

农业生物的电磁环境效应研究综述

胡玉才 袁 泉 陈奎孚
(大连水产学院) (中国农业大学)

摘 要 大量的实验证明静电场、静磁场和交变电磁场作用于农业生物体会产生各种各样的生物学效应,其中促进生物生长发育的效应称为正效应或兴奋效应,阻碍或破坏生物生长发育的效应称为负效应或抑制效应。该文总结了近年来国内外有关农业生物电磁环境效应研究的主要内容,及其在农业工程领域中的应用情况;指出了农业生物电磁环境效应的主要特点,并提出了对该领域进一步研究的几点建议。

关键词 农业生物 生物效应 电磁场 静电场 静磁场

近 20 多年来,电磁场的生物效应引起了人们的极大关注。国内外对电磁环境效应研究的报道很多^[1~5],涉及的内容也比较广泛。电磁环境生物效应在农业中的应用,已渗透到农业的各个领域。电磁生物效应研究产生的新技术,如静电技术、微波技术和磁处理技术等已成为当前改造传统农业、革新传统农业、促进农业现代化的科学技术手段之一,可以直接用于促进增产和改进产品品质;减轻或避免自然灾害所造成的损失;有的还可以为节约能源开辟新途径。

本文涉及农业生物电磁环境效应的几个重要研究领域,诸如电磁场处理种子、电磁场促进农作物生长、电磁场对禽畜生产的影响以及电磁生物效应在农业工程中的应用等方面,分别对其研究现状、取得的进展和今后进一步研究的建议进行总结、分析和探讨。

1 电磁环境生物效应研究

1.1 植物种子的电磁生物效应

利用电磁场处理农作物种子,是电磁生物效应研究最早、在农业上应用最多的一个方面。种子经适当的磁(电)场处理后,可使种子呼吸强度提高,根系活力增强,发芽率和发芽势提高,产量有不同程度的增加^[6~8]。例如,小麦播种前经磁场处理,具有较好的增产效应。

从表 1 可以看出,磁场处理小麦种子具有显著的增产效果。当然,电场对种子的作用,也可引发生物学效应。对棉籽用 4 kV/cm 的匀强静电场处理 12 h,使棉花增产 12.4%,绒长增加 1~2 mm^[6]。用负电晕场处理的青椒、蕃茄、黄瓜、玉米、大豆和水稻等种子,其活力指数可提高 10%~20%,而且植株增高,茎增粗,根变长,叶片增多,产量提高 5%~40%,经生化测定,

表 1 磁场处理小麦的增产效应

Tab 1 The yield increasing effect of wheat treated by magnetic field

磁感应强度 /T	单位面积产量 /t · hm ⁻²	增产率 /%
0 (对照组)	3.17	-
0.05	3.86	21.7
0.2	3.80	20.0
0.9	3.92	23.5

ATP 含量增加 76.7%~216.7%, 淀粉酶增加 31%~51%, 脱氢酶活性提高 15%~50%^[7]。用静电场处理甜菜种子, 甜菜含糖平均提高 0.6%, 亩产量提高 7%, 与东北、华北和西北地区的 28 个糖厂合作, 推广面积 11 万 hm^2 以上, 创经济效益达 7000 万元^[8]。这些成果的推广应用, 将为我国农业发展做出更大的贡献。

1.2 电磁场对农作物生长的影响

电磁场是植物生长不可缺少的条件, 是重要的物理环境因素。若把植物用接地的细金属网罩起来, 屏蔽大气电场及离子流, 植株就不能正常生长发育; 反之, 外加一适宜的电场, 便可促进植物的生长。大量实验证明^[9~13], 电磁场对蚕豆、大麦、小麦、玉米、高粱和水稻等都有不同程度的促进植株生长作用。用电晕场对青椒、黄瓜、蕃茄等蔬菜植株影响的实验, 结果表明, 以 18~40 kV/m 的场强, 每天供电 4~6 h, 20 d 后便显示出明显促进植株生长的作用, 测其株高、茎粗、叶片数均高于对照组。国内外的研究表明, 除去空气中的离子, 植物的生长率会降低; 当正离子的浓度约为 10^4 个/ cm^3 时, 能使液体培养的植株生长率增加 5%; 对蕃茄生长点施以静电场 180 kV/m , 离子浓度为 14×10^6 个/ cm^3 时, 植株高度增加 12%, 结果数增加 1.49 倍, 产量增加 1.83 倍, 并提前 5 d 结果。

总之, 电磁场对植物生长的影响是不容置疑的, 但电磁场对植株生长的影响是复杂的。由于环境物理因素有多种, 对植株的影响通常是它们综合作用的结果。因此, 在考虑电磁场影响的同时, 还要考虑其它因素的影响。

1.3 电磁场对禽畜生产的影响

电磁场对禽畜生产的影响是显著的, 有关禽畜等农业生物(如鸡、兔、奶牛、蚕和水产生物等等)的电磁生物效应研究均有报道^[14~16]。例如, Burchard J. F. 等人将 16 个多胞胎 Holstein 奶牛(重量 600 ± 50 kg, 泌乳 184.8 ± 52 d 和妊娠 101.9 ± 43 d) 关闭在木笼中, 暴露于垂直电场(10 kV/m) 和均匀的水平磁场(30 mT)。奶牛被分成 A、B 两组, 每组各 8 个, 暴露状态均为三个阶段, 每个阶段 28 d。A 组三个阶段为: 第一阶段, 电场和磁场是关掉的; 第二阶段, 电场和磁场打开; 最后阶段, 再次断开电场和磁场。B 组恰好颠倒(一开; 二断; 三开)。每隔两周取血液样品确定皮质醇和孕酮; 每周一次确定血中气体和 pH 值; 每周一次收集奶样, 确定牛奶成分; 每天测定奶产量和饲料消耗。除了奶脂肪外, 大部分研究的参数(NaHCO_3 , pH, O_2 和 CO_2 偏压, 血液的皮质醇浓度, 奶产量和奶成分)未表现可归因于电磁暴露的变化。又如, Chibiov S. M. 检查了两次行星磁暴期间兔子的心血管和心肌细胞的超微结构等 6 个生理参数。在磁暴开始和高峰期, 每个心血管参数正常的近日节律丢失。磁暴高峰期, 可以观察到谐调障碍随磁暴一起增长, 心脏活动突降。峰期之后, 发生心肌细胞破坏和退化。在磁暴恢复期, 虽然心肌活动参数的幅值偏离很显著, 但变得特别同步, 并以近日节律为特征。

此外, 国内研究表明, 对孵化第 5 天的鸡的种蛋用电场强度为 150 kV/m 的电场处理 5 min, 经测试发现电场对种蛋血液中的蛋白质、维生素 B_{12} 均有影响, 而且使毛蛋和弱雏数减少, 孵化率提高, 幼雏生长健壮。

1.4 磁(电)化水的生物效应

磁(电)化水是指以一定速度流过适当强度并与水流垂直的磁(电)场的水或水溶液。关于磁(电)场对水的物理(化学)参数(电导率、表面张力、离子溶解度等等)的影响已进行了比较广泛的研究, 人们发现经磁(电)场处理过的水和水溶液, 不仅其理化性质发生变化, 而且这些变化可保持几小时到几天, 使磁(电)处理水对生物产生影响, 从而引发各种生物学效应。这些效应在医学和农业等领域已得到应用。在农业生产中用磁化水灌溉, 可以促进作物生长发育, 增

加产量, 这已为国内外大量事实所证明。若让生物长期饮用磁化水, 可以促使禽类多产蛋, 也可以促进动物的发育。据王信良等人(1995年)报道, 用磁化水饲养家兔, 其精液量、精子数、精子质量等都明显提高, 精子畸形率明显减少, 表明饮用磁化水可促进生精功能。于瑞海等人(1995年)发现用磁化水蓄养亲贝, 明显促进亲贝的性腺成熟, 其性腺指数比对照组提高35%; 同时他们用场强为0.6 T的磁场处理水进行栉孔扇贝人工育苗, 与对照组比较, 孵化率提高16%, 幼虫成活率可提高18%, 附着变态率比对照组提高27%, 单位水体出苗量比对照组提高50%左右。此外, 磁(电)化水还具有杀菌、除垢、防垢等作用。若用磁(电)化水冲洗果蔬, 可延长保存期, 具有保鲜作用。

1.5 电磁生物效应与农业工程

随着农业物料电磁特性和电磁环境生物效应研究的不断深入, 形成了一批如静电分选、静电喷涂、电(磁)灭菌、微波干燥以及电(磁)处理等农业实用新技术, 并已经在农业工程中得到了广泛应用^[19~21]。

1) 分选及分级: 作物种子本身的遗传特性表明种子受采收、运输、贮藏过程等各种因素的影响, 活力有较大差异。为了进行精量播种, 必须对种子进行严格的分级、精选。利用各种不同活力的种子在静电场中取向(或位移)场强的差异就可以将不同活力的种子进行分级。象具有长轴的种子, 若它的长轴垂直于电场方向, 当电场强度逐步提高时, 种子(的长轴)就不断地按电场方向取向, 早取向的是活力低的种子, 晚取向的是活力高的种子。而形状不规则或圆形的种子, 分不出长短轴来, 它们在电场中时, 随电场强度的提高产生位移, 根据位移的早晚, 亦可将种子按活力分级。更令人关注的是静电分级机除了结构简单, 能有效地按照种子的生命活力进行分级外, 还能产生某些生物学效应, 如提高种子的发芽率、发芽势和促进生长等等; 与此同时, 静电分级机还可以清除掉混在其中的杂草种子。另外, 根据农业物料的电磁特性, 还可以进行茶叶、壳仁等物料的机械分选以及谷物的去杂等工作。

2) 静电喷洒农药: 无论是粉体或液体农药按传统的方法都要借助于喷粉或喷雾器喷洒出去然后靠重力自然沉降。其缺点是喷洒不匀、散失严重、容易脱落。常常是上部叶片落的多, 下部叶片落的少, 叶片正面落的多, 背面落的少, 且经风吹后就脱落。喷洒出去的农药约70%飘浮在空中或落到地面, 既污染环境又浪费了农药。采用静电方法喷洒农药, 就在喷粉或喷雾器的喷嘴处, 加上一个带静电的旋杯, 农药经旋杯时荷电, 并被粒化和雾化, 带电农药喷洒出去, 在库仑力等静电力的作用下, 奔向植株地上部分的所有部位, 且以较强的凝聚力附着在它的上面, 难以脱落。我国研制的手持式静电喷雾器, 叶片正、反面雾粒数是非静电式的2.8倍。静电喷洒农药, 可以提高农药的利用率达80%~90%。既能有效地防治病虫害、降低农药使用量、提高劳动生产效率, 又能减少环境污染。

3) 农产品加工: 在农牧业产品如牛奶、果汁、水果罐头的生产加工中, 都必需有消毒灭菌工序, 但传统的高温杀菌方法对产品营养(尤其是维生素)破坏严重, 例如新鲜的山楂汁经高温灭菌后, 维生素C的含量几乎为零。利用高强度电脉冲杀菌法是一个不破坏营养成分又可节能的新方法, 大约是高温灭菌耗能的2%~3%。对蕃茄汁的静电灭菌实验表明, 其维生素与有机酸等营养成分可完整地保留下来, 而且其色、味均不受影响。在研究微波加热马铃薯片的试验中, 发现当含水率和温度较高时, 马铃薯片吸收微波能量的效果最好。

2 电磁生物效应的几个特点

2.1 多参量性

生物生理学的研究表明,能引起生物反映的刺激量 S 等于刺激强度和刺激时间的乘积。在电磁生物效应的实验中,人们主要关注的是场强和作用时间。但是电、磁场本身就是一个很复杂的场,农业生物体由于具有生命活动,也包含着极其复杂的不仅是生理生化变化,还有自身电磁特性的变化,并深受外界环境因子的影响。因此,电磁生物效应研究中的参数选择,除电(磁)场强度 $E(B)$ 和作用时间 t 外,还应考虑电(磁)场的类型 N_i ,作物品种和类型 K_i ,含水量 W ,处理时的温度 T ,空气的湿度 a_w ,植物胚的朝向 d_w 等等,则刺激量的函数关系应为 $S = f(E, B, t, N_i, K_i, W, T, a_w, d_w, \dots)$ 。从刺激量函数可以看出生物体的电磁处理过程,是一个极其复杂的、既是物理的,又是生理生化的转化过程。

2.2 场向效应

电(磁)场对生物体的影响与场强的方向有关,称之为场向效应^[19]。如植物生长的向磁性和背磁性。冬小麦播种时,种子沿南北方向撒播,根系有 73.4% 以上朝南北,有 5.1% 朝东西;当种子东西方向撒播时,则根系有 71.1% 朝南北,有 7.1% 朝东西。又如施加正电场可以促进植物根系的生长,施加负电场则能抑制植物根系的生长,不同极性的电场对根系吸收不同元素的影响亦不同;静电场对水稻种子脱氢酶活性的影响,负电场处理优于正电场处理,等等。

2.3 临界效应

电(磁)场对生物体的影响,随着场强大小的改变而呈现隐性作用、促进作用、抑制作用以及致死作用,这种现象称为临界效应^[19]。从隐性作用过渡到促进作用,存在着一个临界场强,称为下阈值(门槛);从促进作用过渡到抑制作用,存在着另一个临界场强,称为上阈值(门槛)。场强的下阈值和上阈值与生物体的类别、状态、环境等诸多因素有关。如静电增强水稻种子脱氢酶活性,下阈值的范围 50 kV/m 左右,上阈值为 150 kV/m 左右;而静电刺激桑蚕卵增加蚕体重量,下阈值的范围是 100 kV/m 至 200 kV/m。

2.4 剂量效应

剂量是场强与作用时间的乘积,而且剂量与生物效应相关。但是对于电磁环境生物效应的研究,在某些条件下,剂量与生物效应无关。例如当场强小于下阈值时,无论电(磁)场对生物体的作用时间多长,也不会引发兴奋效应;当场强大于上阈值时,尽管作用时间很短,也会给生物体带来损伤。不过在临界场强范围内,电(磁)场对生物体产生的兴奋效应与作用剂量有关,但是并非作用时间越长,生物效应就越明显,而是存在一个最佳的作用剂量。当场强一定时,某种生物兴奋效应的适宜剂量取决于作用时间,所以有人将剂量效应称为时间效应。

2.5 消退效应

在生命过程的某一阶段,电磁场的作用通过机体内部的调节而产生影响,发生显著的生物效应,随后,影响减弱或消失,这种效应称为消退效应^[19]。例如:400~600 kV/m 的静电场对桑蚕卵的孵化率和三龄前的呼吸强度有显著的影响,但对蚕发育后期的各项指标,如呼吸强度、蚕体增重速度等的影响并不十分明显。高频电磁场对动物和人有不良影响,可是到暴露后期可以适当恢复。磁(电)化水最初具有一定的杀菌作用,但过一段时间后就失去了此种功能。目前,人们认为电磁场对生物体有刺激作用,生物体对外加电(磁)场有耐受能力和适应能力是消退效应产生的主要原因。

2.6 非热效应

电磁场作用于生物体产生的不与温度变化有关的效应,称为非热生物效应。这种效应往往发生在远离平衡态的情况,生物体对电磁场(波)的响应是非线性的,由外界小能量的诱导可能在生物体内部释放出巨大的能量。非热生物效应具有频率窗效应和功率窗效应,即生物系统对微波表现出频率和功率密度的特异性依赖关系,以致在某一频率段或某一功率密度范围内,只有几个离散的频率或功率密度才引起显著的生物学效应。如A dey 等人(1978年)用16 Hz 正弦波调制450 MHz, 0.05, 0.1, 1.0, 5.0 mW/cm², 照射离体鸡脑。结果发现 功率窗效应: 表现为0.1~1.0 mW/cm² 使⁴⁵Ca²⁺ 流出量有统计意义的增加; 0.05 mW/cm² 和5.0 mW/cm² 无此现象。在固定辐照度的条件下,147 MHz 被0.05和3 Hz 调制时,不引起⁴⁵Ca²⁺ 流出量增加; 用6~16 Hz 调制时,⁴⁵Ca²⁺ 流出量有统计意义的增加; 用20~35 Hz 调制时,⁴⁵Ca²⁺ 流出量又减少,出现频率窗效应。

3 进一步研究的几点建议

综上所述,电磁场对生物体的影响已在许多方面得到研究和开发利用。但是农业生物电磁环境效应的研究工作尚处于揭露事实、积累经验和总结规律的阶段,研究对象也很不全面,有待探索的问题还很多。下面是我们对几个问题的分析和探讨,希望能对以后的研究有所启发。

1) 由于生物体具有自建立、自调节和反馈放大等特殊功能,因而电磁环境生物效应是非常复杂的。根据多参量性的特点,在进行电磁场生物效应的实验研究时,除了关注场型、场强和作用时间外,还要考虑其它环境因子的影响。这一点在以前的工作中都没能引起足够的重视,所以我们常常发现不同的研究者对同一研究对象有不同的研究结果的报道,甚至是完全相反的结果。多参量性使电磁生物效应研究难度很大,研究进展缓慢。

2) 探讨影响生物体阈值的因素,测定生物体阈值的大小,具有非常重要的现实意义。当选取某一研究对象后,首先要寻找相应条件下的上阈值和下阈值。

3) 在借鉴和使用文献报道的所谓“最佳方案”或“最佳条件”时,一定要认真考查“最佳”效应的前提条件,包括生物体内部和外部环境。由于生物体不同的发育阶段自身的电磁活动差异较大,所以表现的电磁生物效应也大不相同,而外部环境因子本身就是引发生物效应的一个参量因子,自然要影响某种生物效应。

4) 电磁场对生物体的相互作用,从利用的角度来考虑,可分为有益的功能和有害的作用。从研究方法上考虑,则可分为电磁场的致热效应和非热效应。电磁场的致热效应,人们早已熟悉和理解;而非热生物效应直到本世纪70年代才肯定其确实存在。至今,对于非热生物效应有各种可能的解释,多种理论并存,诸如粒子对膜的穿透理论、跨膜粒子的回旋谐振理论、自由基理论以及生物代谢动态过程中的电磁干扰理论等等。这些理论或假设只能解释某些局部的非热生物效应现象,都具有各自的局限性。为了弄清非热生物效应的微观机理,仍然需要更系统的实验研究和更深入的理论研究。

主 要 参 考 文 献

- 1 V Zimmeman Influence of 60 Hz magnetic fields on sea urchin development Bioelectromagnetics, 1990, (11): 34~45
- 2 Valberg P A, Kavet R, Rafferty C N. Can low-level 50/60 Hz electric and magnetic fields cause biological effects? Radiation Research, 1997, 148(1): 2~21

- 3 Levin M, Ernst S G. Applied Dmagnetic fields cause alterations in the tine of cell divisions and developmental abnormalities in early sea urchin embryos. *Bioelectromagnetics*, 1997, 18 (3): 255~ 263
- 4 Edw in L Carstensen. Biological effects of power frequency electric fields. *Journal of Electrostatics*, 1997, 39: 157~ 174
- 5 鲍重光主编. 现代静电技术. 北京: 万国学术出版社, 1988. 393~ 514
- 6 刘福全. 高压电场和人工雷处理棉花种子的初步试验. *沈阳农学院学报*, 1974, (1): 86~ 89
- 7 白希尧, 马文田, 刘慎言等. 静电技术在农业中的应用. *自然杂志*, 1984, 7(12): 902~ 906
- 8 梁运章. 静电生物效应及其应用. *物理*, 1995, 24(1): 39~ 42
- 9 L E Murr. Biophysics of plant grow th in an electrostatic field. *Nature*, 1965, 206: 467~ 470
- 10 G H Sidaway and G F A spray. Influence of electrostatic field on plant respiration. *International Journal of Biometeorology*, 1968, (12): 321~ 329
- 11 A P Krueger, et al. Biological impact of small air ions. *Science*, 1976, 19(3): 1209~ 1213
- 12 三浦丰彦. 高压电场的长期暴露的影响. *劳动科学*, 1979, 55(12): 682~ 688
- 13 伊 板等. 高电界の生体系の影響. *静电气学会志*, 1975, (9): 176
- 14 Burchard J F, Nguyen D H, Richard L et al. Biological effects of electric and magnetic fields on productivity of dairy cow s. *J Dairy Science*, 1996, 79(9): 1549~ 1554
- 15 Chibisov S M, Breus T K, Levitin A E. Biological effects of planetary magnetic storms. *Bio-physics*, 1995, 40(5): 959~ 968
- 16 胡玉才, 孙丕海, 刘俊鹏. 探讨静电生物效应在海珍品育苗中的应用. *静电*, 1998, 13(1): 27~ 29
- 17 王信良. 磁水对家兔睾丸生精功能的影响. *中国医学物理学杂志*, 1995, 12(1): 24~ 27
- 18 于瑞海, 邢克敏, 孙志刚等. 磁化水在栉孔扇贝人工育苗上的应用研究. *黄渤海海洋*, 1995, 13(4): 36 ~ 42
- 19 张振球. 静电生物效应. 北京: 万国学术出版社. 1989. 1~ 58
- 20 孙一源, 余登苑编著. 农业生物力学及农业生物电磁学. 北京: 中国农业出版社, 1996. 327~ 478
- 21 袁 泉, 李增方. 微波加热在农业工程中的应用. *农机化研究*, 1997, (1): 58~ 60

Review of Study on Electromagnetic Bioeffects of Agricultural Lives

Hu Yucai

(Dalian Fisheries University, Dalian, 116023)

Yuan Quan Chen Kuifu

(China Agricultural University)

Abstract Proved by lots of experiments, all kinds of biological effects will happen when the agricultural lives are stimulated by electrostatic field, static magnetic field or alternating electromagnetic field. The studies about the electromagnetic bioeffects and the applications in agricultural engineering field are summarized. The main characteristics of electromagnetic bioeffects were indicated. Finally, some suggestions on the studies of this field were put forward.

Key words agricultural lives, biological effect, electromagnetic field, electrostatic field, static magnetic field