

静电场对植物的生物学效应^{*}

吴旭红¹, 孙为民², 张红燕³

(1. 齐齐哈尔大学生命科学与工程学院, 齐齐哈尔 161006; 2. 齐齐哈尔大学理学院物理系, 齐齐哈尔 161006; 3. 黑龙江农业工程职业学院, 哈尔滨 150088)

摘要: 静电场对植物的生长发育有显著影响, 一定强度的电场作用于生物膜, 增加了膜电位, 改善了膜透性。适宜的场强处理能提高植物的酶活性和光合作用效率, 同时对外植体愈伤组织的诱导增殖有显著的促进作用。

关键词: 高压静电场; 种子; 萌发期; 愈伤组织; 生物效应

中图分类号: Q 946.5 文献标识码: A 文章编号: 1002-2767(2005)02-0044-03

Effects of High Voltage Electrostatic Field on Biological Effect of Plant

WU Xu hong¹, SUN Wei min², ZHANG Hong yan³

(1. Life Science and Engineering College of Qiqihaer University, Qiqihaer 161006; 2. College of Science Physics Department of Qiqihaer University, Qiqihaer, 161006; 3. Heilongjiang Agriculture Engineering Occupation College, Harbin 150088)

Abstract: Both growth and development are affected in electrostatic field. Electrostatic field affected on membrane, increased the membrane potential difference and improved membrane permeability. Treated with suitable electric field strength, it can increase the enzyme activity and photosynthesis efficiency of plant.

Key words: high voltage electrostatic field; seed; sprouting period; callus; biological effect

地球是一个巨大的静电场, 所有生物都受其影响。在隔绝大地电场(即静电屏蔽)的状态下, 植物的光合作用受阻, 生长缓慢, 植物体不能完成正常的代谢过程。但自然电场的作用对植物生长并不是最适宜的条件, 这已被许多外加电场的实验所证实。在自然界, 有些植物可以受环境的诱导而改变其代谢方式, 从而使其生物学特性发生变化, 即生活环境的变化, 可以引起基因表达的改变^[1], 高压静电场的生物学作用便证明了这一点。

1 静电场对种子萌发的生物学效应

1.1 静电场处理对种子萌发期表观特性的影响

发芽率、发芽势、根长、芽长、鲜重、简化活力指数是表观特性最敏感的指标。试验结果表明: 适宜强度的静电处理, 上述指标均有不同程度的提高^[2~3], 说明适宜剂量的静电处理, 对种子萌发有刺激作用, 能增加种皮透性, 促进种子内部细胞活化, 打破休眠状

态, 发芽率提高, 根体积加大, 幼苗生长加快、水势加大, 加速种子萌发过程储藏物质的分解、转化和再利用, 该物质积累加快, 使幼苗生长旺盛能充分调动种子自我调节能力, 从而提高了种子生长过程对营养物质的吸收和能量物质的转化利用。

1.2 静电处理对生物膜的影响

1.2.1 静电场影响生物的电特性 高压静电场是一综合效应场, 它具有粒子束、电磁辐射和恒定电场的作用。静电力存在于分子的一切极性和带电集团之间互相吸引(排斥), 电荷、偶极离子相互作用, 能量的高低取决于环境介质、介电常数和电荷的大小。介质对于离子的包围, 降低了离子间的相互作用能量, 粒子穿过原子发生能量转移和能量重新分布, 在生物体中含有水分子和生物分子发生电离和激发的过程^[6]。电场作用在生物膜上, 相当于作用在等价 RC 电路上, 由于生物组织不均匀性引起细胞内外液中电

* 收稿日期: 2004-10-03

流流量不同, 从而改变膜上的电荷分布。

1.2.2 电场作用影响膜电位 静电场对膜的影响是通过细胞膜本身的跨膜电位和外加电场起主要作用的, 外电场会诱导膜电位改变, 使膜电位提高^[7], 即由 $\Delta E_{hv} + \Delta H_{hv}$ 提高至 $\Delta E_{hv} + \Delta H_{hv} + \Delta E_{EF}$ (ΔE_{hv} 表示电位差 ΔH_{hv} 表示膜内外质子等化学梯度, ΔE_{EF} 表示外电场诱导的膜电位差) 影响细胞的能量转化和物质运输的一切生理过程, 使种子吸水之后离子扩散与电子泵系统运转活跃, 从而提高膜主动吸收, 转运营养物质的能力, 提高代谢水平, 为有丝分裂的启动积累更多的物质。

从电生理学的角度看, 静电场在高压条件下产生微电流电位差, 使细胞内源生长素从低电位向高电位运输, 因为电位差是生长素极性运输的重要动力。由于膜电位加大, 使激素传递更快, 在生活细胞受损伤后, 其所产生的损伤电流由此而加强, 促进了信息和物质的传递, 使受伤部位产生修复应答反应。

1.2.3 电场对膜透性的影响 细胞膜的通透性是细胞和周围环境进行物质交换的特性。生物膜是细胞与胞外交流的场所。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分子的片层结构, 膜相也由凝胶状态恢复到液晶状态^[8,9], 随之膜的选择半透功能也迅速恢复。但细胞内外巨大的水势差易引起膜损伤, 故在种子吸胀过程中, 细胞膜系统需进行修复和重建。适宜的高压静电处理, 可导致种子细胞介质电势增大, 离子渗出少, 表现为电解质外渗率降低, 膜透性减小, 促进膜修复能力的增强。电场处理的种子由于场作用, 使膜两侧出现附加电荷, 通过细胞膜表面电荷性质和数量的改变, 引起脂质极性基端的侧向移动, 引起烃链的倾斜弯曲, 使极性的磷脂分子的构象或排列发生变化, 膜相态的改变有利于吸水时膜结构和功能的迅速恢复, 或有利于膜损伤部分的顺利修复, 促进膜结构和功能的完善。

1.3 电场作用影响酶活性

物理调控因子—电场对生物体中酶的合成起诱导作用^[10]。酶活性的变化是一种调节机制, 它直接影响一个代谢过程, 酶活性的提高对催化中心起正的影响, 也就是起活化作用。电场作用引起细胞内蛋白质、糖、脂质等极性分子和离子的定向排列, 从而引起含金属的酶构象发生变化。酶的激活首先表现为酶形成一定的构象, 具有活性部位形成一个活性中心, 所以电场对酶有提前进行激活作用。

静电预处理的种子蛋白质酶活性的提高, 有利于种子在萌发期对储藏物质的分解作用。作物种子萌

发生初期、脂类分解代谢旺盛, 呼吸链电子传递产生大量氧自由基, H_2O_2 、 O_2^- 及 HO^- , 细胞内一般具有较高活性的 CAT、POD、SOD 等酶促防御体系来清除过量的自由基, 维持自由基代谢平衡, 虽然细胞内适量的自由基是细胞有氧代谢的必然产物和必要物质, 有参与代谢储能、防御、清除毒害物质的作用, 但过量则会导致严重伤害; 逆境也会使细胞的某些代谢失调, 致使产生大量自由基, 打破了自由基代谢平衡而对细胞造成伤害。高压静电处理种子的三种保护酶 CAT、POD、SOD 活性显著提高, 意味着自由基清除能力的提高, CAT 是清除过量 H_2O_2 的主要酶, 又参与脂肪酸的 β -氧化, POD 也可清除 H_2O_2 起多种保护作用, SOD 则是 O_2^- 的专一清除酶, 这三种酶活性同时提高、协同作用, 保护了生物膜及其它生命物质不受自由基的侵害, 也揭示了静电场促进膜结构完整, 功能完善的另一途径。

1.4 静电处理对呼吸强度的影响

适宜电场处理可使种子呼吸系统被活化^[11], 碳水化合物的有氧呼吸占优势, 呼吸强度增强, 呼吸能力提高, 保证了其它生理活动的进行。

静电预处理的种子 α 、 β -淀粉酶活性提高, 较高的淀粉酶活性使酵解及有氧代谢速度加快, 加速了淀粉的水解。脱氢酶活性在电场处理组中也比对照高, 反映了呼吸代谢的提高, 种子呼吸旺盛促进了新陈代谢, 新细胞快速形成, 提高了种子活力, 加速了幼苗成长。这都为种子萌发提供了物质和能量的基础, 也是种子在静电场处理后发芽率、发芽势提高的内在原因。

2 静电场对植物愈伤组织诱导和增殖的影响

静电场促进植物对 Ca^{2+} 的吸收^[12], 这个无处不在的重要信号分子会把静电场的刺激传递给其它信号分子, 从而发生信号级联放大。作为第二信使, 它与生长素、细胞分裂素协同作用, 调节和启动有关基因的表达, 合成核酸、蛋白质, 为愈伤组织的发生、形成奠定基础。静电处理的叶片提前卷曲, 就可能是生长素、细胞分裂素作用的结果, 尤其生长素在静电场或微电流作用下定向迁移, 是愈伤组织提前发生的重要原因。

从愈伤组织生长过程中元素的吸收上看, 静电处理组的培养基中元素的浓度随时间延长而下降且在迅速增殖前期元素浓度下降较快, 说明静电处理组的营养吸收快于对照, 也是处理组增殖率高于对照组的

原因之一。静电场处理的愈伤组织呼吸速率明显高于对照^[12],说明其能量代谢旺盛,物质吸收运转活跃,组织处于旺盛的生长状态。可溶性蛋白质积累水平既能反映细胞分裂必须物质和积累情况,又可反映酶量及相关的代谢水平。静电处理后可溶性蛋白含量变化与愈伤组织生长速率相吻合^[13],即在接种后3~5 d可溶性蛋白质含量上升,为细胞分裂做好了物质准备。随后在组织细胞大量启动分裂后,增殖率上升,伴随着可溶性蛋白质含量下降,这是暂时的不平衡生长,随后渐趋平衡,静电处理组的可溶性蛋白质含量高于对照组。

RNA水解酶活性在旺盛生长期一直在降低,而后在静止期才开始上升^[14],这一趋势和愈伤组织繁殖及可溶蛋白质含量变化吻合,因为蛋白质及细胞分裂均需保持转录本的寿命足够长和数量足够多,以便以mRNA做模板合成细胞分裂及生长必需的蛋白质,静电处理使RNA水解酶活性降低这与生长速率和蛋白质含量的变化相一致。

IAA氧化酶是一种调节内源生长素代谢的氧化酶。静电场处理的愈伤组织中IAA氧化酶活性显著低于对照组^[13],意味着细胞内源IAA水平高,细胞生长加快;而对照组则有较高的IAA氧化酶活性,故IAA被氧化而降低了内源IAA水平,影响了生长速率。

静电场在高压条件下产生的电流电位差,刺激了愈伤组织的增殖,膜电位的增加不但使生长素极性运输,促进组织增殖,而且影响膜的通透性及其它分子的极性运输,改善了细胞吸收和运转物质的能力,从而促进了植物生长。

静电处理还促进了细胞的有丝分裂^[14]。叶家明、Murr等人分析静电处理的小麦、豌豆幼苗的根尖细胞分裂,发现有丝分裂中期指数提高,分裂周期缩短。叶家明证实:高强度的静电场可使蚕豆、黑麦发生染色体畸变。这些均说明,静电场可以深刻地影响细胞的生命活动,这可能是刺激细胞增殖的直接原因。

3 静电场对植物光合器官和功能的影响

外电场对植物光合器官和功能的变化有显著影响^[15]。在静电场作用下,叶片的光合速率及呼吸速率都明显高于对照。其中光合速率要比呼吸速率增加的幅度大。静电场下叶片的叶绿素a含量较对照增加,但叶绿素b却有所减少,从而导致静电场下叶

绿素a/b较对照高,但叶绿素总量仍比对照高。这表明静电场促进叶绿素a含量增加比叶绿素b的减少量要大的多。

叶片在静电场下积累的元素增多^[15],这些元素又是光合合成中不可缺少的调节及营养元素。它们的增长对保证叶片色素合成及光合过程有关酶的合成提供了营养条件。由于营养条件的改善,叶片光合器官的发育也得以促进,这表现为,在静电场作用下,叶片厚度、叶片单位面积的栅栏细胞数,每个细胞中的叶绿体数、叶绿体中的基粒数及基粒中的类囊体片层数均比对照提高,这对维持较高的光合活性提供了良好的结构基础。高等植物细胞生长发育、器官形成绝大部分来自光合作用产物的转化,静电场下生产的植物其生长速率、产量都有所增加,这与静电场促进植物光合速率密切相关。

总之,静电场的生物效应越来越受到人们的重视,它在生物学科中的应用也不断的拓宽。随着人们对其作用机制认识的逐步加深,相信此项技术将在生命科学领域中发挥更大的作用。

参考文献:

- [1] 德国 G. 里克特. 植物代谢[M]. 柏林:施普林格出版社, 1989. 453-455.
- [2] 宋占海. 静电处理作物种子对其活力的影响及机理初探[J]. 种子, 1993, (1): 43.
- [3] 王莘 李肃华, 闵伟红, 等. 高压静电场对月见草种子萌发期的生物学效应[J]. 生物物理学报, 1997, 13(4): 665-670.
- [4] 征荣 杨体强, 王海智, 等. 电场处理油菜种子对幼苗期生长的影响[J]. 内蒙古大学学报, 2001, (3): 306-308.
- [5] Sidaway G H, Aspray G F. Influence of electrostatic field on plant respiration[J]. Int. J. Biometeor, 1968, (12): 321-329.
- [6] 张振球. 静电生物效应[M]. 北京:万国学术出版社, 1989.
- [7] Frohlich H. What Are Non-Thermal Electric Biological Effects[J]. Bioelectromagnetics, 1982, 13: 45-46.
- [8] 谢菊芳, 宋国清, 廖贡献, 等. 静电场对豌豆幼苗膜透性影响与跨膜电导率[J]. 湖北大学学报, 2000, (2): 140-142.
- [9] 赵剑, 马福荣, 杨文杰, 等. 高压静电场(HVEF)对大豆种子吸胀冷害的影响[J]. 生物物理学报, 1995, 11(4): 595-598.
- [10] Nitzsche W. Kung. Control of enzyme-distribution in enzyme-membrane by electric field[M]. Handbook of plant Cell Culture. 北京: 中国科技出版社, 1994. 728-805.
- [11] 岛山英雄. 野外植物の生体电位[J]. 静电气学会, 1982, (5): 276-284.
- [12] 赵剑, 杨文杰, 马福荣, 等. 高压静电场(HVEF)对苜蓿叶片愈伤组织诱导的影响[J]. 生物物理学报, 1996, (3): 517-520.
- [13] 赵剑, 杨文杰, 马福荣, 等. 静电场对苜蓿愈伤组织抗寒能力的影响[J]. 生物物理学报, 2000, 16(2): 406-411.
- [14] 叶家明. 静电处理对细胞有丝分裂的影响[J]. 东北师大学报(自然版), 1985, (1): 64-66.
- [15] 马福荣. 静电场对植物光合器官结构和功能的影响[J]. 生物物理学报, 1994, 10(3): 468-472.