

高压静电场对植物生物学效应的研究进展^{*}

高伟娜¹ 顾小清²

(1 河南科技大学医学技术与工程学院 洛阳 471003 2 山东省果树研究所贮藏加工研究室 泰安 271000)

摘要: 本文系统阐述了高压静电场对植物的生物学效应。主要包括高压静电场对种子和植株的影响, 对愈伤组织及果蔬保鲜的影响也进行了探讨。然后着重从酶活性、膜通透性、胞内水分子状态、遗传变异、物质代谢五个方面分析了高压静电场对植物影响的机理。同时对从机理方面研究高压静电场的生物学效应及高压静电场的应用进行了讨论和展望。

关键词: 高压静电场; 植物; 生物学效应

中图分类号: 0441.1 文献标识码: A

The biological effects of high voltage electrstatic field on plants

GAO Wei-na¹, GU Xiao-qing²

(1 School of Medical Technology and Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, 471003

2 Lab of Processing & Storage, Shandong institute of Pomology, Taian 271000)

ABSTRACT: The biological effects of high voltage electrstatic field (HVEF) on plants are summarized, including the effects on seeds, plants, callus growth and storage of fruit and vegetable. The mechanism is discussed at enzyme ativity, cell membrane, the state of water molecular, genetic variation, metabolic activity. The application of HVEF and the research in mechanism are also discussed and looked ahead.

Key words: High Voltage Electrostatic Field (HVEF); Plants; Biological effects

地球上的生物所赖以生存的环境是相当复杂的, 它不仅包括人们非常熟悉并研究较多的光、温度、水、矿质等元素, 而且包括电磁场、射线、热、声波等研究较少的物理因素。地球上空的电离层对地面具有 360kV 的正电位, 地面附近的场强为 130V/m, 生物(人、动物、植物等)生存在这样一个巨大的静电场中, 其电荷分布、排序以及运动都有一定的规律性, 在长期的进化过程中, 生物逐渐适应了这一电场环境。当这一环境发生变化时给生物带来什么样的影响, 以及产生什么生物效应已引起了科学界的极大关注。由此发展的静电技术作为一门新兴的边缘学科, 其应用已经广泛渗透到农业、医学等各个领域。比如高压静电场可明显提高绵羊精子存活率; 在医学上可以用电场治疗多种疾病; 经高压静电场处理的作物种子发芽速度增加, 活力增大, 产量提高。由此可见, 外加电场会导致某种生物学效应。本文就高压静电场对植物的生物学效应及影响机理的研究进展进行了综述。

1 高压静电场对植物的生物学效应

将市电 220V 的电压升高整流, 再通过高压电缆、保护电阻等加到电晕线或金属板上, 这样就形成了高压电场。高压电场有静电场和交变电场, 静电场又分为非均匀电场和均匀电场。电晕线电场属于非均匀电场, 两块平行金属板作电极组成的电场是均匀电场(忽略边缘效应), 通过调整电晕线与金属板或两金属板之间的距离来控制电场强度的大小。高压静电场诱导生物效应的变化具有剂量不定性、参数多元性、多向性及阈值等^[1]特点。

1.1 高压静电场对种子的影响

高压静电场种子处理技术就是把植物种子放置于场强大小适宜的高压静电场中, 处理一定时间后再及时播种, 使其发芽生长。利用高压静电场处理植物的种子以提高种子活力, 是静电生物效应研究最早、范围最广的领域, 涉及植物有经济作物、大田作物、药用植物、蔬菜、水果、树木等等。国外在上个世纪五、六十年代就开始了这方面的研究, 从 20 世纪七、八十年代开始国内学者对小麦、水稻、玉米、谷子、西葫芦、黄瓜、茄子、青椒、胡萝卜、油菜、花生、芝麻等 20 多个不同种类的种子用电场处理, 研究电场对种子萌发、活力、生理生化过程、幼苗生长、植株生育性状及产质量的影响^[2]。由于电场生物学效应存在阈值, 所以电场对种子的生物学效应亦存在正、反两方面的影响。

高压静电场处理某些种子可以促进种子萌发, 提高种子活力, 其呼吸强度、根系活力、发芽率和发芽势均有提高, 禾苗整齐粗壮, 抗逆境的能力强, 长势好^[3-5]。Moon. J 用 4kV/cm 的交流电场处理番茄种子 15-60s, 发芽率是对照的 1.1-2.8 倍^[6]; 高压电场处理大豆种子可以使种子的抗冷害吸胀能力及幼苗的抗冷害能力增强^[7]; 电场处理能提高油菜种子在干旱胁迫条件下的发芽率、发芽指数和活力指数, 减缓萌发种子和幼苗叶片中超氧化物歧化酶、过氧化氢酶及膜不饱和脂肪酸的下降程度, 以及丙二醛含量和酸性磷酸酯酶活性的增加幅度^[8]。

然而电场处理某些种子无明显效应或者抑制种子萌发, 降低种子活力。Seichiro Isobe 用高压电场处理紫花苜蓿、莴

* 基金项目: 教育部重点实验室项目

作者简介: 高伟娜(1980-), 女, 山东淄博人, 助教, 硕士, 主要从事生物技术方面的研究, E-mail: weinana0398@163.com

(收稿日期: 2006-05-21 接受日期: 2006-06-18)

苣荬菜、萝卜、胡萝卜、牵牛花干种子,只有牵牛花种子对电场敏感,但用 500kV/m 的电场处理牵牛花干种子 60min 后,种子发芽率比对照降低了 50%^[9]。

1.2 高压静电场对植株的影响

高压静电场处理植株的装置是在植物生长区域的上方,用绝缘支架架设一副用细金属丝构成的屏网,其高度可以调节,高压静电电源高压输出端与金属丝屏网联接,零线输出端接地,这样就在植物生长区域设置了一个人工高压静电场。其电场强度通过调节高压静电电源的输出高压,或者调节屏网高度来调节。把植物置于高压静电场中,观察植物生长发育情况,结果表明高压静电场对植物的生长发育均有促进作用。经 100kV/m 电场处理的芹菜、韭菜、生菜、油菜成熟期分别比对照缩短 8%、8.3%、17%、36%,产量大幅度提高;花卉经电场处理后,开花时间发生变化,正电场促进植物生长,可促使花卉花期提前,而负高压静电场则推迟开花时间^[10]。

1.3 高压静电场对其他植物器官和组织的影响

用高压静电场处理植物愈伤组织是电场影响植物生长的另一个应用。经高压静电场处理的草莓、海棠、烟草、银杏愈伤组织生长速率提高,电场促进了烟草根的分化^[11]。高压静电场电场除促进种子发芽,植株、愈伤组织生长外,还能抑制种子、水果和蔬菜的生命活动,达到保鲜的效果^[12]。用高压静电场处理黄瓜、豇豆、番茄,降低蔬菜的呼吸强度,抑制水分的散失,延迟蔬菜采后的衰老过程,黄瓜可保鲜 27d,豇豆 12d,分别比对照延长 12d 和 5d^[13]。

2 高压静电场对植物生物学效应的机理研究

2.1 高压静电场处理使细胞、生物大分子极化,改变生物大分子的构象,使酶活性发生变化

关于电场对植物生物学效应的机理,研究较多的是电场对酶活性的影响,特别是水解酶类和清除自由基的酶类。经电场处理后种子的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、淀粉酶、脱氢酶等活性提高^[7,8,14];但由于电场有正反两方面的效应,同样经电场处理可抑制某些酶的活性^[15],根据这个原理可以把电场用于果蔬保鲜和食品加工上。高压静电场处理影响酶的活性并不是因为电场改变了酶的一级结构,而是通过改变其高级结构来实现的,郭维生通过分析电场处理前后 α -淀粉酶的 X 射线衍射谱和核磁共振谱得到了如上结论^[16]。

2.2 高压静电场处理使细胞内水的结构、状态发生变化,这种变化又促使生物的生理特性发生变化

水是生物化学反应的介质,并且水本身是具有一定分子团结构的液体,水分子与水分子之间总是处于一种不停地缔合为大分子团和解缔为小分子团的动态平衡之中,外加静电场极有可能打破原有的这种平衡状态,使水分子结构发生变化,这样利用水分子活化过程来催化反应的酶分子,其活性和反应速率势必受到影响,当然这种影响是正反两方面的。陈家森等人做了大量实验证明电场可使水中出现过量的超氧阴离子自由基^[17]。白亚乡等用电子顺磁共振波谱仪分析了经高压静电场处理的甜菜、大麦干种子,结果发现种子中自由基含

量比对照增加 50%、35%^[18,19]。对此他们将其解释为静电场作用于种子机体内的水分子和生物大分子,使之产生超氧阴离子自由基,一方面这些自由基能够促使生物膜透性增加,加速水、氧、氮、无机离子渗入种子,打破了种子休眠,使种子提早萌发;另一方面,它又激活与生物膜相结合的腺苷酸环化酶,导致基因活化,使负责酶合成的基因解除抑制,从而引起各种酶合成加速,物质代谢加快,早期生长速度更快,并导致了未来产质量的提高。

Seiichiro Isobe 用电场处理干的牵牛花种子, ¹H-NMR 分析了处理后种子细胞中水的物理状态,结果表明电场处理限制了种子中更多的水在细胞中的流动。由于电场限制了水分子的流动,使种子中淀粉的降解受到抑制,种子新陈代谢活动减慢;而且膜系统受到电场极化的影响引起了种子吸水过程中水分子异常的积累和储藏的生物大分子过度膨胀,最终使膜系统受到破坏,器官结构异常,种子发芽率降低^[9]。

2.3 高压静电场处理可以改变细胞膜的通透性,改变膜两侧的离子分布和电位

电场对细胞膜的影响也是近年来研究的热门话题,但关于电场对膜的影响存在两种不同的解释。一种观点认为电场作用影响了种子的膜质过氧化,降低了膜透性,使膜过氧化产物-丙二醛含量下降,促进了细胞膜的修复;而且各种清除膜自由基的酶例如 CAT、POD、SOD 活性提高^[7,8,20]。另一种观点是电场作用于种子后使种子中自由基含量增加,这些自由基与膜脂发生过氧化反应,使膜透性增加,促进了营养物质渗入种子中,使种子代谢加速,活力升高^[18,19]。虽然两种说法相反,但共同点是电场作用影响了膜的通透性。谢菊芳等采用平面类脂双层模型分析了外加高压静电场与植物细胞膜电位的相关性,结果发现外加高压静电场作用促使膜电位发生改变,从而引起闸门电荷运动。当离子通道开放时,离子跨膜转运,使膜两侧离子浓度发生改变,改变了膜透性,从理论上验证了电场对膜的影响^[21]。目前电穿孔转基因方法就是根据电场影响膜透性的原理。

2.4 高压静电场处理可以使基因转录和表达发生变化,高剂量的电场处理能使核酸、蛋白质等分子的氢键断合,导致遗传变异

同工酶是指来源于生物体中那些蛋白质结构不同而催化同一反应的酶。酶的结构是由基因决定的,因此对同工酶谱的分析是认识基因的存在和表达的一种工具。高压静电场作用后使月见草 POD 同工酶、酯酶同工酶、可溶性蛋白的电泳谱带颜色、数目与对照相比发生变化^[22],说明高压静电场处理提高了酶含量、酶活性、基因表达和转录活性增强。

薛小桥等用高剂量的高压静电场处理浸湿的黑麦、蚕豆、豌豆、小麦种子,对其根尖细胞染色体分析表明,静电场处理增加中期细胞指数,缩短细胞有丝分裂周期,提高细胞分裂速度。但是电场处理能引起细胞的染色体畸变,其畸变类型有染色体断片、染色体落后、染色体桥、不等分裂、单极纺锤体和多极纺锤体等^[23-25],这与射线对植物的诱变效果相同^[26]。

2.5 高压静电场促进植物的代谢和对矿质元素的吸收

大量文献报道经高压静电场处理后植物的根系活力提高,根冠比增大,根系呼吸速率增大。由于根系活力提高,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^+ 与土壤中阳离子交换的速度增大, 植物吸收离子量增大^[27], 为植物的代谢提供充足的营养。

在 20 世纪 30 年代人们就揭示了生命物体存在超弱发光, 这种发光通常与迅速生长或呼吸旺盛的细胞相联系。白亚乡用适量的高压静电场处理玉米、大麦、甜菜干种子和发芽种子, 种子超弱发光值增大, 这说明高压静电场有利于加快种子的代谢和能量转化^[28-29]。电场作用可以改善物质运输, 提高恢复和维持植物正常代谢的能力^[30]。

3 讨论和展望

目前经高压静电场处理的种子多为干种子, 虽然在适宜电场强度下处理干种子提高种子活力, 但高压静电场对吸水萌动后的种子有何影响效果如何, 与干种子相比效果是否有差异值得探讨。

关于高压静电场对植物生物学效应的机理研究目前主要着重于电场对细胞膜和酶活性的影响, 从细胞、分子生物学角度分析电场对细胞器结构功能、对遗传物质及基因转录、表达的影响需要进一步加以研究。

高压静电场是否可用于提高和恢复老化种子的活力非常值得研究。目前全国每年各种子公司的仓库中有大量的陈种积压, 种子在贮存期间会不同程度的发生老化, 如用电场处理可提高这些种子的活力具有重要的经济意义。另一方面, 由于种子在老化过程中会发生一定的遗传变异, 如果电场处理可以产生有利的遗传稳定性变异, 这将对诱变育种也具有重要的价值。

21 世纪是以生命科学为主体的科学时代, 生命科学的研究将使科学技术研究向纵深发展, 向各相邻学科渗透。关于电场对生物影响的研究正是学科交叉研究的体现。进一步研究电场对生物的影响机理, 选择合适的处理剂量, 利用其有利的生物学效应指导生产实践, 为我们的生产和生活服务, 是未来的研究方向。

参 考 文 献

[1] 张俐, 申勋业, 杨方. 高压静电场对生物效应影响的研究进展[J]. 东北农业大学学报, 2000, 31(3): 307-312

[2] 那日, 冯璐. 我国静电生物学效应机理研究新进展[J]. 物理, 2003, 32(2): 87-93

[3] 朱冬雪, 窦家本, 刘平. 不同静电场对水稻种子萌发吸水 and 幼苗根系活力的影响[J]. 贵州农业科学, 1997, 25(3): 38-40

[4] 蔡兴旺, 林昌华. 高压静电场处理对黄瓜种子发芽的影响[J]. 种子, 2002(6): 16-17

[5] Morar R, Munteanu R, Simion E, et al. Electrostatic treatment of bean seeds[A]. Conference Record of the 1995 IEEE Industry Applications 30th IAS Annual Meeting[C]. Orlando: IEEE, 1995, 2: 1335-1337

[6] Moon J, Chung H. Acceleration of germination of tomato seed by applying AC electric and magnetic fields[J]. Journal of Electrostatics, 2000, 48(1): 103-114

[7] 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

[8] 侯建华, 杨体强, 那日等. 电场处理油菜种子在于旱胁迫下萌发及酶活性的变化[J]. 中国油料作物学报, 2003, 25(1): 40-44

[9] Seichiro I, Nobuaki I, Mika K, et al. Effect of electric on physical states of cell-associated water in germinating morning glory seeds observed by ^1H -NMR[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 1999, 1426(1): 17-31

[10] 邓鸿模, 虞锦岚, 周艾民. 高压静电场促进植物生长技术的研究[J]. 物理, 2000, 29(9): 550-552

[11] 石贵玉, 周巧劲, 郭平生等. 高压静电对烟草愈伤组织生长和根分化的效应[J]. 广西植物, 2002, 22(4): 364-367

[12] Dietrich Knorr. Novel approaches in food-processing technology: new technologies for preserving foods and modifying function[J]. Food biotechnology, 2000, (5): 495-500

[13] 杨光德. 高压静电果蔬保鲜机理分析[J]. 淄博学院学报(自然科学与工程版). 2000, 2(2): 32-35

[14] 吕剑刚, 杨体强, 苏恩光等. 电场处理小麦种子对幼苗生长抗盐性的影响[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2001, 32(6): 707-710

[15] Van Loey A, Verachtert B, Hendrickx M. Effects of high electric field pulses on enzymes[J]. Trends in Food Science & Technology, 2002, (12): 94-102

[16] 郭维生, 杨性愉, 杨体强等. 高压静电场对 α -淀粉酶构象的影响[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2001, 32(3): 349-351

[17] 陈家森, 叶士景, 陈树德. 电场对水结构的影响[J]. 物理, 1995, (7): 424

[18] 白亚乡, 胡玉才. 高压静电场对农作物种子生物学效应原发机制的探讨[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 49-51

[19] 梁运章. 静电场对甜菜种子自由基的影响[J]. 高电压技术, 1995, 21(2): 18-19

[20] 朱诚, 房正浓, 曾广文. 高压静电场处理对老化黄瓜种子脂质过氧化的影响[J]. 浙江大学学报, 2000, 26(2): 127-130

[21] 谢菊芳, 易伟松, 熊钢等. 高压静电场对植物细胞跨膜电位的影响及机理初探[J]. 武汉科技学院学报, 2002, 15(3): 16-18

[22] 王莘, 王德辉. 静电处理对月见草种子萌发期酶谱谱带的影响[J]. 吉林农业大学学报, 1998, 20(2): 93-95

[23] 谢菊芳, 廖贡献, 张菁. 高压静电场对植物细胞的影响[J]. 中南民族学院学报, 2000, 19(3): 9-12

[24] 薛小桥, 张菁, 刘翠君. 高压静电场诱发小麦根尖染色体畸变的分析[J]. 湖北大学学报, 1999, 21(3): 283-286

[25] Stacey M, Stickley J, Fox P, et al. Differential effects in cells exposed to ultra-short, high intensity electric fields: cell survival, DNA damage, and cell cycle analysis[J]. Mutation Research, 2003, 542: 65-75

[26] 周立人, 吴学琴, 魏晓飞等. ^{60}Co 射线辐照不同麻种种子的细胞学效应[J]. 安徽农业大学学报, 2003, 30(1): 10-14

[27] 温尚斌, 马福荣, 许守民等. 高压静电场促进植物吸收离子机理的初步探讨[J]. 生物化学与生物物理进展, 1995, 22(4): 377-379

[28] 熊建平, 朱久运, 马坚扬等. 黄瓜高压静电育种机理的研究[J]. 生物磁学, 2004, 4(4): 13-16

[29] 白亚乡. 高压静电场对大麦、甜菜、玉米种子超弱发光的影响[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2000, 31(4): 443-446

[30] Dietrich Knorr. Impact of non-thermal processing on plant metabolites[J]. Journal of Food Engineering, 2003, 56: 131-134