

# 鼠对前兆性地声记忆反应的研究

徐 慕 玲 蒋 锦 昌

(中国科学院生物物理研究所)

## 摘 要

本文比较研究了小白鼠对主峰频率 200Hz 的前兆性轰隆声和对粉红噪声的记忆反应。结果表明,小白鼠不仅能对这种地声信号产生明显的记忆反应,而且受训鼠对这种地声信号敏感性显著增高。

1. 地声组 (Gs. G.) 和噪声组 (N.G.) 穿门反应的时间-强度曲线 (TIC) 都近似指数衰减。在 1—5s 内 (SPL 10dB) 的峰值强度分别为 0.71 和 0.40。对照观察 (Con.) 的 TIC 近似随机事件的正态分布, 1—5s 内的反应强度仅为 0.13, 11—15s 内的峰值强度为 0.32。
2. 地声组对 10dB 的地声信号穿门反应的潜伏期为  $2.45 \pm 0.5s$ , 即比噪声组平均短  $0.86s$ ; 对 10—30dB 的地声信号穿门反应的潜伏期比噪声组约短 2s。
3. 地声组穿门反应的群体效应明显增高, 以 3 只鼠和 4 只鼠的群体穿门反应的比率分别为 Con. 的 1.6 倍和 2.9 倍。
4. 地声组的受试动物对 250Hz 纯音反应的 TIC 仍接近于对地声信号的反应, 而对粉红噪声的反应明显地失去原来的反应特性。

**关键词** 前兆性地声; 小白鼠; 记忆反应

## 一、前 言

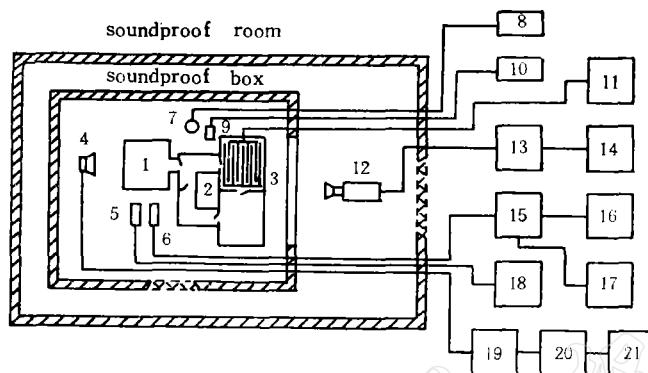
1969 年 Armstrong 曾在理论上估计, 强烈地震前释放的地声波传至地表, 仍有可能为某些动物觉察到<sup>[1]</sup>。近十多年来, 某些野外观测结果表明, 某些地震前可记录到不同音色特征的前兆性地声<sup>[2,3]</sup>。蒋锦昌等(1981)的野外观测和分析表明, 地表基岩面上观测到的某些前兆性地声, 可能为鼠等穴居动物觉察到<sup>[4]</sup>。蒋锦昌等(1983, 1985)的进一步研究表明, 岩石样品破裂过程中随着声发射频度的增高, 家鼠出现嗅探、惊慌和惊跳等行为反应<sup>[5]</sup>。同时, 优势频段为 150—250Hz 的前兆性地声不仅可引起小白鼠的不安和逃避性行为反应, 而且声压级约 70dB 左右就可引起其脑内 5-羟色胺 (5-HT) 代谢的显著性增高<sup>[6]</sup>。

据此, 本文进一步比较了小白鼠对前兆性地声观测中较为多见的轰隆声和对宽带粉红噪声的记忆反应。结果表明, 这种轰隆声可明显地引起小白鼠的记忆反应, 而且受训动物对这种地声的反应敏感性明显地增高。由此可见, 鼠类可能觉察到低强度的低频地声, 而观察受训动物的行为活动可改善临震预报的效果。

1986 年 10 月 31 日收到本文初稿, 1987 年 6 月 24 日收到修改稿。

## 二、实验方法

小白鼠声行为实验的观察系统,见图 1.



1—鼠笼；2—U型走道；3—实验箱；4—扬声器；5,6—测量话筒；7,8—照明；9,10—温度计；11—刺激电源；12,13,14—闭路电视(5DG-6型)；15—测量放大器(B&K 2610)；16—1/3倍频程滤波器(NL2型)；17—电平仪(B&K 2304)；18—精密声级计(ND6型)；19—功率放大器(KAIFA型)；20—声级衰减器(SHK-19型)；21—信号源(SHARP-GF-515型磁带录音机等)

图 1 声行为实验的观察系统

实验动物为雌性成年小白鼠,每组 6 只. 在本底噪声 22.5 dB(*C, SPL*) 的隔声室内适应一周,使之熟悉活动环境(1,2,3). 为保持正常的昼夜节律,每天 0.8h—18h 由 7 和 8 给光照,并由 9 和 10 测量实验箱 3 内的温度. 发声系统由 4,19,20 和 21 组成,声压级(*SPL*) 由 20 给定,声场分别由 5, 18 和 6, 15, 16, 17 进行测量和分析. 电刺激由 3 内一侧的电极板和 11 给定. 动物的行为活动由 12,13 和 14 进行监视.

行为实验：1. 试听反应，使动物熟悉声信号；2. 电刺激训练，由 50Hz 的 20V 电刺激训练动物的穿门反应；3. 声信号与电刺激结合训练，前 35s 给声信号（图 2），后 20s 同时给声信号（70dB）和电刺激（20V, 50Hz）。动物对声信号建立起记忆反应后，在只给声信号

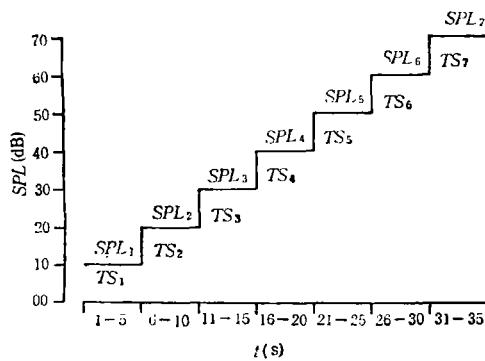


图 2 声信号的时间-强度图样

的 35s 内的动物穿门反应为观察值。

实验分为四种类型。1. 对照观察 (Con.): 在自然条件下, 35s 内动物的穿门反应为对照值; 2. 地声组 (Gs. G.): 声信号是前兆性地声观测中多见的轰隆声的组合声, 平均间隔约 1.2s。单个轰隆声的持续时间、优势频段、主峰频率和主峰频率下降 50dB 的带宽分别为 0.85s, 150—250Hz, 200Hz 和约 50—1000Hz<sup>[6]</sup>; 3. 噪声组 (N. G.): 声信号是由 UZ-3 型白噪声发生器产生的 20—20000Hz 的平稳连续噪声, 即粉红噪声; 4. Gs. G. 的分化实验: 为了进一步分析 Gs. G. 的受试动物的穿门反应与声感觉的关系<sup>[7]</sup>, 选择与地声信号主峰频率相接近的 250Hz 纯音和粉红噪声分别进行分化实验, 即纯音分化 (T.D.) 和噪声分化 (N. D.)。

声信号的时间-强度图样, 见图 2。

图 2 中, 声信号在 35s 内分为 7 个时间段 (TS), 即  $TS_1, TS_2, \dots, TS_7$  分别为 1—5s, 6—10s, …, 31—35s, 其声压级 (SPL, 线性)  $SPL_1, SPL_2, \dots, SPL_7$  相应为 10dB, 20dB, …, 70dB。

### 三、实验结果

Con., Gs. G., N.G., T.D. 和 N.D. 分别为 130 次实验, 4 组 223 次实验, 3 组

表 1 每个 TS 的穿门反应的  $F_t$  和  $N_m$

| TS  | Con.  |       | Gs. G. |       | N.G.  |       | T.D.  |       | N.D.  |       |
|-----|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|     | $F_t$ | $N_m$ | $F_t$  | $N_m$ | $F_t$ | $N_m$ | $F_t$ | $N_m$ | $F_t$ | $N_m$ |
| 1   | 8     | 17    | 54     | 158   | 21    | 62    | 13    | 34    | 5     | 16    |
| 2   | 15    | 34    | 40     | 105   | 21    | 56    | 11    | 31    | 4     | 8     |
| 3   | 23    | 42    | 35     | 80    | 21    | 58    | 6     | 16    | 5     | 11    |
| 4   | 11    | 17    | 19     | 40    | 14    | 39    | 7     | 11    | 6     | 18    |
| 5   | 8     | 17    | 14     | 30    | 7     | 24    | 2     | 5     | 0     | 0     |
| 6   | 8     | 13    | 13     | 19    | 13    | 26    | 2     | 6     | 1     | 2     |
| 7   | 10    | 14    | 9      | 9     | 9     | 14    | 3     | 5     | 2     | 3     |
| $N$ | 130   |       | 223    |       | 154   |       | 49    |       | 24    |       |

注:  $N$ —实验总次数。

表 2 每个  $U_m$  的穿门总鼠量 ( $N_m U_m$ )

| $U_m$         | $N_m U_m$ |        |      |      |      |
|---------------|-----------|--------|------|------|------|
|               | Con.      | Gs. G. | N.G. | T.D. | N.D. |
| 1             | 37        | 53     | 25   | 10   | 6    |
| 2             | 60        | 102    | 58   | 26   | 10   |
| 3             | 30        | 135    | 75   | 39   | 24   |
| 4             | 12        | 100    | 68   | 28   | 8    |
| 5             | 15        | 45     | 35   | 5    | 10   |
| 6             | 0         | 6      | 18   | 0    | 0    |
| 总量 ( $TN_m$ ) | 154       | 441    | 279  | 108  | 58   |

154 次实验, 2 组 49 次实验和 2 组 24 次实验。每个  $TS$  的穿门反应频度 ( $F_t$ ) 和穿门总鼠量 ( $N_m$ ), 见表 1。

在任一次实验中, 穿门动物可能是 1 只鼠, 或 2 只鼠, …, 或 6 只鼠。因此, 6 只受试鼠可分为 6 个穿门鼠量单位 ( $U_m$ ), 即  $U_{m1}, U_{m2}, \dots, U_{m6}$  分别为 1, 2, …, 6 只鼠穿门。每个  $U_m$  的穿门总鼠量, 即  $N_m U_m$ , 见表 2。

Gs.G. 和 N.G., 每个  $SPL$  的不同潜伏期的穿门反应频度 ( $F_t$ ), 见表 3。

表 3 每个  $SPL$  的不同潜伏期的穿门反应频度 ( $F_t$ )

| SPL<br>(dB) | Gs. G.  |    |    |    |    | N. G.   |   |   |    |   |
|-------------|---------|----|----|----|----|---------|---|---|----|---|
|             | 潜伏期 (s) |    |    |    |    | 潜伏期 (s) |   |   |    |   |
|             | 1       | 2  | 3  | 4  | 5  | 1       | 2 | 3 | 4  | 5 |
| 10          | 1       | 22 | 16 | 6  | 9  | 2       | 5 | 6 | 5  | 3 |
| 20          | 11      | 6  | 5  | 8  | 10 | 3       | 2 | 1 | 10 | 5 |
| 30          | 6       | 7  | 5  | 10 | 7  | 3       | 5 | 3 | 4  | 6 |
| 40          | 6       | 4  | 1  | 4  | 4  | 5       | 2 | 3 | 2  | 2 |
| 50          | 2       | 7  | 1  | 2  | 2  | 1       | 3 | 3 | 0  | 0 |
| 60          | 2       | 3  | 3  | 1  | 4  | 3       | 3 | 2 | 1  | 4 |
| 70          | 1       | 3  | 1  | 2  | 2  | 1       | 4 | 0 | 3  | 1 |

## 四、结果分析

### 1. 穿门反应强度

时段  $TS_i$  的穿门反应强度为  $I_i = K_i \times N_{mi} / F_{ti}$ ,  $K_i$  为  $TS_i$  的穿门频度系数,  $K_i = F_{ti} / N$ ;  $N_{mi}$ ,  $F_{ti}$  和  $N$  分别为  $TS_i$  的穿门总鼠量、穿门频度和实验总次数 (表 1)。由表 1 可分别得到 Con., Gs.G. 和 N.G. 的穿门反应的时间-强度曲线 ( $TIC$ ), 见图 3(a)。同时, 可分别得到 Gs.G. 和 N.G. 的每个  $I_i$  的相对强度级,  $RIL_i = 10 \lg I_i / \bar{I}_0$  [图 3(b)]。 $\bar{I}_0$  为 Con. 穿门反应的平均强度, 即为 0.17 [见图 3(a)]。

图 3(a) 表明, Gs.G. 的  $TIC$  近似指数衰减, 其峰值强度在  $TS_1(1-5s, 10dB)$ , 为 0.71。N.G.,  $TS_{1-3}$  ( $1-5s, 10dB$ ;  $6-10s, 20dB$  和  $11-15s, 30dB$ ) 的强度基本上相等, 即峰值为 0.40—0.38,  $TS_{3-7}$  内的  $TIC$  近似指数衰减。Con. 的  $TIC$  近似正态分布,  $TS_1(1-5s)$  的强度仅为 0.13, 峰值强度在  $TS_3(11-15s)$ , 为 0.32。

图 3(b) 表明, Gs.G. 的  $RIL$  近似线性衰减,  $TS_1$  和  $TS_2$  的强度级分别比 Con. 高 6.2dB 和 4.4dB。N.G. 在  $TS_{1-3}$  的强度级基本上相等, 比 Con. 高 3.8—3.5dB。

由动物的刺激-感觉反应的一般特性来看<sup>[8]</sup>, Gs.G. 和 N.G. 的  $TIC$  表明受训动物的穿门反应与声感觉有关, 而 Con. 的穿门反应是近似正态分布的随机事件。

### 2. 分化实验

由表 1 可分别得到 T.D. 和 N.D. 的  $TIC$  和  $RIL$  (图 4)。

图 4(a, b) 表明, Gs.G. 的受训动物对 250Hz 纯音反应的  $TIC$  和  $RIL$  都近似于对地声的反应(图 3), 其  $TIC$  和  $RIL$  仍分别近似指数衰减和线性衰减, 峰值强度在

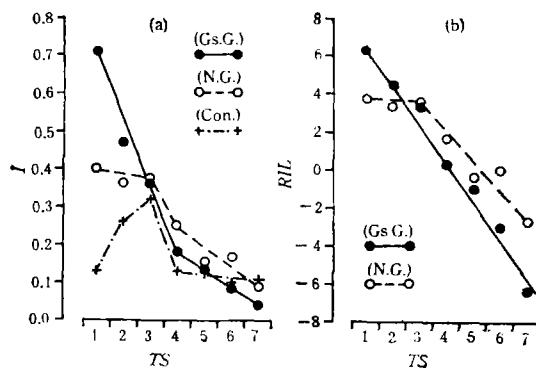


图3 穿门反应的 TIC(a) 和 RIL(b)

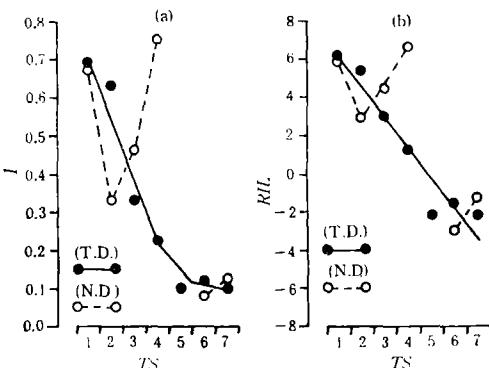


图4 分化实验的 TIC(a) 和 RIL(b)

$TS_1$  为 0.69, 但是对粉红噪声的反应明显地失去原来的反应特性(图 3).

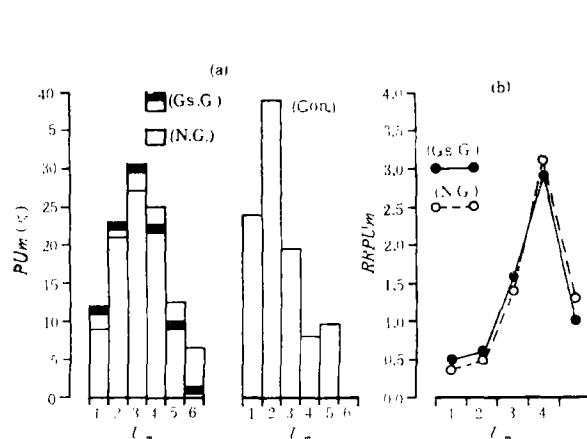
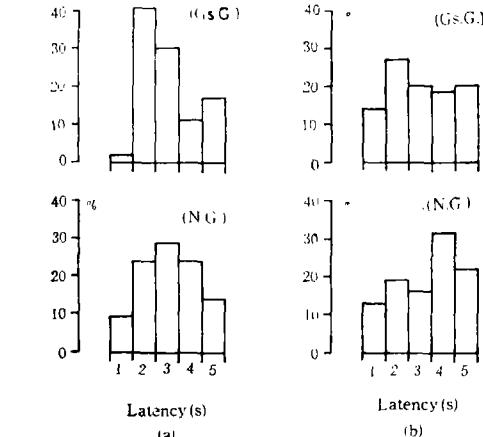
由此可见, 由地声信号与电刺激结合训练的动物, 对接近地声信号的主峰频率的纯音反应, 仍保持穿门反应的记忆特性. 这进一步表明, Gs.G 的受训动物对主峰频率 200Hz 的前兆性轰隆声形成了明显的记忆反应.

### 3. 穿门反应的群体效应

由表 2, 可分别得到 Con., Gs.G. 和 N.G. 每个  $U_m$  的穿门鼠量的百分率,  $PU_m = N_m U_{mj} / TN_m \times 100 (j = 1, 2, \dots, 6)$ , 见图 5(a). 同时, 以 Con. 的每个  $PU_m$  为基准, 可相应得到 Gs.G. 和 N.G. 的每个  $PU_m$  的相对比率 ( $RRPU_m$ ), 见图 5(b).

图 5(a) 表明, Gs.G. 和 N.G. 的穿门鼠量的峰值都是以 3 只鼠的群体穿门, 以 2—4 只鼠的群体穿门鼠量分别占穿门总鼠量 ( $TN_m$ ) 的 76.4% 和 72%. Con. 穿门鼠量的峰值是以 2 只鼠的群体穿门, 以 1—2 只鼠的群体穿门鼠量占穿门总鼠的 63%.

图 5(b) 进一步表明, Gs.G. 和 N.G. 以 4 只鼠的群体穿门鼠量比率, 即  $RRPU_{m4}$  分别为 Con. 的 2.9 倍和 3.1 倍.

图5 穿门反应的  $PU_m$ (a) 和  $RRPU_m$ (b)图6 对  $SPL_1$ (a) 和对  $SPL_{1-3}$ (b) 穿门反应潜伏期的分布

看来, Gs.G. 和 N.G. 的受训动物穿门反应的群体效应明显高于 Con..

#### 4. 穿门反应的潜伏期

声信号由  $SPL_1$  至  $SPL_7$  是阶梯式递增的(见图 2),因此可认为对  $SPL_1$  的穿门反应是每次实验的首次反应. 同时, Gs.G. 和 N.G. 对  $SPL_{1-3}$  的穿门反应分别占总穿门反应量的 70.1% 和 59.4% (见表 3). 因此,对  $SPL_1$  和对  $SPL_{1-3}$  的穿门反应潜伏期,基本上可反映受试动物对声信号的反应敏感性. 由表 3,可分别得到 Gs.G. 和 N.G. 的受试动物,对  $SPL_1$  和对  $SPL_{1-3}$  的穿门反应潜伏期的分布,见图 6.

图 6(a) 表明, Gs.G. 对  $SPL_1$  的穿门反应,其 70.5% 的潜伏期平均为  $2.45 \pm 0.5$ s; N.G. 76.2% 的潜伏期平均为  $3.31 \pm 1.25$ s.  $t$ -检验表明,两者具有显著性差异,即 Gs.G. 对  $SPL_1$  的穿门反应潜伏期平均比 N.G. 短 0.86s.

图 6(b) 表明, Gs.G. 和 N.G. 对  $SPL_{1-3}$  穿门反应潜伏期的峰值分别为 2s 和 4s,即 Gs.G. 对  $SPL_{1-3}$  穿门反应的 27% 的潜伏期约比 N.G. 短 2s.

看来,受训动物对低频的前兆性轰隆声的敏感性优于对粉红噪声的敏感性.

### 五、讨 论

受训前动物试听行为反应表明,某些鼠对 30—40dB (距声源约 70cm) 的主峰频率 200Hz 的前兆性轰隆声,出现竖耳和倾听等听觉反应. 这接近于人、猫和豚鼠等对 200 Hz 纯音的生理听觉阈值和行为听觉阈值<sup>[9,10]</sup>. 受训后的动物对这种地声信号的穿门反应强度明显增高,即 10dB 地声的反应强度为对照动物的 5.5 倍. 同时,穿门反应的群体效应也明显增高. 看来,受训动物的行为听觉敏感性明显增高,并可能觉察到某些三级左右有感地震前,震中附近记录到的 20dB 左右的前兆性地声<sup>[4]</sup>. 这表明,穴居的鼠类,尤其是听觉反应比较灵敏的个体,有可能优先于人觉察到某些强烈地震前传至地表的 30dB

表 4 前兆性地声的频谱特征与动物听觉器频率分析的比较

| 前兆性地声 <sup>[6]</sup> |           |           | 听觉器的频率分析 <sup>[11]</sup> |             |              |             |
|----------------------|-----------|-----------|--------------------------|-------------|--------------|-------------|
| 音色类型                 | 主峰频率 (Hz) | 优势频段 (Hz) | 动物种类                     | 基底膜长度 (mm)* | 分析部位 (mm)*   | 谐振频率 (Hz)   |
| 轰隆声                  | 200       | 125—250   | 鸡                        | 5.0         | 2.1<br>4.5   | 2000<br>100 |
| 炒豆声                  | 125       | 100—200   | 小白鼠                      | 7.0         | 3.1<br>6.5   | 5000<br>400 |
| 滚石声                  | 125       | 100—200   | 大白鼠                      | 9.7         | 5.1<br>9.5   | 5000<br>200 |
| 嗡嗡声                  | 125       | 100—200   | 豚鼠                       | 18.0        | 8.0<br>18.0  | 3000<br>200 |
| 刮风声                  | 200—250   | 125—315   | 牛                        | 38.0        | 9.0<br>33.0  | 2000<br>100 |
| 小鼓声                  | 125—160   | 100—400   | 象                        | 60.0        | 14.0<br>51.0 | 2000<br>30  |

\* 基点都为镫骨附近.

以上的前兆性地声。同时,用类似前兆性地声的声信号训练的鼠类,有可能觉察到更弱的前兆性地声,并产生相应的记性反应。因此,如果用声、振动、电和气味等前兆性因素训练动物,观察其确定性记忆反应与地震的关系,能更为有效。实际上,这如同改善和提高地震前兆观测装置的技术性能。

从实验室研究的角度来看,选用小白鼠是比较方便的。但是由常见的前兆性地声的频谱特性与不同种类动物听觉器官的频率分析能力的比较(表4)来看,小白鼠作为实际观察对象并不理想。

由表4可见,小白鼠听觉器频率分析的低频端为400Hz,即低于400Hz的听觉敏感性明显下降。鸡、大白鼠和牛等听觉器分析的低频端正位于这些前兆性地声的优势频段内,因此选择鸡、大白鼠,尤其是大家鼠等小动物,对监听前兆性地声是较合适的。同时,这些动物用前兆性地声训练后,其观察效果可能更好。

本研究得到地震科学联合基金会的资助。

### 参 考 文 献

- [1] Armstrong, B. H., Acoustic emission prior to rockbursts and earthquakes, *Bull. Seism. Soc Amer.*, 1969, **59**, 1259—1279.
- [2] 中国科学院生物物理研究所地声组,余震期间的地声观测研究,地震科学,1980,第一辑,25—32。
- [3] 田时秀、胡富坤,唐山—宁河地区震前地声的观测研究,《ISCSEP》论文集(英文版),480—493,1984,地震出版社。
- [4] 蒋锦昌、刘向群,震前地声与动物异常关系的研究,地震学报,1981,3,429—439。
- [5] 蒋锦昌、孙 巍、孙立谔、郑延令,岩石样品加压过程中家鼠反应的观察研究,科学探索学报,1983,3,37—44。
- [6] 蒋锦昌、孙 巍、徐慕玲,前兆性地声的衰减特性及生物效应的研究,地震学报,1985,7,202—211。
- [7] 巴甫洛夫高级神经活动杂志译丛编辑委员会编辑,《巴甫洛夫高级神经活动杂志译丛第七专辑》,1957,人民卫生出版社。
- [8] V. G. 德西尔等著,张宗炳译,动物的行为,1966,上海科技出版社。
- [9] Wever, E. G. and M. Lawrence, *Physiological Acoustic*, Princeton New Jersey, 1954, Princeton University Press.
- [10] Schuknecht, H. F. and M. D. Detroit, Techniques for study of cochlear function and pathology in experimental animals, *Archives of Otolaryngology, A. M. A.*, 1953, **58**, 377—397.
- [11] Georg Von Bekesy, G., *Experiments in Hearing*, 1960, McGRAW-HILL Book Company.

## A STUDY ON MEMORY RESPONSE OF MICE TO EARTHQUAKE PREMONITORY GEOSOUND

XU MULING AND JIANG JINCHANG

(Institute of Biophysics, Academia Sinica)

### Abstract

In this paper, comparative studies on the memory responses of white mice to earthquake premonitory thunders with a main peak frequency of 200 Hz and to pink noise are given. The results show that white mice not only can obviously form memory response to geo-sound signals but the sensibility of trained mice to this kind of geo-sound signals is markedly improved.

1. In geo-sound group (Gs. G.) and noise group (N. G.), the time-intensity curve (*TIC*) of pass-door reactions both approximate to an exponential attenuation, and the peak intensity within the range of periods of 1—5s (*SPL* 10 dB) is 0.71 and 0.40, respectively. In control observations (Con.), the *TIC* approximates to a normal distribution of stochastic events, and the reaction intensity within the periods of 1—5s is only 0.13, its peak intensity within the range of periods of 11—15s is 0.32.

2. In the Gs. G., the latency of pass-door responses to the geo-sound signal at 10dB is on an average  $2.45 \pm 0.5$  s, that is, it is on an average 0.86 s shorter than that the N. G.; and to the geo-sound signal at 10—30 dB is shorter than the N. G. by about 2s.

3. In the Gs. G., the collective effects of pass-door reaction are obviously improved and the ratio of pass-door reaction by the groups of three and four mice is 1.6 and 2.9 times of the Con., respectively.

4. In test animals of the Gs. G., the *TIC* responding to a tone of 250 Hz still approximates to response to geo-sound signal, but the response to the pink noise obviously loses the original reaction properties.