动 物 学 研 究 2006，Feb. 27（1）：12－17 CN 53－1040/Q ISSN 0254－5853
Zoological Research

实验条件下社鼠个体相遇时的叫声特征

姜仕仁[1,*]，丁 平[2]
（1. 浙江科技学院，浙江 杭州 310012；2. 浙江大学 生命科学学院，浙江 杭州 310028）

摘要：在实验室条件下对捕自杭州市郊的 11 只社鼠（3♂，8♀）个体相遇时的叫声与行为进行观察和记录，其结果表明，社鼠不同个体相遇后存在 4 种叫声，即雄性个体相遇打斗时败者的叫声、雌性个体相遇打斗时败者的叫声、异性成体相遇时雌体的叫声和成幼体相遇时幼体的叫声。进一步比较分析显示，各种叫声的主要声学参数之间大多存在着极显著差异。同性个体打斗后，败者的叫声和幼体见到成体时的叫声均呈现为多谐变音的频谱结构，这可能是对强者的惧怕叫声；而异性个体相遇时，雌体的叫声呈现为多谐恒频的频谱结构，这可能是对雄体的拒斥叫声。

关键词：社鼠；叫声特征；惧怕叫声；拒斥叫声
中图分类号：Q62；Q959.837 **文献标识码**：A **文章编号**：0254－5853（2006）01－0012－06

Acoustic Characters of Chinese White-bellied Rat's Voice in Different Individual Encountering Settings in Captive

JIANG Shi-ren[1,*], DING Ping[2]
(1. *Zhejiang University of Science and Technology*, *Hangzhou* 310012, *China*;
2. *College of Life Science*, *Zhejiang University*, *Hangzhou* 310028, *China*)

Abstract: The voices of 11 individuals (3♂, 8♀) of Chinese White-bellied Rat (*Niviventer confucianus*) from field and their behaviors were recorded and observed in different individual encountering settings in captive. The results showed that Chinese White-bellied Rat made 4 kinds of voices in different individual encountering situations, i.e. defeated male's voice, defeated female's voice, female's voice when male occurred and young's voice when adult occurred, and the significant differences on values of most measured acoustic parameters between voices could be found. The acoustic characters based on our studies suggested that Chinese White-bellied Rat might have two types of voices when individuals encountered each other: One is fearing call with multi-harmonic frequency conversion, including defeated individual's voice and young's voice when adult occurred; another is rejecting call with multi-harmonic constant frequency, such as female's voice when male occurred.

Key words: Chinese White-bellied Rat (*Niviventer confucianus*); Acoustic characters; Fearing call; Rejecting call

声通讯是动物种间、种内进行信息交流的重要方式，鼠类也不例外。鼠类的声音范围在200～90 000 Hz 之间（Fay & Popper，1994；Warfield，1973），同时以可听声（20～20 000 Hz）和超声（ultrasonic call，>20 000 Hz）进行通讯，如小家鼠（Nyby，1983；Maggio & Whitney，1985；Mazzacana & Damato，1997；White et al，1993；Branchi et al，1998；Brudzinski et al，1999）、仓鼠（Cherry，1989）和褐家鼠（Thomas & Barfield，1985）等鼠类在求偶、交配和幼体的通讯过程中的超声通讯；土拨鼠（Daniel & Kenneth，1997）与松鼠（Balph & Balph，1966；Melchior，1971；Owings et al，1986；Schwagmeyer，1980；Sherman，1985）告警的可听声通讯。然而，由于鼠类大多营穴居生活或以夜间

* 收稿日期：2005－09－14；接受日期：2005－10－15
基金项目：浙江省自然科学基金资助项目（Y504125）
* 通讯作者（Corresponding author），E-mail：jsr001@mail.hz.zj.cn

活动为主，隐匿性强，在自然状态下平时很少听到其叫声，使得人们对鼠类声通讯的研究相对较少。国内亦仅见有关褐家鼠（Jiang et al，1993）、草原鼠兔（He et al，1996）、棕色田鼠（Tai et al，1999）和甘肃鼢鼠（Li et al，2000）等鼠类少量声通讯研究。开展鼠类声通讯行为研究，了解不同种类个体之间在信息传递过程中的叫声特点，不仅可丰富生物声学和通讯行为的基础理论，而且为探索声通讯原理应用于鼠害引诱防除，为鼠害防治提供安全、无害化的新技术和新方法，从而为进一步开发鼠害防治的新设备，扩大生物声学实际应用领域等都具有重要的理论与现实意义。

社鼠（*Niviventer confucianus*）是我国常见的、广分布性的农林害鼠，也是多种病原体的携带者。社鼠在本地 2 月份就开始繁殖，4 ~ 5 月和 7 ~ 9 月是其繁殖盛期（ZhuGe & Gu，1989）。但对社鼠的声通讯行为尚未见报道，本文对捕自野外的社鼠在实验条件下，对不同个体相遇时可听声的叫声特征进行了分析研究。

1　材料与方法

2005 年 2 ~ 5 月，在杭州市郊用捕鼠笼捕捉社鼠，并对捕获到的每一个体给予编号，进行性别鉴定和称重，然后放入塑料饲养箱（600 mm × 400 mm × 350 mm）中单独饲养，饲养至少一周后用于实验观察。饲养箱顶部为金属网箱盖，箱体四周及底部有直径约 10 mm、间距约 80 mm 的通气小孔。在饲养箱一侧面的下方开设一直径 40 mm 的圆门，单独饲养时关闭此门；实验时，两饲养箱之间以长 300 mm、直径 40 mm、中部有一 4 mm 沟槽（插隔板）的 PVC 塑料管相连。饲养箱内铺以碎纸条等供鼠类休息时遮蔽之用，并有贮水器，每日喂以大米和红枣等。实验室内采用自然光照，所有实验均在晚上 19：00 ~ 22：00 进行。实验时根据捕获先后让每一个体分别与现存的其他同性、异性和成、幼个体组合，观察它们相遇后的行为并记录叫声。但同一个体同一天实验中经激烈打斗过的只实验一次，无打斗的最多二次。

饲养箱上方安装有红外监控摄像头，并以 25 帧/s 的速率实时记录，进行计算机实验监控。同时，饲养箱上方约 600 mm 处固定有 HT-81 型强指向麦克风（频率响应 100 ~ 16 000 Hz），叫声经音频放大器放大后输入计算机，再经 Goldwave 声音录制编辑软件以单声道、16 位和 44.1 kHz 的采样率直接录制两个体相遇时发出的声音。叫声以无压缩的 WAV 格式贮存，再通过多功能动物声音分析系统（Jiang & Zheng，2003）对叫声以 1024 点（频率间隔 43.1 Hz）窄带分析作出音图和平均频谱（即以 1024 点分段递推进行频谱分析后的平均谱）。从每一组实验的叫声录音中从前往后选取 30 ~ 50 个没有打斗噪杂声的叫声样本进行全声频谱分析，得到其主峰频率（main peak frequency，MPF）、下降 20 dB 的频宽（bandwidth，BW_{-20dB}）、最低频率（lowest frequency，LF）和最高频率（highest frequency，HF）及叫声的时长（duration，DT）等主要声学参数。然后经 Excel 软件将各组叫声参数以散点图的形式显示其分布状况，同时比较各组之间行为和叫声特征的异同，找出不同对象相遇后的行为及叫声特征。并用 SPSS 统计分析软件以 Independent-samples *t* test（2-tailed）对不同叫声进行差异显著性检验。

对捕自野外的 11 只社鼠（3♂ 8♀，其中 3♀幼体，5♀怀孕成体）（表 1）进行了 28 组实验观察与叫声记录，其中雄性成体之间 3 组，雌性成体之间 5 组，雌雄成体之间 7 组，幼体和成体之间 13 组。每组实验时间为 1.5 ~ 2 h，共计近 50 h。

表 1　社鼠各个体的性别与体重

Tab. 1　Sex and weight of each individual of *Njvjventer confucianus*

编号 No.	性别 Sex	体重 Weight（g）
1	♀	47
2	♀	38
3	♀（幼，young）	28
4	♀	55
5	♀	55
6	♀（幼，young）	12
7	♂	60
8	♀（幼，young）	30
9	♀	38
10	♂	57
11	♂	40

2　结　果

由实验得知，社鼠同性成体煎具极强的非容忍性，无论是两雌性或两雄性个体相遇，均存在激烈打斗；而雌雄异性成体相遇时雄体表现出求偶行为；成体和幼体相遇有少量追逐，但无激烈打斗行为。社鼠单独饲养时从未听到其发出叫声，甚至在

同性个体打斗的前期也不发出叫声，只是同性个体打斗后的败者和雌性成体在雄体面前及幼体见到成体时各有不同的叫声。

2.1 雄体败者的叫声

当两雄性成体相遇时，一开始为激烈打斗，且双方均不发出叫声。经过一段时间（短则几分钟，长则二十几分钟，视双方体力的差异程度而异）打斗，败者便发出‘叽、叽、叽…’的叫声。在连续的叫声中，每一声的结构均不一样（图 1），持续时间有长有短，叫声的振幅有高有低，凡是振幅高的叫声在音图上均有 1 ~ 2 个谐音。经对不同个体 62 个叫声样本的分析，其叫声的主频率主要分布在3 500 ~ 5 000 Hz 之间（图 1），其主要声学参数见表 2。

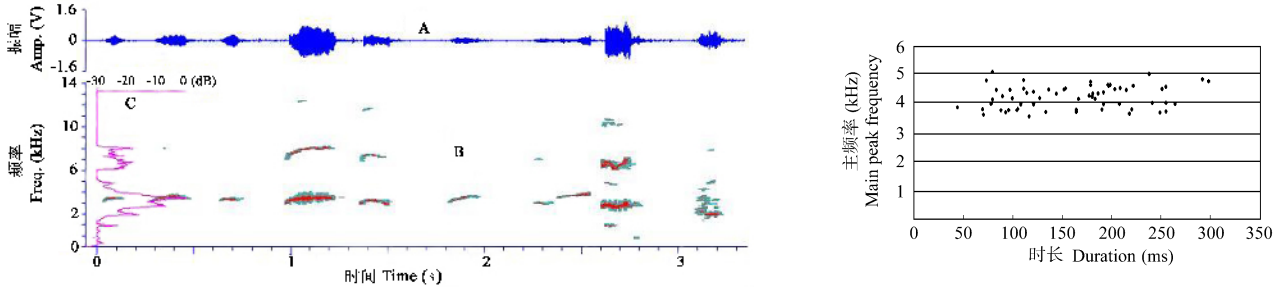

图 1 社鼠雄体败者叫声的波形图、声图、平均频谱图及主频率和时长的散点图

Fig. 1 The oscilogram, sonogram, average frequency spectum and scatter graph showing frequency and duration of defeated male's voice

A：波形图（Oscilogram）；B：声图（Sonogram）；C：平均频谱图（Average frequency spectum）。

2.2 雌体败者的叫声

两雌性成体相遇时的情形与两雄性成体相遇时一样，打斗初期亦无叫声。经过一段时间的激烈打斗后，败者不断发出“叽、叽…”的叫声。双方停停打打，后来弱者看到强者向其靠近就叫。从图 2 的一个叫声片断中可见，雌性败者叫声短促而富有谐音，在连续的叫声中每一声的结构相似。经对不同个体的 140 个叫声分析后，从主频率和时长显示的散点图（图 2）中可以看出，其叫声的主频率分布在 2 600 ~ 7 000 Hz 之间，且在 4 500 Hz 左右明显分为两组，相应的两组叫声主要声学参数之间的差异均达到显著或极显著水平（表 3）。

2.3 异性相遇时雌体的叫声

当雌雄成体相遇时，两者并不打斗。此时，雄体在雌体的身边不停地打转，或在雌性的身上不停地嗅闻。而雌体面对雄体的行为，往往身体直立，面对雄体不停地发出连续而急促的带沙哑的“jù、jù…”的叫声（图 3），似乎不愿雄体靠近；有时雌体采取躲避行为，常跑到连接两箱通道的另一端，用身体堵挡通道口，同时连续地发出这种叫声。从图 3 中可知这类叫声持续时间较长，也有多个谐音，每一叫声的结构有所不同，其叫声的主频分布范围也和雌性败者叫声相似，且同样在约 4 500 Hz 处 明显分为两组（图3）；但相应的两组叫声的主要

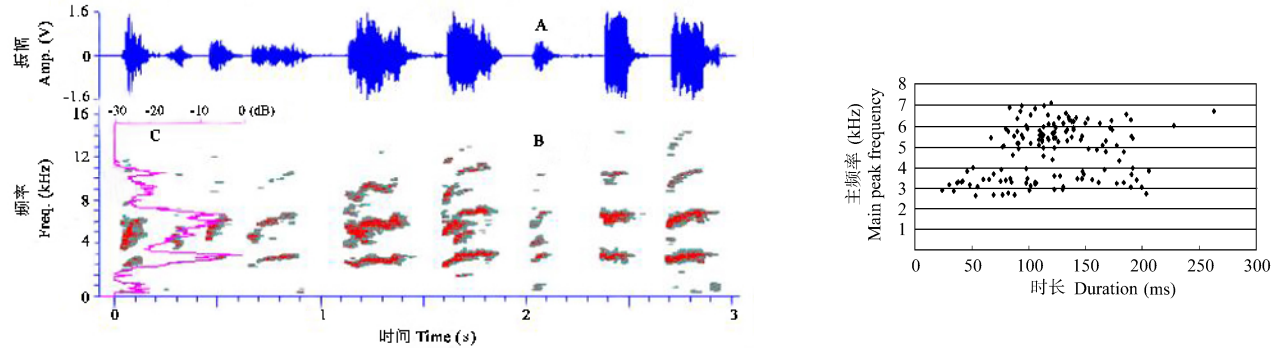

图 2 社鼠雌体败者叫声的波形图、声图、平均频谱图及主频率和时长的散点图

Fig. 2 The oscilogram, sonogram, average frequency spectum and scatter graph showing frequency and duration of defeated female's voice

A：波形图（Oscilogram）；B：声图（Sonogram）；C：平均频谱图（Average frequency spectum）。

表 2　雄体和幼体叫声的主要声学参数值

Tab. 2　Values of main acoustic parameters of male's and young's voice

	参数 Parameter	时长 DT	主能峰 MPF	频宽 $BW_{-20\ dB}$	最低频率 LF	最高频率 HF
雄体败者的叫声 Defeated male's voice	Mean ± *SD*	162 ± 64	4 193 ± 387	3 663 ± 2 380	2 656 ± 1 409	6 319 ± 2 083
	最小值 Minimum	45	3 542	129	1 001	4 220
	最大值 Maximum	299	5 093	9 152	4 608	13 156
			$n = 62$			
幼体遇到成体时的叫声 Young's voice when adult occurred	Mean ± *SD*	135 ± 39	4 578 ± 906	7 322 ± 4 238	2 612 ± 1 074	9 934 ± 4 194
	最小值 Minimum	65	1 949	377	1 001	4 005
	最大值 Maximum	288	8 592	16 365	4 748	18 453
			$n = 173$			

DT：Duration；MPF：Main peak frequency；BW：Bandwidth；LF：Lowest frequency；HF：Highest frequency.

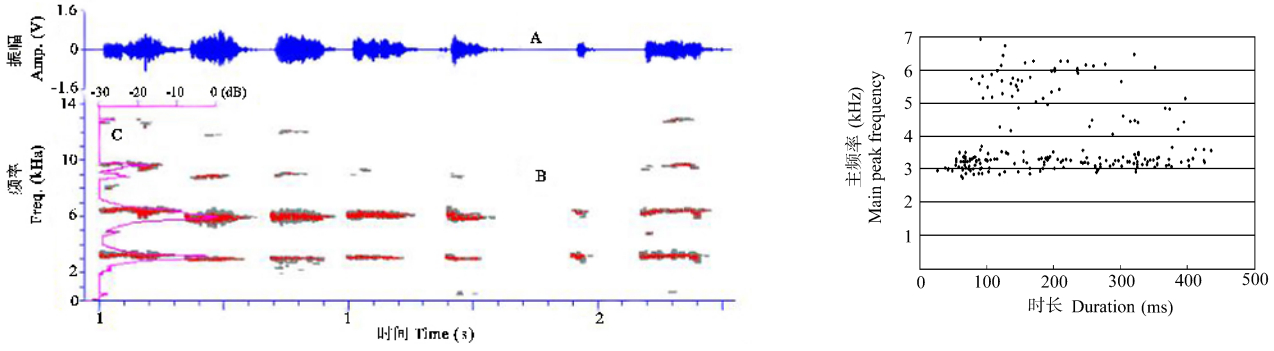

图 3　社鼠异性成体相遇时雌体叫声的波形图、声图、平均频谱图及主频率和时长的散点图

Fig. 3　The oscilogram, sonogram, average frequency spectum and scatter graph showing frequency and duration of female's voice when male occurred

A：波形图（Oscilogram）；B：声图（Sonogram）；C：平均频谱图（Average frequency spectum）。

声学参数（表 3）之间除了 MPF 差异极显著和 LF 差异显著外，其余参数间均无显著差异。

2.4　幼体和成体相遇时的叫声

当幼体遇到成体时，成体一开始对幼体略有驱赶，稍后即对幼体置之不理。而幼体见到成体靠近时，总是退缩到角落里，抬起前肢，身体直立，并发出短促而尖细的“叽、叽…”叫声（图 4），这种叫声的频率范围很宽，且频率变化很快。对 175 个叫声样本分析可知，该类型叫声的 MPF 主要集中分布在 3 500 ~ 5 500 Hz 之间（图 4），其主要声学参数统计见表 2。

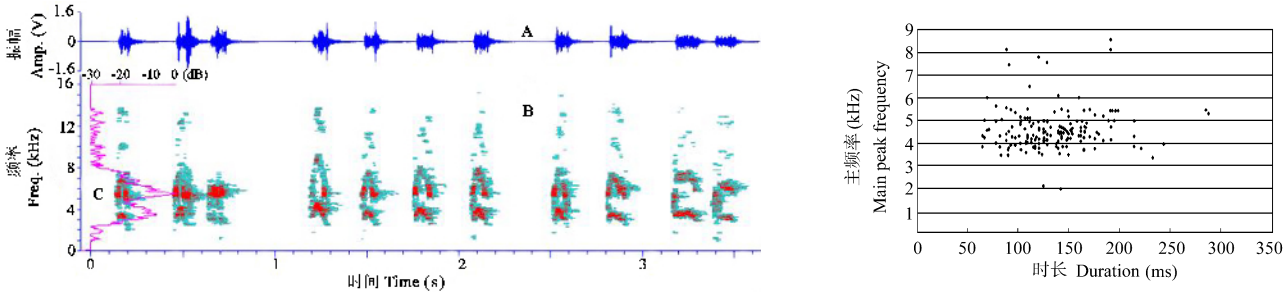

图 4　社鼠成幼相遇时幼体叫声的波形图、声图、平均频谱图及主频率和时长的散点图

Fig. 4　The oscilogram, sonogram, average frequency spectum and scatter graph showing frequency and duration of young's voice when adult occurred

A：波形图（Oscilogram）；B：声图（Sonogram）；C：平均频谱图（Average frequency spectum）。

表 3 雌体叫声的主要声学参数值

Tab. 3 Values of main acoustic parameters of the female's voice

	参数 Parameter	低频叫声 ≤4 500 Hz voice (mean ± *SD*)	高频叫声 >4 500 Hz voice (mean ± *SD*)	*t* 值 *t*-value	*P* 值 *P*-value
雌体败者的叫声 Defeated female's voice	时长 DT (ms)	107 ± 54	128 ± 35	2.425	0.017*
	主能峰 MPF (Hz)	3 300 ± 368	5 692 ± 628	24.879	0.000**
	频宽 (Hz) $BW_{-20\ dB}$	6 858 ± 3 235	8 934 ± 2 995	3.331	0.001**
	最低频率 LF (Hz)	2 406 ± 820	2 047 ± 846	−2.062	0.041*
	最高频率 HF (Hz)	9 264 ± 3 116	10 982 ± 2 605	3.03	0.003**
	n	53	87	*df* = 138	
异性相遇时雌体的叫声 Female's voice when male occurred	时长 DT (ms)	199 ± 120	187 ± 82	0.624	0.533
	主能峰 MPF (Hz)	3 262 ± 334	5 694 ± 524	−38.504	0.000**
	频宽 (Hz) $BW_{-20\ dB}$	5 742 ± 2 236	5 790 ± 2 853	−0.124	0.901
	最低频率 LF (Hz)	2 047 ± 693	2 283 ± 715	−2.113	0.036*
	最高频率 HF (Hz)	7 789 ± 2 146	8 078 ± 2 522	−0.791	0.430
	n	159	49	*df* = 206	

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ (*t*-test).

DT: Duration; MPF: Main peak frequency; BW: Bandwidth; LF: Lowest frequency; HF: Highest frequency.

表 4 社鼠不同类型叫声 *t* – 检验

Tab. 4 The *t*-test of main acoustic parameter values between *Niviventer confucianus* voice types

声学参数 Parameter		叫声类型 Voice type B	C	D
时长 DT	A	0.00**	0.03*	0.00**
主能峰 MPF		0.00**	0.01**	0.00**
频宽 $BW_{-20\ dB}$		0.00**	0.00**	0.00**
最低频率 LF		0.00**	0.00**	0.76
最高频率 HF		0.00**	0.00**	0.00**
时长 DT	B		0.00**	0.00**
主能峰 MPF			0.00**	0.09
频宽 $BW_{-20\ dB}$			0.00**	0.06
最低频率 LF			0.35	0.00**
最高频率 HF			0.00**	0.34
时长 DT	C			0.00**
主能峰 MPF				0.00**
频宽 $BW_{-20\ dB}$				0.00**
最低频率 LF				0.00**
最高频率 HF				0.00**

* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ (*t*-test).

A: 雄性败者叫声 (Defeated male's voice); B: 雌性败者叫声 (Defeated female's voice); C: 异性相遇雌体叫声 (Female's voice when male occurred); D: 幼体遇到成体时叫声 (Young's voice when adult occurred)。

DT: Duration; MPF: Main peak frequency; BW: Bandwidth; LF: Lowest frequency; HF: Highest frequency.

3 讨 论

从上述实验结果中可知，社鼠一般不发出叫声。即使两个体相遇时，其中的势强个体（如雄体和成体）和赢者均不发出叫声，只有势弱个体和打斗后的败者才发出叫声，甚至在打斗的前期都不发出叫声，这可能是某一些鼠类以少发声的习性躲避敌害的一种适应方式。如在野外边打边叫，势必会增大天敌的目标。在自然条件下的势弱者可以逃而避之，而在实验状态下，势弱者的叫声是逼迫的行为反应。尽管其叫声听起来均为单调的“叽、叽…”声，但在不同状态下的叫声却有着不同的声学结构特征，如雌性在与同性打斗后败者的叫声和与雄体相遇时的叫声，两者无论在叫声的持续时间还是声谱结构上均有很大的差别。进一步比较不同叫声的声学特征（表 4）表明，社鼠不同个体相遇后叫声的主要声学参数之间大多存在极显著差异。这与棕色田鼠（Tai et al，1999）的叫声一样，在不同生活状态下，主能峰频率（MPF）和持续时间差别较大，进一步表明鼠类在不同状态的发声具有不同的生物学意义。

两同性（两雄性成体和两雌性成体）个体打斗后，败者的叫声可能是对强者惧怕的一种表现，尤其打到后来，当一见到强者向它靠近时就叫；幼体见到成体时的叫声也可能具有相同的生物学意义，即对成体的惧怕表现；而异性个体相遇时雌体的叫声可能是对雄体的拒斥信号，因实验雌体均为怀孕个体（捕自 4 月上、中旬，对在饲养过程中或实验时经激烈打斗后死亡的个体均解剖检查，且曾有一个体于 5 月初在饲养箱中产了二仔）。每当雄性靠近时，雌性就发出一连串的叫声，特别是雌性常跑到另一饲养箱，并立即调头挡在通道口，同时向对方发出同样的叫声。从上述 4 种叫声的声谱结构和声学参数来看，社鼠在与其他个体相遇时存在惧怕和拒斥两类叫声，即同性个体相遇的败者、成幼体

相遇时幼体发出的惧怕叫声和异性相遇雌体发出的拒斥叫声。其中惧怕叫声均呈现为多谐变音频谱结构，这种叫声结构与褐家鼠惊叫声（Jiang et al，1993）的多谐声结构相似，这也可能是同属种类在声通讯方面的共同特征，但社鼠各种状态下叫声的 MPF 均低于褐家鼠惊叫声主音的 MPF［（6 300 ± 354）Hz］而远高于棕色田鼠叫声（Tai et al，1999）的 MPF［（1 200 ± 300）Hz］，由于它们的叫声都是本能性的声行为，这也进一步表明，鼠类叫声具有种的特征；而拒斥叫声则呈现出恒频多谐频谱结构。

比较雌性的惧怕叫声和拒斥叫声可知，两种类型叫声的主频率均在 4 500 Hz 左右分为两组（高频组和低频组），这是雌性社鼠声行为的特征。但这两组叫声在惧怕叫声和拒斥叫声中存在差异（表 5），其中大多参数间存在着极显著差异，但体现雌体叫声本质的 MPF 不具有差异性。至于这两组叫声的生物学意义是否有区别，尚待深入研究。

此外，鼠类除了可听到的叫声之外，还有超声叫声（Maggio & Whitney，1985；Thomas & Barfield，1985），社鼠不同个体相遇时是否发出超声叫声，也有待进一步研究。

表 5　雌性体两组叫声在惧怕叫声和拒斥叫声中的 t – 检验

Tab. 5　The t-test between main acoustic parameter values in two groups of female's voices in fearing call and rejecting call

参数 Parameter	低频叫声 <= 4 500 Hz voice (df = 210)	高频叫声 > 4 500 Hz voice (df = 134)
时长 DT	0.00**	0.00**
主能峰 MPF	0.48	0.99
频宽 $BW_{-20\ dB}$	0.01**	0.00**
最低频率 LF	0.00**	0.09
最高频率 HF	0.00**	0.00**

** $P < 0.01$ (t-test).

DT：Duration；MPF：Main peak frequency；BW：Bandwidth；LF：Lowest frequency；HF：Highest frequency.

参考文献：

Balph DM，Balph DF. 1966. Sound communication of Uinta ground squirrels［J］. *BJ Mammal*，**47**：440 – 450.

Branchi I，Santucci D，Vitale A，Alleva E. 1998. Ultrasonic vocalizations by infant laboratory mice：A preliminary spectrographic characterization under different conditions［J］. *Dev Psychobiol*，**33**：249 – 256.

Brudzinski SM，Kehoe P，Callahan M. 1999. Sonographic structure of isolation-induced ultrasonic calls of rat pups［J］. *Dev Psychobiol*，**34**：195 – 204.

Cherry JA. 1989. Ultrasonic vocalizations by male hamsters：Parameters of calling and effects of playback on female behavior［J］. *Anim Behav*，**38**：138 – 153.

Daniel TB，Kenneth BA. 1997. Alarm calling in yellow-bellied marmots：I. The meaning of situationally variable alarm calls［J］. *Anim Behav*，**53**：143 – 171.

Fay RR，Popper AN. 1994. Comparative Hearing：Mammals. Springer Handbook of Auditory. Research Series［M］. NY：Springer-Verlag.

He QC，Fang B，Long JZ. 1996. Analysis of acoustic characteristics of calls of plateau pikas［J］. *Acta Acustica*，**21**（4）：679 – 684.［何其超，房　斌，龙建中. 1996. 草原鼠兔鸣叫声的观察和声学特征分析. 声学学报，**21**（4）：679 – 684.］

Jiang JC，Xu ML，Wang Q. 1993. Species character and race variation of acoustic behavior in brown house rat（*Rattus norvegicus*）［J］. *Acta Genetics Sin*，**20**（1）：33 – 43.［蒋锦昌，徐募玲，王　强. 1993. 褐家鼠声行为的种特性和种族变异. 遗传学报，**20**（1）：33 – 43.］

Jiang SR，Zheng XF. 2003. Study on development of multi-functional analyzing & processing system of bioacustic information［J］. *J Zhejiang Univ Sci Technol*，**15**（3）：146 – 153.［姜仕仁，郑肖锋. 2003. 多功能动物声信息分析处理系统的开发研究. 浙江科技学院学报，**15**（3）：146 – 153.］

Li JG，He JP，Wang TZ. 2000. Analysis on the sound spectrum of calls in the Gansu Zokor，*Myospalax cansus*［J］. *Zool Res*，**21**（6）：458 – 462.［李金钢，何建平，王廷正. 2000. 甘肃鼢鼠鸣声声谱分析. 动物学研究，**21**（6）：458 – 462.］

Maggio JC，Whitney G. 1985. Ultrasonic vocalizing by adult female mice（*Mus musculus*）［J］. *J Comp Psychol*，**99**：420 – 436.

Mazzacana E，Damato FR. 1997. Ultrasonic vocalisations during heterosexual encounters in mice *Mus musculus*［J］. *Bioacoustics*，**8**：259.

McIntosh TK，Barfield RJ，Geyer LA. 1978. Ultrasonic vocalizations facilitate sexual behavior in rats［J］. *Nature*，**272**：163 – 164.

Melchior HR. 1971. Characteristics of arctic ground squirrel alarm calls［J］. *Oecologia*，**7**：184 – 190.

Nyby JG. 1983. Ultrasonic vocalizations during sex behavior of male house mice（*Mus musculus*）［J］. *Behav Neural Biol*，**39**：128 – 134.

Owings DH，Hennessy DF，Leger DW，Gladney AB. 1986. Different functions of alarm calling for different time scales：A preliminary report on ground squirrels［J］. *Behaviour*，**99**：101 – 116.

Schwagmeyer PL. 1980. Alarm calling behavior of the thirteen-lined ground squirrel，Spermophilus tridecemlineatus［J］. *Behav Ecol Sociobiol*，**7**：195 – 200.

Sherman PW. 1985. Alarm calls of Belding's ground squirrels to aerial predators：Nepotism or self preservation［J］. *Behav Ecol Sociobiol*，**17**：313 – 323.

Tai FD，Wang TZ，Min YJ. 1999. The calling behaviours and sound spectrograph of *Microtus mandarinus*［J］. *Zool Res*，**20**（4）：278 – 283.［邰发道，王廷正，闵一建. 1999. 棕色田鼠的发声及其频谱分析. 动物学研究，**20**（4）：278 – 283.］

Thomas DA，Barfield RJ. 1985. Ultrasonic vocalization of the female rat（*Rattus norvegicus*）during mating［J］. *Anim Behav*，**33**：720 – 725.

Warfield D. 1973. The study of hearing in animals［A］In：Gay W. Methods of Animal Experimentation，Ⅳ［M］. London：Academic Press，43 – 143.

White NR，Gonzales RN，Barfield FJ. 1993. Do vocalizations of the male rat elicit calling from the female［J］. *Behav Neural Biol*，**59**：76 – 78.

White NR，Prasad M，Barfield RJ，Nyby JG. 1998. 40 and 70 kHz vocalizations of mice（*Mus musculus*）during copulation：Do they facilitate courtship of mice［J］. *Physiol Behav*，**63**：467 – 473.

ZhuGe Y，Gu HQ. 1989. Fauna of Zhejiang（Mammalia）［M］. Hangzhou：Zhejiang Science and Technology Publishing House，84 – 86.［诸葛阳，顾辉清. 1989. 浙江动物志（兽类）. 杭州：浙江科技出版社，84 – 86.］