

静电技术应用专题系列

第二讲 静电技术在生物领域中的应用

陈加兴 任光瑞

(北京理工大学静电研究室)

随着科学技术的进步和工业生产的发展,使长期处于无人问津的静电又重新活跃起来了。本文介绍了在生物领域中静电的特殊贡献,读者可以看到,静电可使农作物的产量提高5—20%;可延长瓜果、蔬菜的存放时间;可使动物产生良好的心理行为,增强机体的免疫力等。此外,本文还介绍了静电在细胞分离和融合的新兴技术中的应用。

大量的实验结果证明,电场或电荷对生物体(包括微生物、植物、动物和人体)存在多种影响和作用,在这些影响和作用下,生物体在多方面发生不同程度的变化。静电对生物体的作用方式大体上可分为空气离子和电场力两种。

一、空气离子对生物体的影响

当通过高压电电离空气产生的正、负离子作用于生物体时,生物体的生理功能、心理行为等会发生变化。例如,将大麦种子置于空气离子浓度为 $(2.7 \times 10^4 - 1.7 \times 10^5)$ 个/cm³的电场中处理后,幼芽的生长速度明显增加;将蕃茄、黄瓜、青椒种子经空气离子浓度为 $10^6 - 10^8$ 个/cm³的电场处理0.17—1小时后,其发芽势分别提高14.5—79.8%, 29.3—36.3%和22—43%^[1](应指出的是,现已有实验表明,经1kV/cm—5kV/cm的匀强电场处理过的种子的发芽率、发芽势亦有类似表现);将大蒜置于不同营养液中且放在能产生大量离子的电场下,试验发现,静电场对植物吸收营养元素有明显的影 响,不同的电场、不同离子浓度对不同的元素影响也不相同,因此控制高压静电场,可控制植物营养成分及微量元素的含量,从而提高蔬菜及果实的营养及品味^[2]用负离子浓度大约为 $1.4 \times$

10^7 个/cm³的静电场处理种子发现,负离子对三磷酸腺甙、淀粉酶总活性、脱氢酶总活性、种子发芽势、种子活力指数、抗病能力、叶片叶绿素等都有明显的影响,使作物的产量提高,一般的增产幅度为5—20%,最高达40%^[1]。此外,带电离子对瓜果、蔬菜尚具有保鲜作用。实验指出,当电场中的负离子浓度超过 5×10^6 个/cm³、臭氧含量达0.25mg/L时,保鲜效果已十分明显。图1示出了西瓜经空气离子处理后的贮存

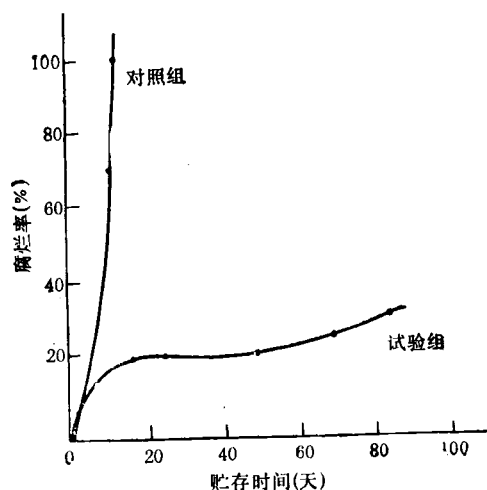


图1 西瓜贮存时间与腐烂率的关系

1) 白希尧,静电学术报告会论文集,中国物理学会静电专业委员会,(1987),296.

时间与腐烂率的关系,处理时间为每天上、下午各一次,每次五分钟,平均场强为 2.7kV/cm 。如果用空气离子处理红桔、黄瓜、蔬菜亦可得到相同的保鲜效果。

空气离子对植物的神奇作用同样也表现在动物和人体上。用鸡胚做实验发现,暴露在空气负离子中的鸡胚,生长显著加快;而暴露在空气正离子中的鸡胚,生长停滞不前。链孢霉菌暴露于浓度为 1×10^5 个/cm³ 的空气离子中的死亡率明显增加。将蜜蜂进行负离子处理,能使蜜汁增多。对春蚕进行空气负离子处理,可使蚕提前吐丝,蚕茧增重,丝层增厚。人在吸入空气负离子后可降低心脏跳动的频率。让 14 名司机进入既有空调又有负离子发生器的场所一小时后,发现 85.7% 的人的体温、皮温以及 93% 的人的血压都有明显下降^[3]。将 14 名脑血流异常者暴露于负离子环境中,有七人转为正常^[4]。对十名暴露于负离子浓度为 5×10^5 个/cm³ 环境中的试验者的脑电图进行分析,发现 α 波的频率降低而波幅增大,这表明人的肌肉和精神都处于松弛状态,而感觉和知觉能力有所提高^[5]。经大量的实验研究和临床观察证明,负离子能刺激神经、肌肉、器官,调节肌体机能状态。它能将神经的冲动向中枢神经传递,可改变中枢神经系统机能,影响新陈代谢,促进组织生化、氧化、还原过程,调整中枢神经和植物神经系统,刺激造血功能,改善肺的换气,提高肾脏功能,增加人体对侵入病菌的抵抗力^[6]。

上述现象表明,带电离子对生物体的影响是多方面的,它们的作用过程也极为复杂,一些作用至今机制尚不十分清楚,有待深入研究。从物理角度看,细胞生物电、电流梯度等都是机体

代谢的物质基础。生物体的每个细胞都好像一个微型电池,细胞膜内外有 $50\text{--}80\text{mV}$ 的电位差,只有当细胞不断发生生物电的转换时才能维持正常的生理功能。生物电的产生与细胞表面的生物膜及膜内外的离子分布和运动有关。因细胞膜内外的离子分布和浓度不同而形成膜内外电位差,称为“极化”;当细胞膜受到刺激而兴奋时,兴奋部位膜内外的电位差暂时减小,称为“去极化”;如果“去极化”继续发展,膜内外的电位差反号,称为“反极化”;电位差恢复到原来的状态称为“复极化”。极化、去极化、反极化、复极化不断地反复进行,构成了生物电的基本过程。带电离子对生物体的作用,可能与生物电的过程转变有关。

产生和控制空气离子的技术是利用空气离子造福于人类的重要技术。在一根针尖上(或在一根细金属线上)加上高电压时,在尖端(或金属线)附近的强电场区的空气分子将被电离成带负电的电子和带正电的离子。在运动过程中,电子附着于电子亲和性强的氧及其它气体分子上而形成负离子;正、负离子在电场作用下在空间运动形成离子流。为了增加离子浓度,可将若干针尖(或若干根金属线)按一定规律并联排列使用。在离子发生装置中,有的场合用锯齿状的金属条代替成排的针尖。有的离子发生器还用电动机鼓风,以增长离子的移动距离和提高电离效率。图 2 为一实用的负离子发生器的示意图。在制造离子发生器时,要注意下列参数:

1. 离子浓度。离子浓度是离子发生器的主要指标。足够的离子浓度是静电对生物体发生作用的保证,一般认为,人体要求负离子浓度在

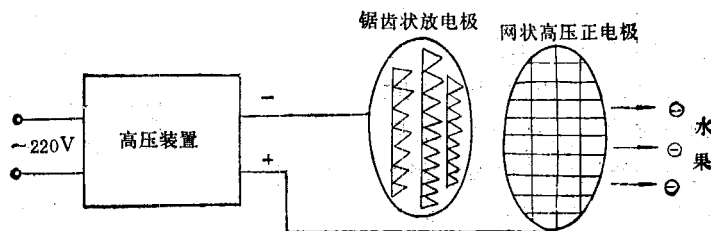


图 2

10^4-10^5 个/cm³ 左右为宜^[7]。影响离子浓度的因素除离子发生装置的结构外,发生器的外壳亦很重要,如果外壳选材不当,严重时,外壳可以完全阻断离子逸出。

2. 离子扩散角。从发生器窗口逸出的离子将向四周扩散。如果在某 α 角范围内,离子浓度保持同一水平,则 α 角称为离子的扩散角。显然, α 角越大,离子的覆盖面积越大。外壳材料的电特性也直接影响离子扩散角。

3. 臭氧浓度: 臭氧有利也有害。在利用空气离子来进行保鲜等场合,臭氧是有利的;在利用空气离子来进行治病、保健等场合,臭氧是有害的。我国规定,一级大气环境质量标准(在长期接触情况下,不发生任何危害),臭氧浓度必须低于 60ppb。离子发生器二电极间的电压、距离及电极的表面状况等对臭氧产生均有影响。

二、电场力对生物体的作用

电场力在生物工程和生命科学中也已引起人们的极大兴趣。一个典型的例子就是利用电场力来进行细胞分离和融合^[8]。人们认为,在细胞中存有大量的水分,溶有蛋白、DNA 和 RNA 等极性分子,细胞膜是易于产生极化电荷的电介质,离子偶电层能够发生强烈的极化,因此细胞是一个具有一定电阻率和介电常数的电学物质。将细胞置于电场中,它所受的电场力可用下式来表示:

$$F_d = 2\pi a^3 \text{Re} \left[\frac{k_1^*(k_2 - k_1)}{k_2 + 2k_1} \right] \nabla |E|^2, \quad (1)$$

其中 $k_1 = \epsilon_1 \epsilon_0 - j\sigma_1/\omega$, $k_2 = \epsilon_2 \epsilon_0 - j\sigma_2/\omega$, ϵ_0 为真空的介电常数, ϵ_1 为细胞所处媒质的介电常数, σ_1 为媒质的电导率, ϵ_2 为细胞的介电常数, σ_2 为细胞的电导率, $j = \sqrt{-1}$, * 表示复数共轭, Re 表示实部, E 为外加电场, ω 为外加电场的角频率, a 为细胞的直径。由(1)式不难看出,当外加电压和媒质固定后,细胞所受的电场力由细胞的大小和电学性质 (ϵ_2 和 σ_2) 决定。由于不同细胞有不同的电学性质,它们在同一外加电场和媒质中所受的力不同,根据这

物理

种差异即可实现细胞分离。

用于细胞分离的电场,除要求它是非均匀场外,还要求场中的梯度力恒定。因此,一般的针尖电极电场是不能满足要求的。图 3 所示的二维电极电场是用于细胞分离的实用电场之一。图 4 所示是利用这种电场进行细胞分离的一个例子,所用细胞为酵母菌和硅藻。在外加电压频率为 1MHz 时,得到最大分离距离为 300 μ m。对于死、活酵母菌,其偏离距离也与外加电压频率有关,当频率在 1kHz 和 10kHz 左右时,死酵母菌的偏离距离可达 80 μ m 以上,而活酵母菌的偏离距离几乎为零。根据死、活细胞对电场频率的响应不同,即可将死、活细胞分选出来。Pohl 等人通过选定频率,实现了对酵母菌的活细胞与死细胞的分离,图 5 表示其结果。除此之外, Pohl 等人还报告了利用电场力对血液中血栓的分离、血小板的分离、叶绿素的分离等实验结果。

与细胞分离完全相反的技术是细胞融合。

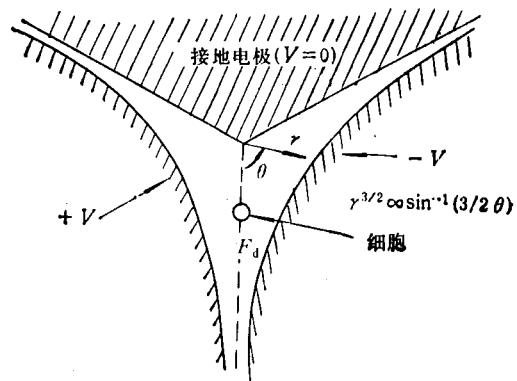


图 3 用于细胞分离的电场实例
(图中虚线上的电场力恒定)

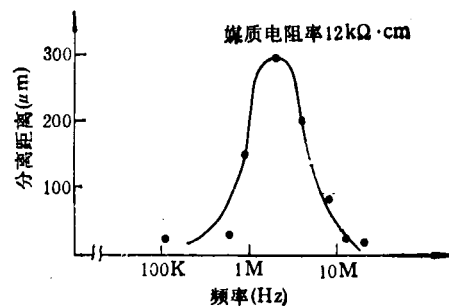


图 4 酵母菌与硅藻的分离

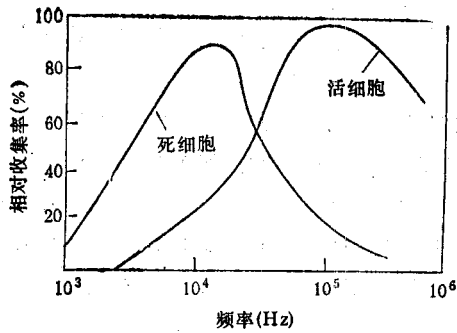


图5 死、活细胞的分离

所谓细胞融合就是指将两种或多种异种细胞施加以外界作用,使之融合成为一种杂种细胞的操作。细胞融合技术在使异种细胞杂交形成耐寒、耐酸耐碱、抗病虫害等具有新品质的物种方面、在向细胞导入遗传物质方面等均可得到应用。过去进行细胞融合采用聚乙二醇(PEG)等化学药品的方法,这些药品的存在能对细胞产生毒性,导致细胞生存率低,影响细胞的使用。为解决这些问题,从物理上开发了进行细胞融合的新技术。

电的细胞融合过程大致是:将需要融合的两细胞按一定比例悬浮于某种媒质中,经净化使电阻率达到 $10\text{k}\Omega \cdot \text{cm}$ 以上,然后将其导入两条平行放置的电极之间,再加上 1MHz 的高频电压,使之得到 400V/cm 的电场。在电场作用下,细胞被极化,彼此间相互吸引,结果细胞在沿电场方向排列成直线状(称为念珠现象)。在念珠形成之后,将电场增至 700V/cm 左右,使细胞强烈密集,之后再加上 7kV/cm , $50\mu\text{s}$ 的脉冲电场,促使二细胞在接触点发生破裂,从而完成相邻细胞的融合。将融合细胞选择培养,即能得到所希望的具有新品质的杂种细胞。在实际融合技术中,如何以未融合的细胞中选出融合的新细胞是应考虑的问题。在进行细胞融合时,存在融合电压和脉冲宽度的最

(上接第 509 页)

对于击穿场强 E_b 很低的空气介质,(5)式限制了 E_0 与 E_1 的增加和 d_1 的降低,由(2)式可知,这也就限制了电场力的增加或校准精度的提高。但若能选择击穿场强 E_b 很高的高分子介质材料,则可大大提高 U_b ,

佳值,该值随细胞的种类不同而变化。以兔子的红血球为例,在短脉冲电压作用下不发生融合,当脉冲宽度达到某个值以上时,存在一个不产生融合的外加电压的上限值和使细胞破坏的下限值,只有在这两个阈值电压之间方可进行细胞融合,如图 6 所示。

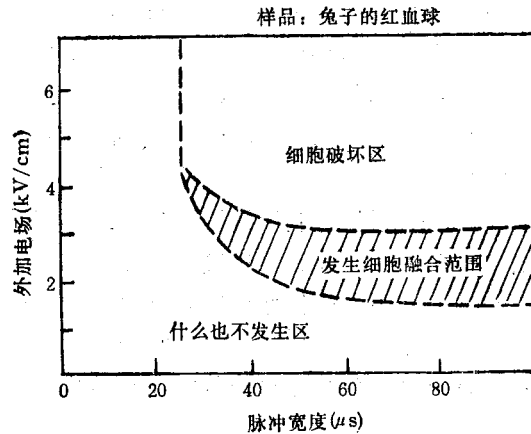


图6 发生细胞融合的电脉冲宽度与外加电场的关系

综上所述可见,静电对生物体的作用不仅存在于生物体的生理功能和心理行为方面,也存在于生长和生命过程之中,这就使得以往与静电工程无缘的生物工程、生命工程和遗传工程彼此发生了联系,开始了结合。它们的结合既开辟了静电工程的新天地,也为生物工程、生命工程和遗传工程提供了研究问题的新手段和新技术。

- [1] Bai Xiyao, *Modern Electrostatics Proceedings of the International Conference*, International Academic Publishers, (1988), 166.
- [2] 王荣毅等,现代静电技术,万国学术出版社,(1988), 448.
- [3] 余启元等,劳动保护科学技术, No. 2(1984) 35.
- [4] A. P. Krueger et al., *Science*, **193**(1976), 1209.
- [5] M. Assael et al., *Int. J. Biomeasur.*, **18-4**(1974), 305.
- [6] 朱霖青,理疗及按摩,人民卫生出版社,(1964),60.
- [7] (日)菅义夫主编,《静电手册》翻译组译,静电手册,科学出版社,(1981),543.
- [8] 鹭津正夫,静电学会志, **10-3**(1986),150.

这样在满足(5)式的条件下,可在很大的范围内灵活地选择 E_0 , E_1 和 d_1 , 以提高激发力 P_1 , 降低二次畸变 α_2 , 并免除高压击穿的危险。

(东南大学数力系 汪凤泉)