

生物磁学在农业上的应用¹⁾

李 国 栋

(中国科学院物理研究所)

一、生物磁学及其物理基础

生物磁学是研究物质磁性、磁场与生物特性、生命活动之间的相互联系的科学。它在当前生物技术和新技术革命中有许多重要的应用。

生物磁学的内容相当广泛,主要包括:(1)生物磁现象,如生物磁场和生物磁性,可称为狭义的“生物磁学”;(2)磁场生物效应,如外加恒定(直流)磁场和交变磁场对生命活动的影响,称为“磁生物学”;(3)磁学方法和磁技术在生命科学中的应用,可称为“生物磁技术”或“生物磁工程”;(4)生物磁学在工业、农业、医药、环境保护和生物工程等方面的应用,可称为“应用生物磁学”。

磁场是一种使运动的带电粒子受到力作用的物理场,磁性则是物质在磁场中受到力作用的性质。现代科学技术的发展已经证明:任何物质都具有或弱或强的磁性,小至分子、原子、原子核和基本粒子,大至地球、太阳等各类天体都是带有磁性的。任何空间都存在或低或高的磁场,近到我们的身体和生活的地球,远到遥远的天体和星际空间都有磁场的存在。因此涉及磁性和磁场的磁现象是广泛而普遍的,从某种意义上说,我们是生活在磁的世界里。

从物理学方面看,生物磁学所研究和应用的生物磁现象、磁场生物效应和生物磁技术的基本原理主要有下列五个方面:

1. 磁场的产生和测量

产生磁场可采用永磁体或电磁体。永磁体产生恒定磁场,其强度与所用永磁材料的性能、体积和产生磁场的空间大小等因素有关。电磁体产生恒定或交变磁场,视所用的电流情况而

定,磁场强度与所用电流强度、线圈匝数、磁路情况和产生磁场的空间等因素有关。这些都涉及专门的磁体的设计和工艺等磁体技术问题。测量磁场,可以通过测量磁场产生的各种效应来实现。常用的测量仪器有测量强磁场的基于 Hall 效应的高斯计(亦称特斯拉计),测量弱磁场的基于 Josephson 效应的超导量子干涉(SQUID)式磁强计和基于电磁感应效应的磁通门式磁强计。测量微弱磁场时,需要消除地磁场的影响,可以用磁屏蔽室,也可以用梯度(单位长度的磁场变化量 dH/dx)式磁强计来测量。

2. 物质磁性的分类

在不均匀磁场中,物质沿磁场变弱的方向($dH/dx < 0$)受力者称为抗磁性物质(对抗磁场),表示其磁性强弱的磁化率 χ 很小并且为负值($|\chi| \sim 10^{-6} \sim 10^{-5}$),水、铜、金和绝大部分生物材料均为抗磁性物质。在不均匀磁场中物质沿磁场增强的方向($dH/dx > 0$)受力者称为顺磁性物质(顺着磁场),其磁化率也很小,但为正值($\chi \sim 10^{-5} \sim 10^{-4}$),氧气、铝和未与氧结合的血红蛋白均为顺磁性物质。磁化率 χ 很高($\chi \sim 1 \sim 10^5$)并且为正值的物质称为强磁性(习惯上称为铁磁性)如铁、钴、镍及其一些合金和化合物。一般把磁性很弱的抗磁性和顺磁性物质称为无磁性或非磁性物质是不正确的。最近在一些生物(如有一种细菌、蜜蜂、蝴蝶、鸽和海豚等)体中发现有微量的强磁物质(Fe_2O_4)。

3. 磁的力学效应

1) 本文曾在中国物理学会主办的《物理学在医学上的应用》讲习班(1985年3月,北京)上报告过。

任何磁性物质在不均匀磁场中都会受到磁力 F_m 的作用, F_m 的大小与这物质的质量 m 和磁化率 χ , 以及磁场强度 H 和磁场梯度 dH/dx 成比例, 即

$$F_m \propto m\chi H dH/dx. \quad (1)$$

任何有磁矩 P_m 的磁性物质在均匀磁场 H 中会受到力矩 T_m 的作用, T_m 的大小与 P_m , H 值和 P_m , H 间夹角 θ 的正弦 ($\sin\theta$) 成正比, 即

$$T_m \propto P_m H \sin\theta. \quad (2)$$

电荷为 Ze 、质量为 m 的带电粒子在与均匀磁场 H 垂直的平面中以速度 v 运动时, 这粒子会受到磁场作用力 F_L (称为洛伦兹力), F_L 与 Ze , H 和 v 的乘积成正比, 而与 m 成反比, 即

$$F_L \propto \frac{Ze}{m} (v \times H). \quad (3)$$

通有电流 I 、长度为 L 的导体在均匀磁场 H 中也会受到力 F_L 的作用。

当 L 和 H 垂直时, F_L 与 I , L 和 H 的乘积成正比, 即

$$F_L \propto ILH. \quad (4)$$

这些力或力矩都是磁性物质或带电粒子或通电流的导体在磁场作用下产生的, 称为磁(场)的力学效应。

4. 磁的电学效应

物质在磁场作用下, 也会引起其电学性质的变化。当通有电流 I 的物质在与电流垂直的磁场 H 中, 会引起两种电性变化: 一种是在与 I 和 H 都垂直的方向产生电(动)势 E_H , 称为霍尔效应, E_H 与 I 和 H 的乘积成正比, 即

$$E_H \propto I \cdot H, \quad (5)$$

在固定 I 时, 霍尔电势 E_H 与磁场 H 成正比。这就是高斯计的工作原理, 另一种是在 I 方向产生电阻变化 ΔR , 称为磁(致)电阻效应。对于弱磁物质, ΔR 与磁场强度平方成正比, 即

$$\Delta R \propto H^2. \quad (6)$$

处于变化的磁场 (dH/dt) 中的电回路会产生感应电势 E , E 与 dH/dt 和回路的面积 A 的乘积成正比, 即

$$E \propto (1 + 4\pi\chi)(dH/dt)A, \quad (7)$$

称为电磁感应效应。

5. 磁共振效应

具有磁矩 P_m 的物质在恒定磁场 H 和交变磁场 $h(\omega)$ 的同时作用下, 当满足条件

$$\omega = \gamma H \quad (8)$$

时, 这物质会从交变电磁场强烈吸收能量, 其中 ω 为交变场角频率, γ 为这物质的特征参量, 称为旋磁比(即磁矩与角动量之比)。这种由恒定磁场和交变磁场同时作用引起的强烈吸收现象称为磁共振(吸收)。在生物磁学中常应用的磁共振有顺磁共振和核磁共振两种: 顺磁共振是由于物质中不成对电子产生的磁共振, 例如光合作用中的自由基和血红蛋白中的 Fe 离子都可产生顺磁共振; 核磁共振是由物质中具有核磁矩的原子核(磁核)产生的磁共振, 例如含 ^1H , ^{13}C , ^{14}N , ^{15}N , ^{17}O , ^{31}P 和 ^{33}S 等同位素都可产生核磁共振。磁共振是研究各种物质的微观结构的有效方法。

二、磁场处理在农业上的应用

磁场同电场、超声、激光、X射线和同位素放射线一样, 也是能对生物产生影响的物理因素。大量的实验和试验表明, 磁场处理在农业上已经获得了多方面的应用。

利用适当强度的磁场处理一些作物的种子, 可以提高种子发芽率, 促进长势, 收到增产的效果。例如, 小麦种子经过 500—600 G 的磁场处理后进行播种, 与未经磁场处理的对照组比较, 其出苗率增加, 长势较好, 结穗较多, 一般可增产 20% 以上。甜菜和花生种子经过磁场处理后, 亦收到产量增加的效果。大麦种子经过约 100 G 的恒定磁场处理后, 增产约 23%。观察大麦苗在约 1200 G 的恒定磁场中的生长情况(图 1), 在一星期中其根和苗都比对照组的生长得快。有人将浸种后的大麦种子经 3500—4000 G 的磁场处理, 发现磁场处理(第一代)后的第二代虽未再经磁场处理, 但已观测到其叶绿素缺失突变、染色体畸变、酯酶谱和光密度都出现显著的差异。表明磁场处理能引起遗

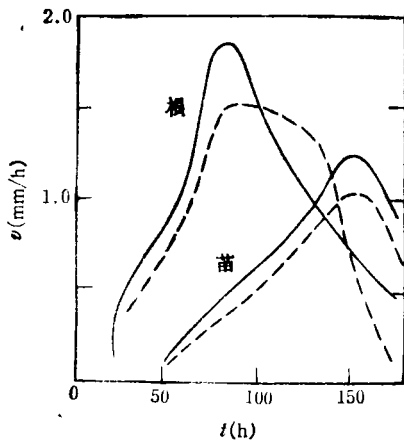


图 1

传变异。

另一些实验表明, 磁场处理能抑制酵母的发芽和生长; 水仙属和锦紫苏属植物的细胞、组织和器官在 500—4500 G 的不均匀磁场中有早熟和早衰的现象, 这说明磁场对不同生物的影响是有差异的, 不同强度的磁场, 效果也不一样, 这是在采用磁场处理时需要注意的。

磁场处理对一些禽畜和蚕类也显示影响。在磁场中饲养的小鸡要比对照组的增重快, 它们在经过阉割手术后也比对照组的愈合快。利用 1,000—10,000 G 的恒定磁场处理柞蚕卵, 可显著提高其孵化率, 最佳磁场强度(10,000G)下的蚕卵孵化率可比对照组提高 8—13%。若同时施加磁场和 0.5 R 的 γ 射线处理, 孵化率可进一步提高到 8.5—15.5%。从小区放养初步试验表明, 经过磁场处理后柞蚕的结茧率和千粒重提高, 而龄期缩短。最佳处理条件(10,000 G 20 min)下的结茧率和千粒重分别提高 13% 和 4—8%, 龄期缩短 1—3 天。用 500—5,000 G 的均匀恒定磁场处理酱油曲霉的孢子悬浮液, 观测到在磁场强度约 1500 G, 处理时间 20 分钟到两小时的最佳条件下, 其产蛋白酶有显著提高。

磁场处理的另一引人注意的应用是将热电厂排放的粉煤灰经过一定磁场处理后(称为磁煤灰)施于农田中, 可以收到增加作物产量和改良酸性土壤的效果。磁煤灰的每亩用量可降低

到普通煤灰的 10%, 就能得到相似的效果。这对于热电厂的废物利用, 消除公害, 农业增产和改良土壤都有重要的意义。经过 2—5 年的室内和田间小区和大面积的生产试验, 结果表明; 与对照组比较, 在每亩施加 150—1500 kg 磁煤灰时, 水稻可增产 4—18%, 大豆可增产 50% 以上, 并能提高植株组织内有效养分的累积量和养分吸收的携带量。在改良土壤方面, 能降低红壤的酸度, 提高土壤中养分的有效性, 增加土壤孔隙度, 降低土壤紧实度; 由于增加了土壤的粉粒和粗粘粒的含量, 还能提高土壤的保水和渗吸性能, 改变红壤的抗旱性。另外, 还能加速水稻土层面的形成作用, 也有利于水稻的生长和增加产量。但是, 磁场处理的机制和长期施用对环境的影响仍有待进一步的研究。

三、磁水在农业上的应用

流水经过与水流方向垂直的一定强度的磁场处理后称为磁场处理水, 简称磁水, 习惯上也称磁化水。经过长期和大量的试验和应用表明, 磁水不但能显著降低水垢, 而且具有多方面的生物效应, 因而在农业、医药和食品工业等方面获得了许多受到重视的应用。

首先, 利用磁水浸种、育秧或灌溉, 可以使一些作物提高种子发芽率, 促进幼苗生长, 收到增产的效果。例如, 水稻利用磁水浸种、灌秧田和灌大田, 比对照组的千粒重和亩产量都有增加, 增产幅度达到约 8—23%。磁水对于多种蔬菜如西红柿、菠菜、韭菜、元白菜、生笋、芹菜、香菜、大豆、黄瓜和辣椒等浸种或(和)浇灌, 都有较明显的增产效果, 一般增产率约 10—30%, 最高的可达 50% 以上(如西红柿、黄瓜等)。表 1 列出磁水对几种蔬菜的增产效果。在培养白木耳和黑木耳时, 施用磁水, 也有显著的增产效果, 具有甚高的经济价值。有的试验表明: 利用磁水浸泡甜菜种子, 不但提高了产量(约增产 120 斤/亩), 也使甜度增加; 利用磁水灌溉, 曾使向日葵增产 21%, 使大豆增产 40%, 使西红柿对肥料的吸收率提高 70%。最

表1 磁水对几种蔬菜的增产效果

磁水处理方法	蔬菜种类	磁场强度 (G)	试验面积 (亩)	增产率 (%)
磁水浸种	大萝卜	2,000	8	5
	小红萝卜	3,000	5	15
	小白菜	3,000	7	13
磁水浇灌	大萝卜	2,500	3	28
	西红柿	2,500	7	25
	大蒜	2,500	7	19
磁水浸种和浇灌	大萝卜	2,500	2	36
	菜豆	2,500	2	15
	江豆	2,500	3	16

近,在人工降雨机上添装磁场处理水的设备后,可加快水的流速,节省动力消耗,更扩大了磁水的应用。

磁水在饲养鱼类和禽畜及防治这方面的病害上也有许多应用。例如,用磁水养鱼,可提高鱼的存活率;用磁水养猪,与对照组对比饲养管理条件相同,饲料配方相同,饲料消耗量相等,猪的日增重可提高8%,出肉率可提高3%,猪肉质量也有所改善,主要是因为磁水能提高猪对饲料的利用率;磁水对小猪和小鸡的白痢病也有较好的防治作用;磁水用来治疗马骡的胃肠疾病也收到较好的效果,有人曾利用磁水喂奶牛,观察到可提高奶牛的产奶量;在用磁水饲养家兔的试验中,有人观察到可降低其甲状腺机能;在饲养的质量和数量相同的对照试验中,应用磁水饲养家禽、畜可使其增重加快20—30%。

国内、外的大量实验和大面积试验表明,磁水在改良土壤和治理盐碱地方面也有明显的效果。例如,用磁水灌溉,可把耕作层的盐分冲掉23%,并使农作物产量增加;磁水可以改善密实土壤的透水性;利用磁场处理过的海水灌溉盐碱滩上的试验田,曾使茄子和西红柿分别增产100%和50%,还使盐碱地一米厚表土的盐碱度降低25—30%;磁水可以提高盐类的溶解度和加快流速,如用磁水处理100g土壤比用非磁水多溶出10g盐类,过滤速度也增加二倍;通过实验室和野外试验,比较用磁水和用化学法改良粘土土壤,两者都能洗去较多的氯化镁;大面

积的野外盐碱地冲洗对照试验一个半月的结果表明,用磁水洗出盐类可比常用水提高一倍以上,并可洗出一般水不能冲洗掉的离子(如 HCO_3^-),减慢土壤中镁离子的积累,并使氧浓度提高10%。一些试验表明,磁水和常用水比较,冲洗掉 Cl^- 和 SO_4^{2-} 的效率可提高一倍以上。在农业上使用磁水具有经济和简单的特点,可收到提高产量和改良土壤的显著经济效益。

四、磁技术和磁性材料

在农业上的应用

除了磁场处理和磁水在农业上有较多的应用外,基于磁学原理的一些技术和方法以及具有特定磁性的材料也可在农业上得到了应用。

首先是磁共振,特别是核磁共振的应用。大量实验表明,磁共振是一种对农作物的种子和农产品(如禽蛋)的成分、病虫害和微量有毒

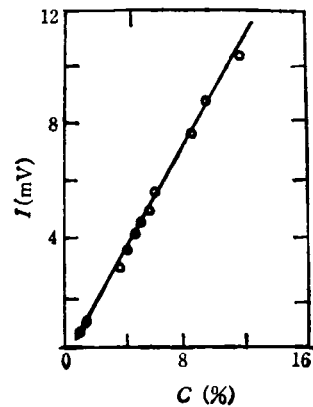


图 2

杂质等进行快速的、非破坏性的检验和测量的有效方法。生物材料中各种化学成分和基团都有其特征性的核磁共振谱线。犹如人具有各不相同的特征指纹一样,因而可利用高分辨率的核磁共振谱来定性或定量地检测、鉴定和分析生物材料的组成和细微结构的变化。例如,有人曾经利用核磁共振方法检测出水稻种子中的稻象鼻虫和面粉红甲虫等潜伏虫害;种子中蛋白质和脂肪等的含量,农产品中的微量毒性污染物,有些可以用核磁共振方法探测,有些可利

用顺磁共振方法探测。图 2 表明,湿度 <5% 的谷物种子的核磁共振信号积分 I 与种子中脂肪含量 C 的线性关系,可用于测量脂肪的含量。

在农、牧业中还会用到一些利用磁学原理和技术的磁器械。例如,为了除去饲料中混入的铁质物质(它们会刺伤牲畜的胃肠),可以采用类似于选矿的磁选机。这种饲料磁选机已在一些奶牛场中推广应用。又如利用永磁材料制成了兽医医疗器械的恒磁吸引器,可以用来吸取牛网胃中的铁质异物,治疗创伤性网胃炎,预防创伤性网胃炎及其继发的心包炎、肝炎、肺炎和脾炎等疾病。使用这种器械时,不需要给患者灌水、牵蹄和特殊绝食,因而不影响乳牛的产奶和耕牛的使役,操作也很简便,可使患者免除外科手术而得到治疗。采用磁能积约 16—21 MGOe 的稀土永磁合金作恒磁吸引器的磁头,可吸引 5—9kg 的铁质异物。还有,利用核磁共振原理及磁场梯度扫描技术和计算机信息处理技术研制成的核磁共振成像仪,已在生物学研究和医疗诊断中得到重要的应用,也可望在农业的成像分析检测和诊断中应用。

磁性肥料是利用少量或微量的强磁性或顺磁性材料作成的肥料,在一些情况下施用,可以得到增产的效果。通常使用的磁性肥料有两类:一类是强磁性肥料,例如钡铁氧体($BaFe_{12}O_{19}$)和其他具有永磁性的化合物;另一类是顺磁性肥料,例如一些稀土盐类(硝酸盐、氯化物等)。但磁肥不能代替正常的肥料,仅能作为促进对正常肥料的吸收的辅助肥料。试验证明:在水稻田中施用钡铁氧体肥料,使水稻增产 25%;在果园中施用这种肥料,例如能显著增强蜜桔对氮肥、钾肥和锰肥等微量元素的吸收;在水稻田中施以微量(每亩几十克)稀土肥料,五年中平均增产 4—15% (早稻)和 4—19% (晚稻);对棉花施用稀土盐类溶液(约 200g/l)喷叶(每亩约 40—65 ml)或拌种,三年中平均增产约 9—22% (黑土)和 8—28% (粘土);玉米和大白菜施加稀土磁肥后,分别增产 29% 和 12—29%。施磁肥对增产的作用见表 2。磁肥作用的机理尚未解决,目前还处于探索

物理

适用作物种类和最佳使用条件的阶段。

表 2 不同土壤的小麦田中施微量稀土磁肥后的增产效果

土壤	每亩用量	亩产量 (kg/亩)	对照田产量 (kg/亩)	增产率 (%)
黄土	33ml 拌种 (450g/l)	422	355	17
壤土	28ml 拌种 (450g/l)	342	308	11
沙土	40g 喷叶	218	163	30
碱土	40g 喷叶	295	245	21
粘土	50ml 拌种 (450g/l)	418	338	24

关于生物磁现象和磁场生物效应的特点主要有下面几点: 磁场效应与使用磁场的种类、强度、均匀度和作用时间有关;磁场产生的影响表现滞后、累积和放大等作用;磁场对不同生物层次、发育阶段和生物功能的作用效果不同。这些由大量实验和试验积累和归纳起来的宏观表现的微观生物过程和机制是当前正在研究的重要课题。

概括说来,生物磁现象和磁场生物效应所涉及的微观生物过程和机制主要有以下几种:由生物电流和体内强磁物剩磁产生的生物磁场;外磁场可以影响由生物体内各种生化过程引起的生物分子状态和结构等的变化;由外磁场可以引起生物体内电子传递、自由基活动、蛋白质和酶活动、生物膜渗透、生物半导体特性、生物体内水特性和缔合状态、遗传基因脱氧核糖核酸的氢键畸变以及生物代谢过程等的改变。具体的生物磁现象和磁场生物效应究竟与哪种具体的生物学过程和机制相关联,这是一个十分复杂而困难的问题,也是当前生物磁学中有待研究和解决的课题。

参 考 文 献

- [1] 李国栋,生物磁学及其应用,科学出版社,(1983).
- [2] B. H. 克拉辛著,毛锯凡等译,磁化水,计量出版社,(1982).
- [3] 谢绮芬,磁水器的应用,冶金工业出版社,(1975).
- [4] 李国栋,中华物理医学杂志,1(1979), 103,
- [5] 李国栋,中华物理医学杂志,2(1980), 161; 3(1981), 117, 186; 4(1982), 107; 5(1983), 112; 6(1984), 115.