叶轴,其电阻随正负电极距离的变化呈直线关系。但是,叶轴的电阻远远高于主茎,暗示着植物枝干的电阻大小和其直径有着密切关系。

1.2 不同电极连接位点对含羞草叶轴下垂反应的影响

单次电脉冲刺激不仅可以导致含羞草小叶关

闭,同时也导致复叶叶轴的下垂,以至植株所有枝干的合拢。本文测定了不同的电极连接位点对含羞草应答反应的影响。结果(图3)显示,当电极连接在复叶分支处的上、下位点之间时,叶轴下垂反应最为敏感,响应时间最短。当电极连接在2个叶轴之间时,电刺激导致上部叶轴先下垂。叶轴下垂反应所需时间需随正、负电极距离的延长而延长。叶轴下垂反应时间和电极链接的方向没有显著相关关系。

1.3 不同电压单脉冲刺激对含羞草小叶关闭的影响

图4显示,含羞草小叶关闭对单脉冲刺激极为敏感,2 V的单脉冲刺激可引发叶片的关闭。5 V以上的单脉冲刺激可导致整个复叶的小叶迅速而彻底的关闭,且随着电压的增加,小叶完全关闭所需时间越短。

图5显示20 V电压刺激下含羞草小叶关闭的连续变化过程。小叶的变化起始于复叶下端,小叶和叶轴的连接处(图5的圆圈内)。由第一对小叶的关闭逐步向上推进。起初的关闭过程相对较慢。刺

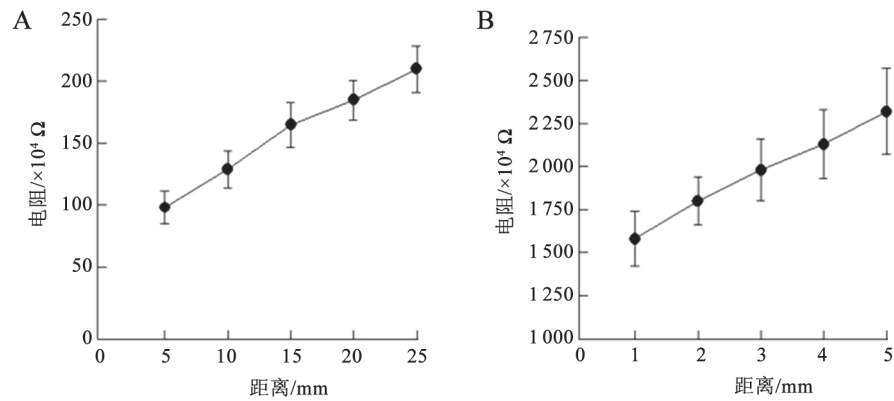
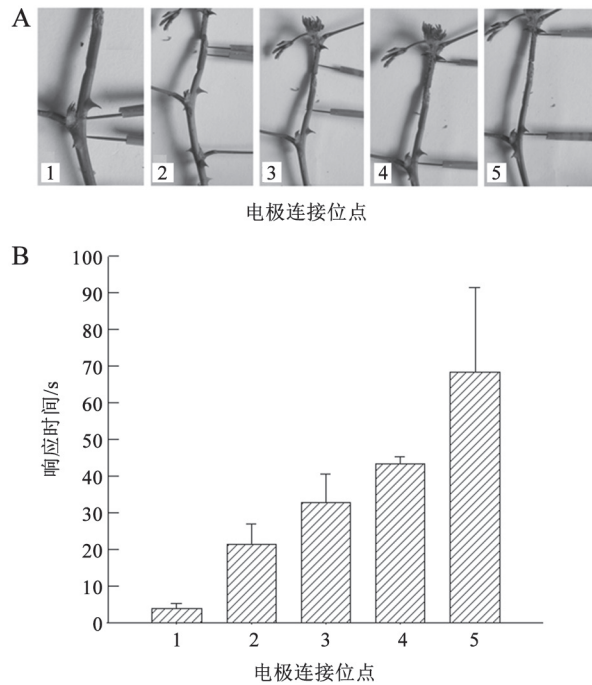


图2 含羞草叶轴(A)和主茎(B)的电阻变化

Fig.2 Changes of electric resistance in rachis (A) and stem (B) of *M. pudica*图3 不同电极连接位点对含羞草叶轴下垂反应的影响
Fig.3 Effects of different electrode connection sites on the reaction of rachis droop in *M. pudica*

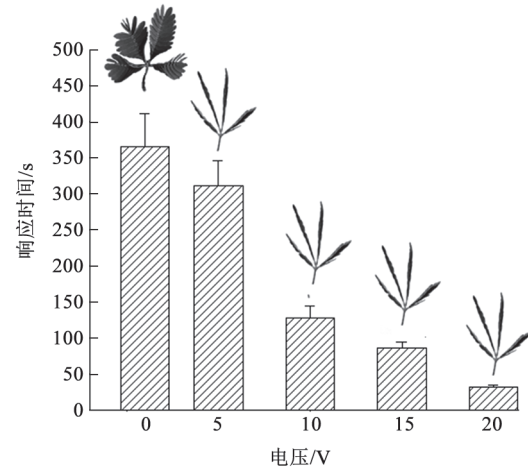
A: 电极连接位点, 1: 复叶叶枕两侧; 2: 跨越叶枕的两个节间; 3: 电极位于节间的中部, 两极之间的距离为节间长度的1/3; 4: 两电极之间的距离为整个节间的长度, 上部为正极, 下部为负极; 5: 两电极之间的距离为整个节间的长度, 上部为负极, 下部为正极; B: 不同连接位点的含羞草叶轴完全下垂的时间。

激20 s后可观察到明显的叶片关闭, 在随后短短12 s的时间内, 整个复叶的所有小叶完全彻底关闭。

3 草莓对电脉冲刺激的反应

3.1 电脉冲刺激下草莓果实的表型变化

我们以非敏感植物草莓为材料, 对其在电脉

图4 不同电压下含羞草小叶关闭反应时间的变化
Fig.4 Changes in closing time of leaves in *M. pudica* under different voltages

冲刺激下的应答反应进行研究。草莓果实发育和成熟进程可分为3个主要阶段, 即绿果期、白果期和红果期(图6-A)。白果期也可大致分为3个时期, 即小绿果、中绿果和大绿果。白果期是果实成熟的转变期, 此时的特点是果肉变白, 而种子变红。到红果期, 种子和果肉都完全变红。

草莓为非敏感植物, 刺激应答反应不是可察觉的快速运动而是发育进程中的形态变化。这是一个长期的过程, 因此采用多脉冲刺激。我们使用针刺法, 结果发现, 多次电脉冲刺激下, 金属电极会发生电离反应, 产生的金属离子对果实造成伤害。因此, 通过医用复合电极材料的搭桥连接, 对中绿果进行了每天6次单脉冲刺激。结果(图6-B)显示, 刺激3 d后草莓果实与没有刺激的对照

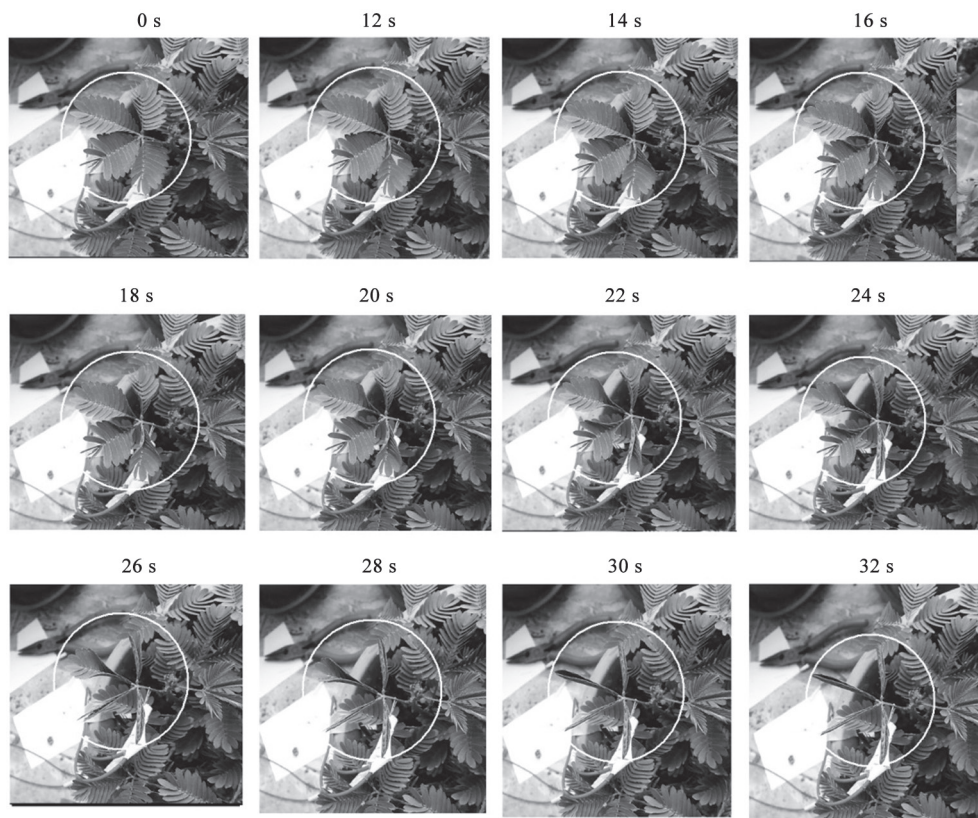


图5 在20 V电压刺激下小叶关闭的观察

Fig.5 Observation of leaflet closing in response to the stimulation of 20 V voltage

圆圈内为刺激叶片。

表现一致。之后再对草莓果实进行了连续音频电脉冲刺激,结果(图6-C)发现,连续脉冲刺激可延缓草莓果实发育进程,特别是种子。当对照果实进入红果期,刺激果实仍为绿色。

3.2 多次单脉冲刺激下草莓果实中IAA、ABA和JA含量的测定

ABA和IAA是果实发育和成熟的关键激素信号,而JA可介导内源电信息传递,因此对电脉冲刺激下草莓果实中ABA、IAA和JA含量进行了研究。结果(图7)显示,电脉冲刺激下IAA含量略有下降,但与其他处理没有明显差异。电脉冲刺激下ABA含量显著高于刺激前的,略高于对照。而电脉冲刺激导致JA含量显著提高,约是其他两个处理的2倍。

进一步研究了果实发育过程中JA含量变化,结果(图8)发现,随着果实发育进行,JA含量逐渐提高,在转色期达到高峰,然后下降,这表明电脉冲刺激对草莓果实发育的影响可能和JA含量有关。

3.3 连续脉冲刺激下草莓果实中相关基因的表达分析

结果(图9)显示,连续音频电脉冲刺激可抑制一系列果实成熟标志基因的表达,其中细胞壁代谢相关基因*FaEXP3*受抑制程度最大,其次是色素代谢相关基因*FaCHI*和细胞壁代谢相关基因*FaPG*,而*FaDFR*和*FaQR*受抑制程度最小。与对照相比,所有基因的表达量都显著下降。

讨 论

动物生命活动的调控基础是神经介导的电化学信息传递。电信号传递的细胞生物学机制在于跨膜电位的改变可以触发电压敏感离子通道的状态,进而通过离子信号调控细胞的生命活动。理论上分析,如果内源的细胞电脉冲传递可以触发电压敏感离子通道活性,那么外源电脉冲刺激也有可能影响电压敏感离子通道,进而影响细胞的生命活动。在医学领域已成功运用的各种电刺激



图6 电脉冲刺激对草莓果实发育的影响

Fig.6 Effect of electrical pulse stimulation on strawberry fruit growth and development

A: 草莓果实发育和成熟过程; B: 草莓果实的单脉冲刺激, 1: 刺激第1天; 2: 刺激第2天; 3: 刺激第3天; C: 连续脉冲刺激, 1: 刺激前8 d整体植株; 2: 刺激前8 d的草莓果实; 3: 刺激前4 d的草莓果实; 4: 刺激第1天的电极连接; 5: 刺激1 d的草莓果实(左边为刺激, 右边为对照); 6: 刺激3 d草莓果实(左边为刺激, 右边为对照); 7: 刺激8 d草莓果实(左边为刺激, 右边为对照); 8: 刺激10 d草莓果实(左边为对照, 右边为刺激)。

方法和技术可充分说明这个问题(曾伟和师彦荣2008; 陆敏芳等2009; 张定国和朱向阳2010)。和动物相比, 人们对植物电信号的了解很少。目前的研究逐步肯定植物中电信号的存在(娄成后1992; 任海云等1993; 郭健等2000), 且植物对外源电信号的应答研究则更少报道(Sukhov等2013; Katicheva等2014; Zimmermann和Felle 2009; Stolarz等2003)。本研究发现, 无论是含羞草还是草莓都能对电脉冲刺激产生应答反应, 这说明植物也有电信号传递和应答。

本文以含羞草为材料的研究发现, 含羞草对

电脉冲刺激的应答反应非常敏感。单脉冲刺激微弱刺激(5 V以下)足可以导致小叶关闭和叶轴下垂; 而以草莓果实为材料的研究发现, 连续脉冲刺激可延缓草莓果实发育进程, 并抑制果实成熟相关基因的表达。研究结果证实了敏感植物的应答反应体现在快速的机械运动, 非敏感植物则体现在形态建成的调控。

植物激素JA作为系统防御激素, 在植物的系统抗虫或抗病反应中起着重要作用(Sengottayan等2009)。Mousavi等(2013)的研究发现, 模式植物拟南芥某叶片遭遇昆虫叮咬伤害时, 其他叶片可以

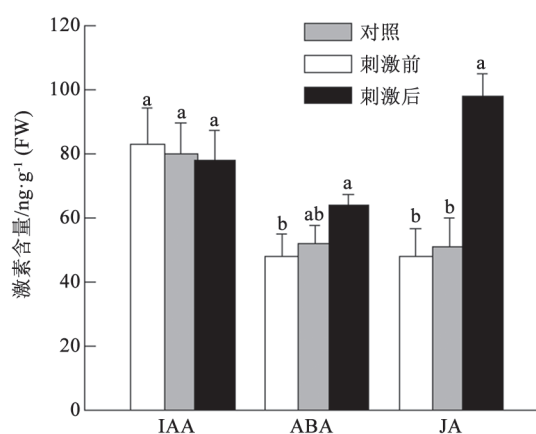


图7 电脉冲刺激对草莓果实中ABA、IAA和JA含量的影响
Fig.7 Effect of electrical stimulation on the contents of ABA, IAA and JA in strawberry fruits

不同小写字母表示不同处理之间在 $P<0.05$ 水平上差异显著。

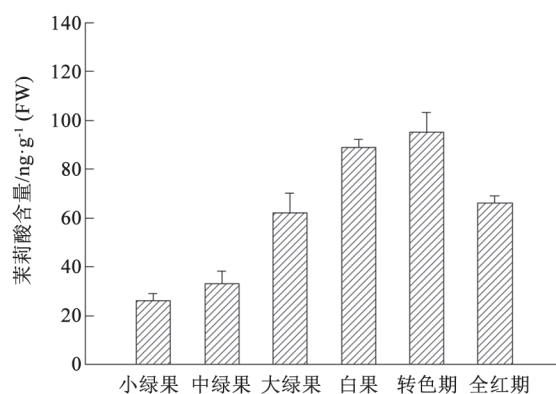


图8 草莓果实发育过程中JA含量变化
Fig.8 Change of JA content in strawberry fruit during growth and development

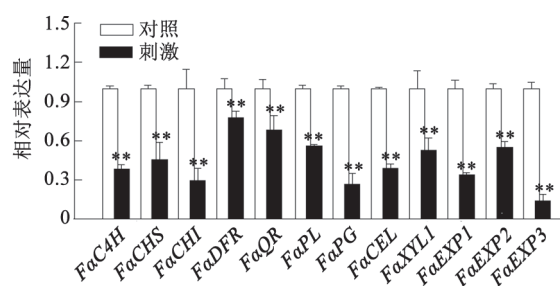


图9 电脉冲刺激对草莓果实成熟相关基因表达的影响
Fig.9 Effect of electrical stimulation on expression of ripening-related genes in strawberry fruits

**表示处理和对照之间在 $P<0.01$ 水平上差异显著。

积累JA, 而介导JA积累的机制是叶片之间的电信号传递。该研究表明, 植物体内不仅存在电信号

传递, 而且电信号具有特定的生物学意义。本研究发现电脉冲刺激可诱导草莓果实中JA的积累。这说明电脉冲刺激的应答反应可能调节植物的生理和代谢。那么电脉冲刺激能否调控植物抗性将是一个值得深入探讨的问题。

植物对电脉冲刺激的反应是复杂的, 不同的刺激力度、脉冲频率、刺激时间及植物发育时期均可导致不同的应答反应。本研究只是一个初步探索, 要想深入了解植物对电脉冲刺激的应答反应, 还需全面、系统地分析具体的刺激条件和应答反应之间的关系。

在农业生产中, 通过物理刺激也可以合理地调控植物的生长发育。例如, 在温室育种中, 由于光、温和育苗密度等条件的限制, 苗木生长往往过于纤弱。采用一定频率和力度的刷扫技术和机械震荡技术可有效调控苗木生长, 提高苗木移栽成活率和抗逆能力(王娟2006; Garner和Langton 1997; Garner和Björkman 1996; Beyl和Mitchell 1977)。而电脉冲刺激也为农业中调控植物生长和发育提供一个新思路。

参考文献

- Braam J, Davis RW (1990). Rain, wind, and touch-induced expression of calmodulin and calmodulin-related genes in *Arabidopsis*. *Cell*, 60 (3): 357-364
- Brady CJ (1987). Fruit ripening. *Annu Rev Plant Physiol*, (38): 155-178
- Garner LC, Björkman T (1996). Mechanical conditioning for controlling excessive elongation in tomato transplants: sensitivity to dose, frequency, and timing of brushing. *Am Soc Hort Sci*, 121 (5): 894-900
- Garner LC, Langton FA (1997). Brushing pansy transplants: a flexible, effective method for controlling plant size. *Sci Hort*, 70 (2): 187-195
- Guo J, Zhao BG, Liu YF, Zhang QQ (2000). Electrical wave transmission in plants. *J Nanjing Forest Univer*, 24 (3): 71-75 (in Chinese with English abstract) [郭健赵, 博光, 刘云飞, 张沂泉(2000). 植物体内的电波传递. *南京林业大学学报*, 24 (3): 71-75]
- Katicheva L, Sukhov V, Akinchits E, Vodeneev V (2014). Ionic nature of burn-induced variation potential in wheat leaves. *Plant Cell Physiol*, 55 (8): 1511-1519
- Lou CH (1992). Riddle of the vascular system-the life vein of higher plants. *Plant Physiol Commun*, 28 (1): 1-10 (in Chinese with English abstract) [娄成后(1992). 高等植物的命脉: 维管系统之谜. *植物生理学通讯*, 28 (1): 1-10]
- Lu MF, He WX, Dai M, Qian KX (2009). Research progress of deep brain stimulation. *Prog Mod Biomed*, 9 (6): 1186-1188 (in Chinese with English abstract) [陆敏芳, 和卫星, 戴铭, 钱坤喜

- (2009). 脑深部电刺激的研究现状. 现代生物医学进展, 9 (6): 1186–1188]
- Sherrod AB, Joyce GL (1992). An effective system for brushing vegetable transplants for height control. Hort Tech, 2 (3): 412–414
- Mitchell CA, Myers PN (1995). Mechanical stress regulation of plant growth and development. Hort Rev, 17: 1–4
- Mousavi SAR, Chauvin A, Pascaud F, Kellenberger S, Farmer E (2013). GLUTAMATE RECEPTOR-LIKE genes mediate leaf-to-leaf wound signalling. Nature, 500 (7463): 422–426
- Piszczek PM, Jerzy M (1987). The response of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) transplants to mechanical stress. Acta Agrobotani, 40 (12): 5–14
- Ren HY, Wang XC, Lou CH (1993). The universal existence of electrical signals and its physiological effects in higher plants. Plant Physiol J, 19 (1): 97–101 (in Chinese with English abstract) [任海云, 王学臣, 娄成后(1993). 高等植物体内电信号存在的普遍性及其生理效应. 植物生理学报, 19 (1): 97–101]
- Senthilnathan S, Kalaivani K, Manyong C, Chaehoon P (2009). Effects of jasmonic acid-induced resistance in rice on the plant brownhopper, *Nilaparvatalugens* Stål (Homoptera: Delphacidae). Pestic Biochem Physiol, 95 (2): 77–84
- Stolarz M, Dziubińska H, Krupa M, Buda A, Trebacz K (2003). Disturbances of stem circumnutations evoked by wound-induced variation potentials in *Helianthus annuus* L. Cell Mol Biol Lett, 8 (1): 31–40
- Sukhov VE, Akinchits E, Katicheva L, Vodenev V (2013). Simulation of variation potential in higher plant cells. J Membr Bio, 246 (4): 287–296
- Wang J (2006). Non-environmental regulation of excessive growth of factory seedlings. Anhui Agri Sci Bull, 12 (13): 57–58 (in Chinese with English abstract) [王娟(2006). 工厂化育苗中幼苗徒长的非环境调节. 安徽农学通报, 12 (13): 57–58]
- Zeng W, Shi YR (2008). Research on instrument with electricity impulse stimulation. Chin Med Equip J, 29 (3): 26–27 (in Chinese with English abstract) [曾伟, 师彦荣(2008). 生物电脉冲刺激仪的研制. 医疗卫生装备, 29 (3): 26–27]
- Zhang DG, Zhu XY (2010). Functional electrical stimulation in China: retrospect, current situation and prospect. Chin J Rehabil Theory Pract, 16 (9): 848–850 (in Chinese with English abstract) [张定国, 朱向阳(2010). 功能性电刺激研究在中国的回顾、现状与展望. 中国康复理论与实践, 16 (9): 848–850]
- Zimmermann MR, Felle HH (2009). Dissection of heat-induced systemic signals: superiority of ion fluxes to voltage changes in substomatal cavities. Planta, 229 (3): 539–547

Responses of *Mimosa pudica* and *Fragaria vesca* to electrical pulse stimulation

JIA Ke-Nan¹, WEI Yun-Bo¹, WANG Yi^{2,*}

¹Experimental School of Beihang University, Beijing 100191, China; ²College of Horticulture, China Agricultural University, Beijing 100193, China

Abstract: In this study, the sensitive plant *Mimosa pudica* and non sensitive strawberry (*Fragaria vesca*) were used as experimental materials, we studied the possibility of response and its rule to electric pulse stimulation. The results showed that *M. pudica* was very sensitive to electric pulse stimulation, and weak single pulse stimulation could lead to lobular closed and drooping leaf. Continuous electric pulse stimulation could delay the development of strawberry fruit and induce JA accumulation, but had no significant effect on the contents of IAA and ABA. Moreover, the expression of genes related to fruit ripening, such as *FaCHS*, *FaDFR*, *FaQR*, *FaPG*, *FaEXPs*, and so on. The results showed that the response of sensitive plants to electrical pulse stimulation was rapid mechanical application, but not sensitive plants could be expressed in gene expression, physiological metabolism and growth.

Key words: electrical pulse stimulation; response; strawberry (*Fragaria vesca*); *Mimosa pudica*

Received 2016-09-20 Accepted 2017-03-15

This work was supported by the Eighth Groups of “Soar Project” in Beijing Youth School of Science and Technology Innovation, the Laboratory of “Soar Project”, and Key Laboratory of Beijing Municipality of Stress Physiology and Molecular Biology for Fruit Tree.

*Corresponding author (E-mail: wangyi@cau.edu.cn).