

我国静电生物学效应机理研究新进展*

那 日[†]

(内蒙古大学理工学院物理系 呼和浩特 010021)

冯 璐

(北京理工大学理学院应用物理系 北京 100081)

摘 要 文章综述了静电处理作物种子及诱发的生物学效应,研究了电场阈值、电场极限值和电场作用时间等电场剂量问题.通过生理指标分析了电场对作物发芽势、发芽率、芽长、根长、叶片自然鲜重、种子简化活力指数、植物代谢及营养吸收的影响.从大量的应用研究中广泛探索了电场对植物细胞膜完整性的影响及对酶活性的改变,希望用物理学方法研究对酶蛋白分子构象的影响,总结了电场在改善植物抗逆性研究方面的最新进展,以期在细胞和分子水平上探讨其作用机理,为静电在农业上的进一步广泛应用奠定理论基础.

关键词 静电场,生物效应,作用机理

MECHANISM OF THE BIOLOGICAL EFFECTS OF ELECTROSTATICS

NA Ri[†]

(Department of Physics, College of Science and Technology, Neimongol University, Hohhot 010021, China)

FENG Lu

(Department of Applied Physics College of Science, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract Recent advances in the research on biological effects of electrostatics are summarized, including the influence of electric field dosage on biochemical and physiological reactions. The indexes of formation of the seeds and seedlings, changes in plant enzyme activity and the integrality of cell membranes are analyzed. The biological effect and possible physiological role of electrostatics are discussed at the cell and molecular levels in the hope of providing a scientific basis for wide applications of electrostatics in agriculture.

Key words electrostatic, biological effect, mechanism

静电场生物学效应的发现是在 18 世纪中叶,但它得到科学工作者的重视,并进行系统而深入研究还是近几十年的事.20 世纪 60 年代, Murr 与 Sidaway 曾分别研究了电场对植物细胞伤害和植物呼吸强度的影响^[1,2].20 世纪 80 年代, Kazimierz 用静电场精选燕麦种子时,发现提高了种子的发芽势,缩短了发芽时间^[3].1994 年, Tsong 等报道了生物膜 ATP 酶能够从规则的交变电场中吸收自由能并做功^[4].国内从事电生物效应研究起步较早的是北京大学,早在 1958 年,他们就开始用电场、磁场作为刺激源处理农业生物活体.进入 20 世纪 80 年代,我国的研究工作者在研究电场对植物的影响方面做了大量的工作,引起了国外同行的重视.国内的科学工作者对

20 多个不同品种的种子用电场处理,研究了电场对萌发、活力、生理、生化过程、幼苗生长、植株生育性及产质量的影响^[5].电场处理种子提高产质量的研究成果,已应用到生产实践中^[6].由此可见,只要有外加电场的作用,生物体就会作出某种响应,即电场将导致某种生物学效应.这种效应在宏观上表现为某种或某些生物化学指标的统计学变化.但是,人们对于电场生物效应的具体物理、化学过程,目前还了解得很不充分.因此,在对于电场生物学效应的研究中目前还不能通过理论分析,正确预言某种电场

* 国家自然科学基金(批准号 50267001)资助项目

2002-08-05 收到初稿 2002-10-28 修回

† 通讯联系人. E-mail: yangtq@mail.imu.edu.cn

作用于某种生物系统必将导致某种生物学效应;而是首先通过实验,即用一定的电场作用于一定的生物系统,通过生物化学检测,发现其产生的生物学效应,在大量实验的基础上进一步研究其产生的机理。

1 电场剂量研究

剂量学是电场生物学效应研究的一个重要的先决性的基础问题。在描述某种生物学效应的电场作用条件时,电场强度和作用时间是首先需要解决的问题。静电场对植物生长的影响,目前没有精确的公式,只有试验总结出来的数据范围。大量的实验表明,电场生物效应存在电场阈值和电场极限值。

电场阈值是电场能否引起生物学效应的临界条件,一般以形态指标作为筛选的标准,如发芽势、发芽率、根长、芽长、鲜重及简化活力指数等。电场能否引起生物学效应的精细方法是观察植物生理活动和过氧化物酶、酯酶及淀粉酶等同工酶的行为,因为在许多情况下,电场虽然未引起幼苗生长的显著差别,却可能有明显的不同,同工酶作为生化指标比形态指标更为敏感。

电场极限值是电场导致植物种子损伤的临界条件。1995年,陈家森用紫外透光方法、质子核磁纵向弛豫时间的测定法和鲁米诺化学发光的光子数测定法相结合,研究了电场对水结构的影响,发现电场能使水中部分水分子分解成 OH^- 和 H^+ ,其中 OH^- 中的电子在电场催化下被水中氧分子俘获后生成超氧阴离子自由基^[7]。我们知道,生命体内适量的超氧阴自由基具有代谢贮能转化排废及防御消毒的作用。但由于场强和时间的累积效应,活体内会产生过量的超氧阴自由基,过量会破坏脂质、损害核酸、破坏碳水化合物及蛋白质,所以确定电场极限值是很重要的。一般试验用细胞存活率曲线模型^[8]来确定电场对细胞的平均致死剂量,以确定电场极限值。

电场阈值是能否引起生物学效应的关键,但电场作用时间也是一个重要的因素。因此在选择处理最佳剂量时也必须选择作用时间。

通过观察和测量种子发芽数,平均发芽速度和幼苗百株重等,研究作用种子的电场生物学效应与电场强度的关系,发现^[9]生物响应与外电场作用呈振荡关系,电场剂量一般为 $0.5\text{—}6.0\text{kV/cm} \times 5\text{min}$;利用生物系统超弱光子辐射研究最佳电场剂量,得出^[10,11]大麦种子的最佳电场剂量为 $4.5\text{kV/cm} \times 40\text{min}$,小麦种子为 $4.5\text{kV/cm} \times 10\text{min}$;通过生物指标的检测总结出最佳电场剂量的数据范围是,白菜、

油菜、萝卜等小颗粒种子为 $30\text{kV/cm} \times 5\text{min}$,豌豆、黄豆、花生等大颗粒种子为 $100\text{kV/cm} \times 20\text{min}$ ^[12]。对其他各类种子,一般情况下,最佳电场剂量为 $100\text{—}200\text{kV/cm} \times (0.08\text{—}0.17)\text{h}$,此时种子活力增加40%,增产5%—20%^[13]。对不同的种子,场强和处理时间不同。

电场处理方法常以干种子置于一定电场下进行,其效果有时并不理想,为此能否采用不同的场强处理同一批种子,进一步提高作用效果,目前这方面的研究还很少。只是在电场细胞融合技术中^[14],分别采用了 400V/cm , 700V/cm , 1MHz 和 7kV/cm , $50\mu\text{s}$ 脉冲电场将两细胞融合。因此,多次处理的效果及最佳作用剂量的研究有待于进一步开展。

2 一般性生物学效应研究

许多实验表明^[15—19],静电场对作物发芽势、发芽率、根长、芽长、叶片自然鲜重及种子简化活力等均有较显著的影响。一般认为这是由于(1)电场使水的浮力发生变化,大的分子团变为小分子团,并有序排列,使水分子容易通过种子皮,增加种子的呼吸作用;(2)电场使细胞两侧出现附加电荷,膜两侧电荷密度的改变引起脂质极性端基的侧向移动,使烃链倾斜弯曲——相变,膜功能得到一定的修复。对微生物的类似研究同样证明了上述结果^[20]。另外有许多文献指出^[15,17,21],静电场可促进种子萌发和根系生长,提高淀粉酶、蛋白酶、脂肪酸、过氧化物酶和酯酶等活性,促进作物新陈代谢。这是因为电场作用影响生物体的电特性,电场作用在生物膜上,改变了膜上电荷分布,影响了膜电位,使种子吸水后离子扩散与电致泵系统运转活跃,从而驱动合成更多的ATP酶,电场影响了膜透性,同时也影响了酶活性。认为电场可使蛋白质、氨基酸、维生素及油料作物的含油量增加。

此外,电场对植物代谢及对矿质营养的吸收产生影响。马福荣等^[22,23]分别于1993年和1995年,通过测定静电场下放射性同位素 ^{32}P 和其他8种无机离子在植物体与生长环境中的分布,证明了静电场能促进植物对离子的吸收。他们对此作了进一步研究和解释。静电场使植物根呼吸速率增大,根部放出的 CO_2 增多, CO_2 和 H_2O 结合而产生 H^+ 和 HCO_3^- ,由于 H^+ 浓度的增加,使 H^+ 与土壤中阴离子交换的速度增大,因此植物吸收离子量增大。静电场使土壤表面部分的阳离子浓度增加。1991年,王

淑惠^[24]实验证明电场使小麦叶片中钙、镁、铁和锌等元素的含量有不同程度的提高。2000年范青等^[25]也证明了电场能增强矿物质代谢,促进无机营养的吸收。

1994年,马福荣等^[26]研究了静电场对植物光合器官结构和功能变化的影响,发现水萝卜对矿质元素吸收增加,叶片光合色素含量及光合呼吸活性增加,叶片光合细胞数目、细胞中叶绿体数目、叶绿体中基粒及类囊体片层数均有所提高。

3 细胞膜完整性及酶活性的研究

细胞是植物和动物这些高级有机体的基本结构单元,每个细胞都有精致和复杂的膜系统,因此电场对细胞膜的影响越来越受到广泛的重视。

在生命状态中,细胞在它的内部保持一种与细胞外液不相同的电解质成分,它的功能是保护细胞膜。电解质外渗率的大小在一定程度上反映了种子细胞膜系统的完整程度。静电场对膜系统及膜结构等的作用,通过电解质外渗率具体体现出其作用效果。1997年王莘等^[15]用2.6kV/cm×60min处理月见草种子,发现其电解质外渗率明显降低,另一些实验也证明了同样的结果^[17,19,27]。

植物细胞生理学已经证实,细胞膜的基本结构是一个由各种极性磷脂分子构成的双分子层。这个模型从理论上证明了细胞膜带电荷脂质分子呈不对称性分布,因此产生一个跨膜电压,跨膜电压的大小取决于膜上带电荷脂质分子的解离状态,并且受到环境中氢离子浓度(pH)的调制。 σ_1 、 σ_0 分别表示细胞膜内外两侧的面电荷密度,并假设两表面上带电荷分子呈均匀分布, ϵ 表示细胞膜内外的介电常数,在双分子层中间($a_1 < a < a_0$)认为无离子存在,是一个介电常数为 ϵ_1 的电介质区域。根据拉普拉斯方程可以得到细胞膜外表面的电势是

$$\left\{ \begin{aligned} \phi(a_0) &= -\frac{3}{2}E_0a_0\cos\theta, \\ r &= a_0. \end{aligned} \right.$$

内表面的电势为 $\phi(a_1) = 0$ $r = a_1$ 。因此,细胞膜两边的电势差 $\Delta\phi = -\frac{3}{2}E_0a_0\cos\theta$ 。细胞膜内的电场强度

$E(\theta) = \Delta\phi/a_0 - a_1 = \frac{3}{2}\left[\frac{a_0}{a_0 - a_1}\right]E_0\cos\theta$ 。所以,膜内电场应比外加电场大 $\frac{3}{2}\left[\frac{a_0}{a_0 - a_1}\right]E_0\cos\theta$ 。

由于膜内存在电场,所以膜的每一部分都可以

看作是一个小电容器。

在面积为 ΔA 的电容器板上的电荷密度 $\sigma = \kappa\epsilon_0E = \frac{3}{2}\left[\frac{\kappa\epsilon_0}{a_0 - a_1}\right]a_0E_0\cos\theta$ 。

经计算得:单位面积上的电容 $C' = \frac{\kappa\epsilon_0}{a_0 - a_1}$ 。所以, $\sigma = C' \cdot \Delta\phi(\theta)$

介质极化的微观理论中指出,蛋白质分子的取向极化是由电场作用于分子中的束缚电荷产生的。除此之外,物质中还存在各种载流子,它们可以在物质中迁移一定距离,在电场作用下也会产生运动。当载流子在物质内部或界面上被俘获,或者在电极表面或其他不均匀界面上不能自由放电,使载流子运动停止时,就会出现空间电荷分布并对外加宏观电场产生影响,使细胞膜电容量增加。这就是电场对酶蛋白质半导体性质的影响。外加静电场使膜两侧出现附加电荷,膜两侧电荷密度的改变引起脂质极性端基侧向移动,引起烃链倾斜弯曲,即产生相变,膜的功能得到修复。目前用差示扫描量热法(DSC)、激光拉曼光谱法和自旋标记法来研究细胞膜脂质分子烃链的构象,探讨膜结构^[28],但未见用此三种方法研究电场对膜结构的影响。

保护酶系的存在和活性的增强是细胞免于伤害或抗逆性加强的重要原因。很多理化逆境因子都能导致机体活性氧代谢的失调与自由基的积累,并进一步导致细胞膜结构的损伤和生理代谢的紊乱,机体内存在的抗氧化系统以SOD、POD、CAT抗氧化酶为主,它们能在一定范围内及时清除过多活性氧,以维持正常生理活动。

酶是单纯的蛋白质或蛋白质与非蛋白质分子的结合物,具有高度的催化活性。它的活性与分子结构特别是高级结构(二级、三级和四级)密切相关,如果高级结构发生变化或某种功能团受影响,酶将降低或失去活性。不少学者研究了电场的生物学效应,其中最典型的工作是对于酶活性的研究^[15,27,29-31]。

1996年,赵剑等^[32]首次将高压静电场应用到组织培养中,从外植体脱离分化,继代增殖,到通过器官发生及胚状体发生,形成再生植株这一组织培养全过程中,分别用适宜强度和方向的静电场处理各阶段培养物,发现愈伤组织诱导率比对照组平均高36%,愈伤组织鲜重比对照组平均增长33.67%,且形成的愈伤组织质量较高。生理生化分析显示,静电场处理使愈伤组织诱导过程中培养物的可溶性蛋白质含量比对照组平均高22.0%,POD水平比对照

组高 46% ,淀粉酶(AML)活性比对照组平均高 49.81% ,SOD 活性水平较高 ,POD ,AML ,SOD 与对照组活性水平差异多呈显著($0.05 > P > 0.01$) 或比较显著($P < 0.01$, P 为从总体中做随机抽样时得到的样本检验值落在该区间的概率)。实验证明,静电场在苜蓿叶片愈伤组织的发生和形成中有显著的促进作用,并从生理生化分析中找到了证据。作者对机理的分析是(1)静电场提高了膜电位,使细胞内合成更多的 ATP,从而提高了膜主动吸收、运转营养物质的能力,提高代谢水平,为有丝分裂的启动积累更多的物质。(2)从电生理角度看,细胞表面带负电荷,负高压静电场给细胞表面加上一个微安级电流,加大了膜电位,使激素传递更快,且细胞受损后,产生的损伤电流由此加强,促进信息和物质传递,使受损部位产生需要修复的信息。当静电场所产生的电流符合“生物学通频带”时,组织细胞产生期望反应,这就是最适合的场强。(3)高压电晕线静电场在场内产生一定的空气负离子和自由基,它们的生理效应较显著。(4)静电场促进了植物对 Ca^{2+} 的吸收,而 Ca^{2+} 对愈伤组织的发生、形成很重要^[33,34]。

在大量的应用研究中,人们广泛地探索了电场对酶活性改变的影响和酶活性的变化在改善作物抗逆性上的宏观效应,自由基清除酶 POD ,SOD ,CAT 和表示细胞膜损伤程度的膜脂过氧化产物丙二醛(MDA)是测定电场生物效应普遍采用的生化指标,超氧阴离子自由基 $O_2^{\cdot -}$ 和 H_2O_2 反应生成 $\cdot OH$, $\cdot OH$ 具有很强的生成氧化膜不饱和脂肪酸的能力,产生具有破坏力的脂质自由基。过氧化氢酶 CAT 是 H_2O_2 的解毒剂,CAT 可以减少其毒害,防止由 H_2O_2 诱发的单线态氧和某些自由基的产生,CAT 酶是含铁叶啉蛋白质酶,能催化 H_2O_2 分解成氧和水,POD 酶清除 H_2O_2 ,起多种保护作用,SOD 酶是 $O_2^{\cdot -}$ 专一清除酶,酶使膜结构和 DNA 蛋白质等生物大分子避免损伤,增加抗逆性。

酶活性的物理机理与酶蛋白的构象密切相关,构象在酶活性中起决定性的作用。蛋白质和核酸等生物聚合物的功能直接同它们的构象特性相关,它们的结构所具有的挠性和涨落性是它们完成活性功能的必要条件。蛋白质球体结构的物理特性是(1)决定蛋白质酶动力系统的功能特性,球状结构弱的相互作用包括氢键、范德瓦尔斯力及带电基团间的静电相互作用维护了某些特定的构象。除了甘氨酸之外,蛋白质中其他所有的氨基酸都是手性分子,即

都以两种构象形态存在,L 态和 D 态。在蛋白质二级结构中,也主要有两种构象形态存在,即 α 螺旋(氢键加固其中的各个环节)和 β 折叠(各肽链间由氢键相连)。当电场作用于生物体时,电场使体内的自由电子和离子的分布发生改变,同时使生物介质发生极化,而这种极化主要是非极性的电子、离子的位移极化和极性分子的取向极化。电场的作用,使蛋白质中离子浓度改变,加速氢键的形成速度。(2)蛋白质最主要的功能是酶的活性。酶促过程是一个化学反应,是在立体电子控制下进行的,即存在一个电子变化的能量间的相互关系,这发生于键的形成和破坏,即发生于电抗物的构象中,也就是底物分子电子壳层的畸变。酶的影响使活化能明显减小,这是蛋白质分子构象变化的结果,也就是蛋白质分子中的某些原子基团绕其中的单键转动的结果。因此,我们可以根据电子-构象相互作用理论(ECI)^[28],说明电场改变酶活性的物理机理。一个酶不仅是一个特异的反应试剂,而且也是一个特异的反应环境。酶的非极性内部为活细胞提供了一个等同于化学家用的有机溶剂环境。它提供了一个低介电常数的介质,在此介质中反应试剂间可以有很强的电相互作用,当底物被引入低介电常数的介质中时,底物和酶极性基团间可以产生很强的电相互作用。任何化学反应都要伴随电子和原子核的位移。对于像酶一类蛋白质来说,原子核的位移方向是特定的,它主要来自于绕单键的转动。因此蛋白质中原子核的运动就成为构象运动。但是,电子能级改变之后才能发生构象变化。可以说,有电子-构象相互作用才有酶催化。酶的作用提供了一个反应介质,反应剂的电子结构变化将会由介质的极化(在上面已讨论)和它的重组表现出来。底物的化学重组同时伴随着蛋白质分子相应的构象变化。当化学体系本身降低能量时,构象能量就提高,或者相反,构象能量降低时底物分子的某一化学键能量则升高。构象能量提高意味着蛋白质分子内部所发生的某种张力或基团位移。可以认为电场处理改变种子细胞膜表面电荷的性质和数量,使极性的磷脂分子构象或排列方式发生了变化,因此改变了膜的相态。

目前,电场生物学效应研究的重点是电场对酶的影响。电场对作物种子内代谢过程的调节归根到底是对这些过程酶的调节。电场对酶蛋白分子构象的影响应结合物理学方法(例如,X 射线分析法,电子显微镜法,电子能谱学和振动能谱学的方法,发光光谱分析,天然旋光性及圆振性二向色性及电子顺

磁共振谱学)来研究其机理.这不但使我们能研究生物聚合物的静态结构,而且还可以研究它们构象跃变的动力学,这方面的研究有待于进一步开展.

4 抗逆性(抗寒、抗旱、抗盐)的研究

当前植物生理生态学研究的热点问题之一是,胁迫环境(主要是高温与低温、盐胁迫)下的生理生态响应.它从生理机制上探讨植物与环境的关系,物质代谢和能量流动规律以及植物在不同环境条件下的适应性^[35].因此,电场对植物抗逆性影响的研究应成为目前研究的热点.

2000年,杨体强研究电场对油菜种子苗期干旱胁迫后生长的影响发现^[29]:田间出苗率与种子活力呈正相关.高活力的种子由于有较强的生命力,对干旱有较强的抵抗能力.实验还表明,不同电场强度处理油菜种子,对苗期干旱胁迫后生长具有不同的影响,且同一电场强度对不同抗旱生长发育指标的影响程度也不相同.与对照组相比,1.5kV/cm处理条件对应的各项抗旱指标具有极好的相关性,变化均达到极显著水平.

关于植物适应高温的机制,近来许多植物学家进行了探讨,认为植物高温的机制是^[36],高温主要破坏光系统II,表现在光系统II量子产率 F_v/F_m 降低(其中 F_v 为可变荧光, F_m 为最大荧光),初始荧光 F_0 升高,但高 CO_2 浓度可部分抵消这种作用.电场对两个光系统影响的研究未见报道.

植物学研究认为适应低温的机制是,温度适宜时,植物体内贮存大量的渗透调节物质,例如丙二醛(MDA)、可溶性糖分、多胺和蛋白质,这样在低温时可免受冷冻造成的组织损伤^[36].

1992年,王淑惠等^[24]用氨基酸分析仪、 $HNO_3-H_2SO_4$ 消化材料和AA-1475-GTA-95光谱分析仪测定矿质元素发现高压静电场处理麦种,氨基酸含量%×麦种的干重和蛋白水解氨基酸含量比对照组高.元素分析说明,高压静电场处理的小麦种子所长成的幼苗体内,积极进行含氮化合物的合成,代谢活跃,处理组能抵抗恶劣环境.在2月份连续多日低温冻害下,其冻害程度为0.38级,而对照组为0.74级,体内游离脯氨酸含量比对照组高($P < 0.01$).

1995年,赵剑等^[30]用高压静电场进行预处理,不同程度地提高了大豆种子抗低温吸胀冷害的能力.处理组种子在低温吸胀时,无机离子、可溶性糖和可溶性蛋白的外渗量显著低于对照组.静电处理

提高了种子CAT、POD、SOD等清除自由基的酶活性,降低了MDA的积累,促进种子代谢水平,提高了种子的淀粉酶、脱氢酶的活力和可溶性蛋白含量.从膜的相变和损伤修复方面探讨了静电场的作用机制,认为干种子吸水萌发时,细胞膜磷脂分子构象由脱水时的六角晶状恢复到水合时的片层结构,膜相也由凝胶状态恢复到液晶状态,随之膜的选择半透性功能也迅速恢复.而低温环境对膜的这种转变不利,且细胞内外巨大的水势差易引起膜损伤.高压静电场预处理,可能是通过改变种子细胞膜表面电荷的性质和数量而使极性的磷脂分子构象或排列方式发生变化,改变了膜的相态,提高了保护酶系和代谢酶系的活力,最终提高了抗吸胀冷害的能力.

1997年,赵剑等^[31]研究了高压静电场预处理种子对大豆子叶期到第一真叶期幼苗的抗低温胁迫的能力.他们发现,处理组幼苗在2—4℃低温胁迫下比对照组有较高的POD、CAT和SOD、MDA的活力,降低了MDA的积累量和电解质渗漏,从可溶性蛋白质含量的变化说明处理组幼苗较对照组幼苗抗冷害能力提高.他们从自由基学说的角度作了探讨,认为静电场预处理的大豆幼苗有较高的POD、SOD、CAT活性,但仍有MDA产生,与对照组相比,处理组幼苗有较强活力.处理组酶活性调节功能较对照组完善.当突然受到低温的影响时,蛋白质合成减缓,处理组幼苗的可溶性蛋白含量迅速升高,SOD、POD、CAT活力上升率较对照组快,使清除自由基能力得到迅速提高,说明静电场预处理确实提高了幼苗耐受力.

2000年,赵剑等^[27]用气相色谱仪和TTC细胞活力检测仪相结合的方法对用高压静电场处理苜蓿叶片的愈伤组织进行了研究,发现静电场处理提高了淀粉酶、过氧化物酶和SOD的活性和可溶性蛋白的含量,促进愈伤组织对冷害的防御能力.高压静电场处理组的不饱和脂肪酸(油酸、亚油酸、 α -亚麻酸、 β -亚麻酸)含量高于对照组,脂肪酸不饱和指数(VIFA)也高于对照组.这说明静电场处理可促进愈伤组织细胞抗寒能力的提高.机理分析是静电场可能促进膜相和膜相修复转变,提高氧自由基清除酶系活力,增强了对种子清除过量氧自由基的能力,从而降低了膜系统过氧化损伤的程度,验证了静电场可以通过影响膜脂肪酸成分含量而影响组织细胞的抗冷性的作用机制.

盐胁迫是地球上生物进化期间所遇到的第一个化学胁迫的因子.盐胁迫对植物危害表现在内部生

理机制上是降低植物单位鲜重、叶绿素和类胡萝卜素等(Car)的含量、叶绿体对光能的吸收能力、 Mg^{2+} 对两个光系统之间激发能分配的调节能力及荧光淬灭速率。盐胁迫植物采取抗氧化的防御机制,其中几种关键酶活性增加,例如抗坏血酸过氧化物酶(APX)、锰超氧化物歧化酶同工酶(Mn - SOD)、谷胱甘肽还原酶(GR)活性的增加是最直接的证据^[36]。但目前电场对盐胁迫下植物的影响的研究未见报道。

从上述分析看,目前在电场生物学效应领域进行了大量的研究,一些高水平的研究成果不断涌现。但是在细胞和分子水平上及植物抗逆性方面的研究成果还很少,因此需要我们从生理机制和分子构象上深入研究其作用机理。

参 考 文 献

- [1] Murr L E. Nature ,1964 ,210 :1305
- [2] Sidaway G H ,G F Aspray. Int. J. Biometeor ,1968 ,12 :321
- [3] Li R N. Modern Electrostatics. Beijing :International Academic Publishers ,1989. 137
- [4] Tsong T Y. Electric Activation of Membrane Enzymes. In : First East Asian Symposium on Biophysics , Sponsored by the Biophysical Society of Japan. 1994. 39
- [5] 张振球. 静电生物效应. 北京 :万国学术出版社 ,1989. 1—6 [Zhang Z Q. Biological Effect of Electrostatic. Beijing :International Academic Publishers ,1989. 1—6 (in Chinese)]
- [6] 梁运章. 静电研究与进展. 呼和浩特 :内蒙古大学出版社 ,1992. 135 [Liang Y Z. Study and Progress of Electrostatic. Hohhot : Neimongol University Press ,1992. 135 (in Chinese)]
- [7] 陈家森,叶士瓌,陈树德等. 物理 ,1995 ,24 :424 [Chen J S , Ye S J , Chen S D *et al.* WuLi (Physics) ,1995 ,24 :424 (in Chinese)]
- [8] 张志鸿,刘文龙. 生物物理学实验. 上海 :复旦大学出版社 ,1991. 192 [Zhang Z H , Liu W L. The Experiment of Biophysics. Shanghai : Fudan University Press ,1991. 192 (in Chinese)]
- [9] 杨体强,李金梅,陈燕等. 内蒙古大学学报(自然科学版) ,1997 ,28 :778 [Yang T Q , Li J M , Chen Y *et al.* Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol ,1997 ,28 :778 (in Chinese)]
- [10] 郭维生,冯璐等. 内蒙古大学学报(自然科学版) ,1998 ,29 :580 [Guo W S , Feng L *et al.* Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol ,1998 ,29 :580 (in Chinese)]
- [11] 郭维生,冯璐等. 内蒙古大学学报(自然科学版) ,1999 ,30 :785 [Guo W S , Feng L *et al.* Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol ,1999 ,30 :785 (in Chinese)]
- [12] 邓鸿模,虞锦岚,周艾民等. 物理 ,2000 ,29 :550 [Deng H M , Yu J L , Zhou A M *et al.* WuLi (Physics) ,2000 ,29 :550 (in Chinese)]
- [13] 唐树延,陈淑良. 物理 ,1994 ,23 :32 [Tang S T , Chen S L. WuLi (Physics) ,1994 ,23 :32 (in Chinese)]
- [14] 陈加兴,任光瑞. 物理 ,1989 ,18 :479 [Chen J S , Ren G R. WuLi (Physics) ,1989 ,18 :479 (in Chinese)]
- [15] 王莘,李肃华,闵伟红等. 生物物理学报 ,1997 ,13 :665 [Wang X , Li S H , Min W H *et al.* Acta Biophysica Sinica ,1997 ,13 :665 (in Chinese)]
- [16] 那日,杨体强. 内蒙古大学学报(自然科学版) ,2000 ,31 :649 [Na R , Yang T Q. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol ,2000 ,31 :649 (in Chinese)]
- [17] 于爱真,蔡兴旺,李明等. 生物物理学报 ,1996 ,12 :310 [Yu A Z , Cai X W , Li M *et al.* Acta Biophysica Sinica 1996 ,12 :30 (in Chinese)]
- [18] 杨体强,那日,郭维生等. 内蒙古大学学报(自然科学版) ,2000 ,31 :587 [Yang T Q , Na R , Gou W S *et al.* Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol ,2000 ,31 :587 (in Chinese)]
- [19] 宋占海. 种子 ,1993 ,1 :43 [Song Z H. Seed ,1993 ,1 :43 (in Chinese)]
- [20] 黎先栋,王淑惠等. 生物化学与生物物理进展. 1986 ,3 :36 [Li S D , Wang S H *et al.* Progress in Biochemistry and Biophysics ,1986 ,3 :36 (in Chinese)]
- [21] 张丽萍,张常钟,叶家明. 东北师范大学学报(自然科学版) ,1987 ,2 :41 [Zhang L P , Zhang C Z , Ye J M. Journal of Northeast Normal University ,1987 ,2 :41 (in Chinese)]
- [22] 马福荣,温尚斌,许守民等. 生物物理学报 ,1993 ,9 :174 [Ma F R , Wen S B , Xu S M *et al.* Acta Biophysica Sinica ,1993 ,9 :174 (in Chinese)]
- [23] 温尚斌,马福荣,许守民等. 生物化学与生物物理进展 ,1995 ,22 :377 [Wen S B , Ma F R , Xu S M *et al.* Progress in Biochemistry and Biophysics ,1995 ,22 :377 (in Chinese)]
- [24] 王淑惠,黎先栋. 生物化学与生物物理进展 ,1991 ,18 :392 [Wang S H , Li X D. Progress in Biochemistry and Biophysics ,1991 ,18 :392 (Chinese)]
- [25] 范青,田世平,汪沂等. 生物物理学报 ,2000 ,16 :634 [Fang Q , Tian S P , Wang Y *et al.* Acta Biophysica Sinica ,2000 ,16 :634 (Chinese)]
- [26] 马福荣,许守民,温尚斌等. 生物物理学报 ,1994 ,10 :469 [Ma F R , Xu S M , Wen S B *et al.* Acta Biophysica Sinica ,1994 ,10 :469 (Chinese)]
- [27] 赵剑,马福荣,杨文杰等. 生物物理学报 ,2000 ,16 :406 [Zhao J , Ma F R , Yang W J *et al.* Acta Biophysica Sinica ,2000 ,16 :406 (Chinese)]
- [28] Volkenstein M V 著,龚少明译. 现代物理学与生物学概论. 上海 :复旦大学出版社 ,1995. 53—62 [Volkenstein M V. Gong S M trans. Physics and Biology. Shanghai : Fudan University Press ,1985. 53—62]
- [29] 杨体强,候建华,苏恩光等. 生物物理学报 ,2000 ,16 :780 [Yang T Q , Hou J H , Su E *et al.* Acta Biophysica Sinica ,2000 ,16 :780 (in Chinese)]
- [30] 赵剑,马福荣,杨文杰等. 生物物理学报 ,1995 ,11 :595 [Zhao J , Ma F R , Yang W J *et al.* Acta Biophysica Sinica ,1995 ,11 :595 (in Chinese)]

- [31] 赵剑,马福荣,杨文杰等.生物物理学报,1997,13:489[Zhao J, Ma F R, Yang W J *et al.* Acta Biophysica Sinica, 1997, 13:489 (in Chinese)]
- [32] 赵剑,杨文杰,马福荣等.生物物理学报,1996,12:517 [Zhao J, Yang W J, Ma F R *et al.* Acta Biophysica Sinica, 1996, 12:517 (in Chinese)]
- [33] 郭丽颖,邱彩虹,孙大业.实验生物学报,1992,3:253 [Guo L Y, Qui C H, Sun D Y. Acta Biologiae Experimentalis Sinica, 1992, 3:253 (in Chinese)]
- [34] 郁士贵等.植物学报,1983,3:269 [Yu S G *et al.* Acta Botanica Sinica, 1983, 3:269 (in Chinese)]
- [35] Larcher W. Physiological Plant Ecology, 3rd ed. Berlin Heidelberg. New York: Springer Press, 1995. 136

- [36] 蒋高明.植物生态学报,2001,25:514 [Jiang G M. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25:514 (in Chinese)]

作者简介



那日,男,蒙古族,1955年出生,内蒙古自治区鄂尔多斯人。1981年12月毕业于内蒙古大学物理系,现为内蒙古大学理工学院物理系副教授。多年从事环境生物物理的研究工作,现正主持一项内蒙古自治区教育厅重大课题和一项国家自然科学基金课题。

· 物理新闻与动态 ·

在没有东西的空间中试探新的物理学

一般认为,真空是一个没有任何物质的空间,实际上真空内是充满着各种飞逝的粒子与电磁场的。现在已被证实,在真空内存在着一种能使两块金属板相互吸引的力,这种力被称为 Casimir 力,它是一种量子现象。近来在考虑亚微米尺度内的物理现象时,例如研究各种力、各种粒子在不同维数下的问题时都不可避免地要考虑 Casimir 力。

在一对只有狭窄间隔的金属平板空间内,它能保留的能量密度要比在金属平板外的能量密度低很多,这一点很类似于地下的隧道管,一般收音机的电波波长大于隧道口径时就无法收到信号,而在两块平板间同样也会阻止波长大于其间隔距离的电磁场进入。

在 1600 年,有一个著名的表演实验,那就是利用看不见的空气压力的挤压使两个马德堡半球在几匹马的作用下都无法拉开。现在的 Casimir 力也是如此,由于平板内外的能量密度的差异使两块平板挤压在一起,显然 Casimir 效应要比马德堡半球原理深奥得多,它的背后一定隐藏着新的物理效应。

为了探索这个问题,美国普渡大学的理论物理学家 Krause D 教授提出了一些新的设想,他认为金属材料本身也会对 Casimir 力强度产生影响,这种影响来源于金属的电性质与真空的相互作用。另一方面,板与板之间的相互作用,如力、粒子、维数间的互作用都是与金属的原子结构以及它的电性质等有关。为此他建议,可以先测试不同情况下的 Casimir 力大小的差别。

最近在 IUPUI 及 Lucent 两个实验室内进行了实验,他们采用同一种金属元素的不同同位素来测试 Casimir 力,因为同位素具有相同的电性质,但有着不同的原子核和不同的引力作用。如果测得的 Casimir 力的大小不同,这就意味着这里存在着新的物理效应。为了精确起见,科学家们还考虑了各种不同的同位素在金属电性质方面会带来的微小的差别,但这与 Casimir 力大小的改变相比要小一万倍左右,因此这个差别可忽略不计。

这项实验的另一优点是,它测定的是 Casimir 力之间的差别,而不是 Casimir 力本身的绝对值,从而使测得的结果可以减少对有些理论假设的依赖性。

(云中客摘自 Physics Review Letters 4 November 2002)