

亚磁空间生物学效应研究的实验系统

蒋锦昌¹, 王学斌^{1,3}, 徐慕玲¹, 李兵¹, 杨文晖², 赵得玺², 宋涛²

(1. 中国科学院生物物理研究所视觉信息加工重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院电工研究所, 北京 100080; 3. 山东临沂师范学院生命科学系, 山东 临沂 276005)

摘要: 直径 2 m 的补偿式亚磁空间中, 内置非铁磁性智能化多功能实验箱系统, 箱内温控范围 20~40℃, 精度 0.1℃, 过温报警, 湿度可控范围 40%~80%, 通风和光照任意。箱内中央空间 (长×宽×高 =66.0 cm ×40.0 cm ×28.3 cm) 中, 80%、15%和 5%的位点剩余磁场分别平均为地磁场的 0.5%~0.6%、1.3%~1.5%和 2.7%~4.2%。箱内中央空间的高度为 43.0 cm 时, 55%、35%和 10%的位点剩余磁场分别平均为地磁场的 1.9%、2.3%和 3.3%。可用于多种生物学效应的观察和研究。

关键词: 亚磁空间; 生物学效应; 实验系统

中图分类号: Q64 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6737(2003)02-0218-04

随着航天事业的发展和生物圈研究的深入, 人们越来越确信地球上的一切生命活动都极其严格地适应地球已有的生存条件, 而作为一切生命活动基本要素的地磁场与生命活动的关系, 尤其是太空三要素之一的地磁场消除 (零磁空间) 的生物效应研究引起人们广泛的兴趣。前苏联在该领域曾进行了多方面的研究, 利用屏蔽和补偿地磁场的方法获得剩余磁场为 50~1000 nT 的亚磁空间 (hypomagnetic field space, HMFS), 其生物效应的研究为地磁场消除会极大地干扰生物体的功能状态提供了直接证据, 但直到 1974 年《地磁场与生命》一书问世才解密, 显然是与宇航有关。1978 年该书的英文版在美国问世, 而 11 年后我国才出版该书的中文版^[1], 1989 年中国地震局地球物理研究所建立了我国第一个地磁场屏蔽室, 又称“零磁空间 (magnetic field-free space)”实验室^[2], 1995 年开始亚磁空间生物效应的研究, 并在鸟类声行为、鼠类的白化和中枢神经递质含量等方面取得了一定的结果^[3~5]。

由于屏蔽式亚磁空间的造价高昂、失去自然光照和使用灵活性差等原因, 使之生物效应的研究受到相当的限制。由三组相互正交的亥姆霍兹线圈, 供给不同特性的工作电流, 不仅可获得补偿式亚磁空间^[6], 并可获得不同幅频特性的磁空间, 更便于开展不同特性磁场的生物效应研究^[7~9]。我们所研制的补偿式亚磁空间不仅可适用于多种生物学效应的观察和研究, 以及细胞培养和育种, 并已在亚磁

空间对鸡胚发育和雏鸡学习记忆的影响研究方面取得了一定的结果。

1 补偿式亚磁空间

补偿式亚磁空间由 3 对亥姆霍兹线圈相互正交而成, 直径分别为 2.01、1.80 和 1.61 m, 匝数为 78、70 和 70, 电阻为 11.9、9.6 和 9.7 Ω , 分别补偿地磁场的垂直、南北和东西分量 (磁通量密度为 B_V 、 B_{SN} 和 B_{EW}), 补偿电流分别为 1.07、0.77 和 0.03 A 时, 中心位点的 B_V 、 B_{SN} 和 B_{EW} 都接近于零。辅助用补偿式亚磁空间, 3 对线圈的直径分别为 1.205、1.060 和 0.908 m, 匝数为 160、180 和 210, 电阻为 14.5、14.3 和 14.4 Ω , 补偿电流分别为 0.63、0.39 和 0.02 A 时, 中心位点的 B_V 、 B_{SN} 和 B_{EW} 都接近于零。

补偿式亚磁空间各对线圈的工作电流分别由 GP 型高精度稳流电源提供, 输出电压的稳波系数 $\leq 1\%$ (P~P), 在输出 10%~100% 的范围内 8 小时稳定度优于万分之一。磁场强度由 CTM-5W01 型磁通门磁强计测量, 测量范围为 ± 199999 nT,

收稿日期: 2002-10-29

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大交叉学科前沿项目 (KJ CX1-09)

作者简介: 蒋锦昌, 1938 年生, 研究员, 电话:(010)64888537, E-mail: jiangjc@sun5.ibp.ac.cn

磁场分辨率为 1 nT，不确定度 0.1%。

2 非铁磁性实验箱

HJ-LC112 型智能化多功能实验箱，外径尺寸为长×宽×高=100 cm × 75 cm × 70 cm，箱体和内部结构为非铁磁性材料（图 1）。

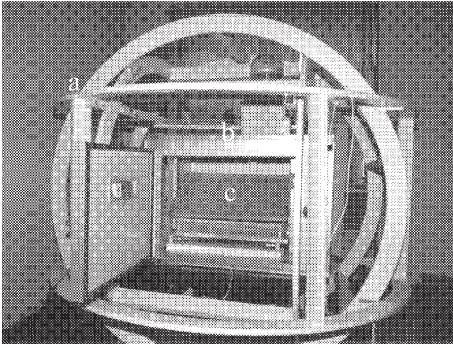


Fig.1 Experimental system for investigating biological effects in hypomagnetic field space. (a)three square Helmholtz coils arranged orthogonal; (b)nonmagnetic experimental box; (c)incubation case

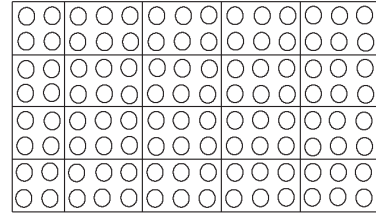
箱内参数由外置控制箱调节，温控范围 20~40 °C，精度 0.1 °C，加温过程由风扇均匀，风扇电机（~60 W）固定在后箱板通风孔（直径 15.4 cm）前面，通风量任意，超过柏克曼温度计设定警戒温度（38.0 °C）时，自动报警。湿度范围 40%~80%，并由调节点滴速度控制。光照任意。内置自动翻转系统（15 W 交流电机和变速箱），翻转倾角±45°，定时间隔 2 h。整个实验箱内置在直径 2 m 的补偿式 MFFS 中央，对剩余磁场的分布无影响，可满足多种生物实验的需要。在鸡胚发育影响的研究中，自动翻转系统为可放置 112 枚种蛋的孵化架，其下面为出雏盘。

3 实验箱内剩余磁场的分布

4~8 月 18 天测量表明，实验室内自然地磁场的 3 个分量 (B_V 、 B_{SN} 和 B_{EW}) 分别平均为 $(40.27 \pm 0.32) \mu T$ (18)、 $(25.05 \pm 1.73) \mu T$ (18) 和 $(2.39 \pm 0.53) \mu T$ (18)，室内自然地磁场的总强度 [$B_0 = (B_V^2 + B_{SN}^2 + B_{EW}^2)^{1/2}$] 平均为 $(47.51 \pm 0.80) \mu T$ (18)。

为了测量实验箱内剩余磁场的分布特性，图 1 中孵化架的 112 枚蛋位(8 枚×14 枚)划分为 20 个测量区（图 2）。补偿式 HMFS 中，实验箱内中央水平面（孵化架）和翻转 45° 倾斜面上各个测量区

的剩余磁场分布，见图 3A 和 B。

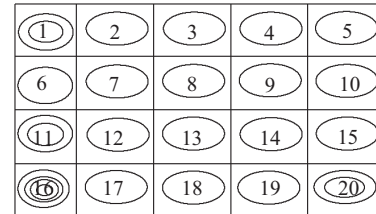


(A)

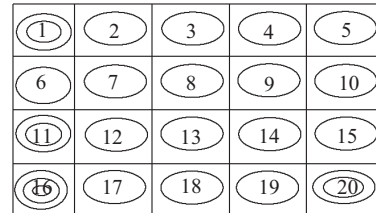
1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20

(B)

Fig.2 Distributions(A) of eggs and serial numbers(B) in incubation case



(A)



(B)

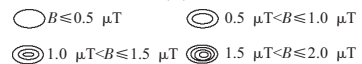


Fig.3 Distributions of remanent magnetic-field intensities inside experimental box in HMFS.

(A)Central level; (B)Inclined plane of 45°; 1~20: Serial numbers in Fig.2B

3 月、5 月和 7 月期间三次实验前的重复测量表明，中央（孵化架）水平面上剩余磁场的分布都相似（图 3A），80% 的分区（2~10 区、12~15 区和 17~19 区）的剩余磁场的总强度 (B_{RF}) 低于 $0.5 \mu T$ ，平均为 $(0.29 \pm 0.13) \mu T$ (48)；15% 的分区（1 区、11 区和 20 区）的 B_{RF} 分别低于 $1.0 \mu T$ ，平均为 $(0.69 \pm 0.18) \mu T$ (9)；5% 的分区（16 区）的 B_{RF} 低于 $2.0 \mu T$ ，平均为 $(1.99 \pm 0.19) \mu T$ (3)。

5 月和 7 月期间二次实验前的重复测量表明，中央水平面（孵化架）翻转 45° 的倾斜面上剩余

磁场的分布都相似 (图 3B), 并与水平面上相似, 80%的分区 (2~10 区、12~15 区和 17~19 区) 的 B_{RF} 低于 $0.5 \mu T$, 平均为 $(0.22 \pm 0.12) \mu T$ (32); 15%的分区 (1 区、11 区和 20 区) 的 B_{RF} 低于 $1.0 \mu T$, 平均为 $(0.64 \pm 0.04) \mu T$ (6); 5%的分区 (16 区) 的 B_{RF} 低于 $1.5 \mu T$, 平均为 $(1.26 \pm 0.15) \mu T$ (2)。

由此可见, 补偿式亚磁空间中实验箱内中央空间 (相当于孵化架翻转 $\pm 45^\circ$ 的空间) 为长 \times 宽 \times 高 = $66.0 \text{ cm} \times 40.0 \text{ cm} \times 28.3 \text{ cm}$ 时, 80%和 15%的位点剩余磁场总强度分别平均为地磁场总强度的 0.5%~0.6%和 1.3%~1.5%, 只有 5%的位点 (16 区) 平均为地磁场总强度的 2.7%~4.2%。16 区的剩余磁场明显增高显然与靠近柏克曼温度计有关, 而不去掉调温磁帽时的影响更大。

补偿式亚磁空间中实验箱内距中央水平面 21.5 cm 的出雏盘的剩余磁场分布, 见图 4。

3 月、5 月和 7 月期间三次实验前的重复测量表明, 出雏盘的剩余磁场分布都近似图 4, 55%的

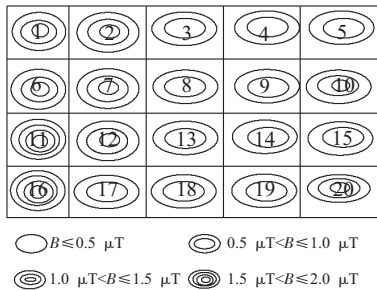


Fig.4 Distributions of remanent magnetic-field intensities of hatching case inside of experimental box in HMFS

分区 (3~5 区、8 区、9 区、13~15 区和 17~19 区) 的 B_{RF} 低于 $1.0 \mu T$, 平均为 $(0.90 \pm 0.27) \mu T$ (33); 35%的分区 (1 区、2 区、6 区、7 区、10 区、12 区和 20 区) 的 B_{RF} 低于 $1.5 \mu T$, 平均为 $(1.11 \pm 0.13) \mu T$ (21); 10%的分区的 (11 区和 16 区) 的 B_{RF} 低于 $2.0 \mu T$, 平均为 $(1.59 \pm 0.23) \mu T$ (6)。

由此可见, 补偿式亚磁空间中实验箱内中央空间扩大 (高度增加 12.7 cm) 为长 \times 宽 \times 高 = $66.0 \text{ cm} \times 40.0 \text{ cm} \times 43.0 \text{ cm}$ 时, 55%、35%和 10%的分区剩余磁场总强度分别平均为地磁场总强度的 1.9%、2.3%和 3.3%, 即最小剩余磁场约增高 3.2~3.8 倍。

4 讨 论

磁场生物效应研究中, 磁场特性按强度划分目前尚不统一。一般认为, 大于 10 mT (100 Gs) 为强磁场, 小于 $1 \mu T$ (1000 nT) 为极弱磁场 (亚磁场), 介于两者之间的为弱磁场^[10]。如果地磁场 (总场强度约 $50 \mu T$, 即 0.5 Gs) 被屏蔽或补偿后的剩余磁场小于 $3 \mu T$ 时, 指南针就失去指北特性而成为磁场自由空间 (magnetic field-free space, MFFS), 即通常所谓的“零磁空间”。事实上, 这种测试已成为通常评价零磁空间的定性指标。可见, 零磁空间仅仅是一个相对概念, 并非绝对的“零”磁场。有关文献中“zero magnetic field (零磁场)”的用语^[9], 显然不如用“MFFS”确切, 而用“HMFS”更为确切。

通过 3 个对照组和 5 个实验组的鸡胚孵化实验, 每个实验周期为 25 d, 实验系统都保持稳定的连续工作。所取得的实验结果表明, 亚磁空间对鸡胚发育和雏鸡的一次性味觉回避学习记忆均产生一定的负面影响 (另文发表), 与太空育种的变异方向 (主要为负向性) 相类似^[11]。可见, 地面模拟太空零磁环境的生物效应研究, 不仅可为太空育种和揭示地磁场与生命活动的关系提供重要的依据, 且比卫星搭载更为经济、方便和适时。本系统可为这一领域的研究提供实验条件。

参考文献:

- [1] Sinclair FM 著. 曾治权, 苏先樱, 刘桂英, 等(译). 地磁场与生命[M], 北京: 地质出版社, 1985. 11~20.
- [2] 周勋, 刘秀兰, 金海强, 等. 零磁空间及其在弱磁测量中的应用[A]. 见: 陈运泰 (主编), 地球与空间科学观察技术发展[C]. 北京: 地震出版社, 1995. 369~375.
- [3] 蒋锦昌, 金海强, 林云芳, 等. 零磁空间对虎皮鹦鹉声行为的影响[J]. 地震学报, 1998,20:421~426.
- [4] 李俊风, 吴奇久, 王倩, 等. 零磁空间和金黄仓鼠的白化[J]. 中国学术期刊文摘, 1999,5:781~783.
- [5] 李俊风, 吴奇久, 王倩, 等. 零磁空间对金黄仓鼠脑中几种神经递质的影响[J]. 生物化学与生物物理进展, 2001,28:358~361.
- [6] Belyaev IY, Alipov YD, Ringdahl HM. Effects of zero magnetic field on the conformation of chromatin in human cells[J]. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1997,1336:465~475.
- [7] Sastre A, Graham C, Cook MR. Brain frequency magnetic fields alter cardiac autonomic control mechanisms[J]. *Clinical Neurophysiology*, 2000,111:1942~1948.

- [8] Lindstrom E, Still M, Mattsson MO, et al. ELF magnetic initiate protein tyrosine phosphorylation of the T cell receptor complex[J]. *Bioelectrochemistry*, 2000,53:73~78.
- [9] Thomas AW, White KP, Drost JD, et al. A comparison of brheumatoid arthritis and fibromyalgia patients and healthy controls exposed to a pulsed(200 μ T) magnetic field: effects on normal standing balance[J]. *Neuroscience Letters*, 2001, 309:17~20.
- [10] 鲁勇军, 余珏. 磁场生物效应研究进展[J]. 基础医学与临床, 1994,14:9~14.
- [11] 梅曼彤, 易继财, 庄楚雄, 等. 空间飞行对水稻种子诱变效应的研究[A]. 第九次全国生物物理大会学术会议论文摘要[C]. 2002. 122.

AN EXPERIMENTAL SYSTEM FOR RESEARCH THE BIOLOGICAL EFFECTS OF HYPOMAGNETIC FIELD SPACE

JIANG Jin-chang¹, WANG Xue-bin^{1,3}, XU Mu-ling¹, LI Bing¹, YANG Wen-hui², ZHAO De-xi², SONG Tao²

(1. Laboratory of Visual Information Processing, Institute of Biophysics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Institute of Electrotechnics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100081, China; 3. Department of Life Science, Linyi Normal college, Shandong Linyi 276005, China)

Abstract: A nonmagnetic and intelligentized multifunctional experimental box system is placed inside of a compensatory hypomagnetic field space with 2 m of diameter. In the box, the temperature can be controlled in the range of 20~40°C at the precision of 0.1°C. When the temperature exceeded the limits, it will give an alarm. Its humidity range is 40%~80% and the aeration and illumination are controlled automatically. In the space of the box (length \times width \times height=66.0 cm \times 40.0 cm \times 28.3 cm), the remanent magnetic-field intensities at 80%, 15% and 5% of the measuring points are 0.5%~0.6%, 1.3%~1.5% and 2.7%~4.2% of the geomagnetic field intensity, respectively. When the height of the middle space of the box is expanded to 43.0 cm, the remanent magnetic-field intensities at 55%, 35% and 10% of the measuring points are 1.9%, 2.3% and 3.3% of the geomagnetic field intensity, respectively. The system can be used in the observation and study for many biological effects.

Key Words: Hypomagnetic field space; Biological effects; Experimental system