听音训练对汉语单音节听感清晰度的影响

马庆贺，孟子厚
(中国传媒大学传播声学研究所，北京 100024)

摘要：为了研究噪声掩蔽下听音训练对汉语单音节听感清晰度的影响规律，设计了为期 10 个单元的单音节语音听辨训练实验。通过对一组在校学生的实验表明，训练学习确实从总体上提高了听者的语音听辨能力，从统计上给出了此组听音人的听感清晰度随学习累积的变化规律。分析了不同信噪比、不同性别在语音听辨学习能力上的差异性。

关键词：听音训练；噪声掩蔽；单音节清晰度；学习曲线
中图分类号：TB54 **文献标识码**：A **文章编号**：1000-3630(2014)-02-0150-04
DOI 编码：10.3969/j.issn1000-3630.2014.02.011

Influence of listening training on the auditory clarity of Chinese mono-syllable

MA Qing-he, MENG Zi-hou
(*Communication Acoustics Laboratory*, *Communication University of China*, *Beijing* 100024, *China*)

Abstract: A listening training experiment composed of 10 units to identify Chinese mono-syllable masked by noise is carried out to research the influence of listening training on the auditory clarity of Chinese mono-syllable. The test result shows that the training can improve the speech identification ability of listeners. The law curve of clarity as a function of cumulative learning time is plotted. The diversity of learning ability of speech identification between different SNRs and genders is analyzed.

Key words: listening training; noise masking; clarity of Chinese mono-syllable; learning curve

0 引 言

目标测听是一种专业性较强的听觉任务，在水下测听、声频检测中有着重要的应用价值。目标测听中的主要科学问题是听觉感知中噪声对目标声的掩蔽效应。听能训练是提高目标测听能力的重要手段。常见的测听目标多为纯音频率、时长、响度等，有关听能训练对汉语语音测听影响的研究还比较少见。研究听能训练对语音测听的影响对进一步了解复杂传递条件下汉语言语知觉特性以及探索汉语环境下的听能增强技术有重要的意义。

有研究表明，检测和识别声音的能力是可以通过练习提高的。B. A. Wright 和 Y. Zhang 等人曾对听觉系统的训练做过研究[1]，他们发现通过听觉训练不仅可以提高听觉感知能力，而且这种提高是可以泛化到其它未训练任务的。在行为心理学中，泛化是指建立起对一个刺激的条件反射之后，对与这个条件刺激相近的刺激也产生条件反射的现象。在听觉系统方面的训练研究包括频率分辨、时长判断、空间听辨、信号检测和强度辨别等任务。通常采用的训练方法是多阶段学习，采用的实验信号有标准纯音、音乐和语音信号等。训练内容基本都是在每个阶段进行多次的重复听音，经过多个阶段训练后，对训练前后的听辨成绩做比较。

汉语单音节听感清晰度是指听者在噪声掩蔽环境下能够辨识单音节语音的能力。中国传媒大学传播声学研究所的相关课题研究已经证实，汉语语音清晰度和信噪比、听音训练有关[2,3]。在前期的工作中，由于训练时间较短，且主要是对训练前后辨识能力的分析，并未具体描述这一训练过程中辨识能力的变化规律。本文将在先前研究工作的基础上，设计噪声掩蔽下汉语单音节的听辨训练，考察单音节听辨能力(即语音听感清晰度)在不同的信噪比条件下随听音训练的强度和累计变化的规律。

1 实验方法

本实验中语音信号的频谱分量主要集中在

收稿日期：2013-02-09；**修回日期**：2013-05-16
基金项目：国家自然科学基金(61271418)、教育部博士点基金(20100018110001)资助项目。
作者简介：马庆贺(1988－)，男，山东泰安人，硕士研究生，研究方向为声频技术。
通讯作者：孟子厚，E-mail: mzh@cuc.edu.cn

300~3400 Hz 的范围内，而用与目标声频率接近的噪声做掩蔽声时更容易发生听觉掩蔽效应。粉红噪声的频率分量主要集中在中低频段，是自然界中最常见的一种噪声，在声学实验中，经常利用它来模拟生活噪声。因此本文实验中以 300~3400Hz 的粉红噪声为掩蔽噪声，目标声为汉语单音节，按照不同信噪比与掩蔽噪声混叠作为实验信号[4,5]。

汉语语言清晰度主观评价测试按照国标 GB 15508-1995 采用汉语清晰度测试音节表-KXY 表[6]。KXY 表是语音平衡音节表，各表之间有良好的等价性。采用 8 张 KXY 字表，每张表有 75 个音节，采用随机组合方式，分成 25 组，每组 3 个音节，音节之间不构成语义。消声室录音时，发音人以正常的讲话速率(约每秒 4 音节)，自然平稳地发音，每张表由男、女播音员各录制一次。每组之间有 7s 的静音时间供听音人作答。

本实验有效听音人共 10 人，5 男 5 女，年龄均在 22~25 岁之间，经检测听力正常，且能说正确的普通话，能熟练进行拼写，都有一定的测听经验，符合语言清晰度评测标准中听音人员的基本要求。实验信号通过耳罩式耳机播放，实验信号中的背景噪声声压级为 70dB(A)。训练持续 10 个单元，每个单元采用的信噪比如表 1 所示。

表 1　汉语单音节听辨训练信号设置(信噪比/dB)

Table 1　Settings of Chinese mono-syllable listening training signals (SNR/dB)

训练单元	信噪比/dB						
1、2	3	0	–3	–6	–9		
3、4		0	–3	–6	–9	–11	
5、6、7			–3	–6	–9	–11	
8、9、10			–3	–6	–9		–18

每周为一个训练单元，每次实验随机选取单字表制备信号，按不同信噪比与 300~3400 Hz 带宽的粉红噪声混合，每个训练单元的各信噪比下均包含男、女发音。

训练步骤如下：第一步，听音过程中，要求听音人尽可能正确地拼写出每组出现的 3 个音节。第二步，测听结束后要求听音人对照正确单字表听音，批阅自己在练习中做出的答卷。

2　数据分析方法

在各个训练单元中，每次随机选取其中一个表，在同一信噪比下将表中单音随机排序两次进行实验，考察听音人前后作答的一致性，信度都在 98%以上，符合实验要求。在汉语单音节听感清晰度评价中，我们对听音人的听辨错误率进行分析。听辨错误率越高，则听感清晰度越低。

图 1 是某听音人在–3 dB 信噪比条件下经过 10 个单元训练的声母听辨错误率及其拟合曲线。图 2 是全部有效个体在–3 dB 信噪比下的声、韵、调和音节平均听辨错误率拟合曲线，可以看出音节、声母、韵母具有一致性的变化规律，均随着训练时间的增加错误率逐渐降低。而声调由于本来就具有较低的错误率，训练之后的变化并不显著。

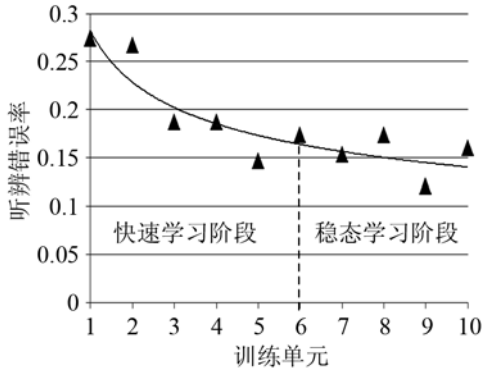


图 1　某典型听音人在-3dB 信噪比条件下声母的听辨错误率及拟合曲线

Fig.1　Initial listening error rate and the fitting curve of one listener in the -3dB SNR environment

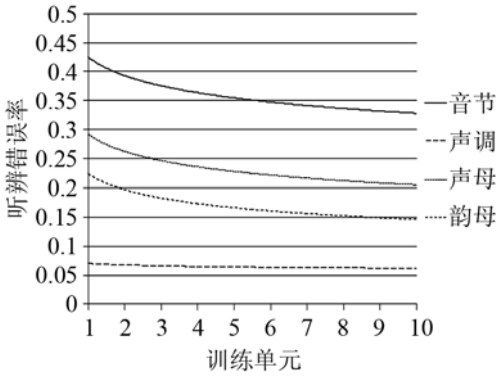


图 2　-3dB 信噪比下有效个体平均听辨错误率拟合曲线

Fig.2　The fitting curve of effective listeners' average listening error rate in the -3dB SNR environment

对 10 个训练单元的听辨错误率拟合曲线进行分析发现，曲线变化均服从幂指数规律，并且经过验证，拟合后的曲线和原始数据曲线的相关系数均大于 0.8，有非常强的相关性，我们把这条曲线定义为听音训练对噪声环境下汉语单音节听辨错误率的学习曲线：

$$y=bx^{-\alpha}$$

其中：x 为训练单元；y 为第 x 单元的听辨错误率；b 为第一单元的听辨错误率；α 为学习指数。

3　清晰度变化和训练时间的关系

对图 1 中某听音人的声母学习拟合曲线进行参

数分析得到表 2。

表 2 图 1 中所示某听音人学习曲线参数分析
Table 2 Parameter analysis of a learning curve showed in Fig.1

拟合学习曲线		$y=0.282x^{-0.303}$
初始错误率 b		0.282
学习指数α		0.303
对应各单元的曲线斜率绝对值	1	0.086
	…	…
	5	0.011
	6	0.008
	…	…
	10	0.004
学习后错误率		0.140

由表 2 可以看出，该听音人经过 10 个单元学习后最终的声母听感清晰度受到初始错误率和学习系数的影响，而学习曲线的斜率则直接反映了学习者的学习能力，斜率的绝对值越大，说明学习者的辨识错误率下降的越快，学习效率越高。图 3 给出的是各听音人在–3dB 条件下经过 10 个单元训练音节学习曲线斜率绝对值的变化规律，可以看出，在信噪比不变的情况下，随着训练时间的持续，每个听音人的学习曲线斜率的绝对值均逐渐变小。

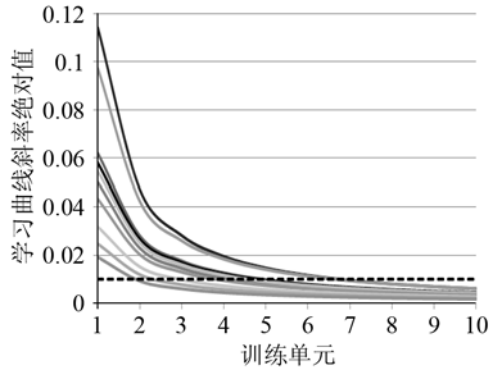


图 3 -3dB 信噪比下的音节学习曲线斜率绝对值的变化
Fig.3 Absolute value variation of syllable learning curve slope in -3dB SNR environment

在经过 10 单元的训练之后，被试各项的平均听辨成绩提升在 10%左右，单元平均增长率为 0.01。我们设定当这一绝对值大于或等于 0.01 时，学习者处于快速学习阶段；绝对值小于 0.01 时，处于稳态学习阶段。如表 2 所示，该听音人的声母听感清晰度从第 6 单元开始进入了稳态学习阶段。这为以后的语言清晰度或相关听音训练优化设计提供依据。

4 清晰度变化和信噪比的关系

图 4 为不同信噪比下训练前后各项平均错误率变化。从图 4 可以看出，随着信噪比的降低，听音人的听辨错误率会越来越高，而且经过相同时间(10 个单元)的训练之后，听音人前后的错误率差异也越来越小，也就是说听音人训练前后听感清晰度的改善越来越不显著。从图 5 中我们可以对这一现象进行解释，随着信噪比的降低，学习曲线斜率的绝对值逐渐降低，即学习者的学习效率下降，并且信噪比越低听音人更快进入稳定学习状态，成绩的提高程度下降。

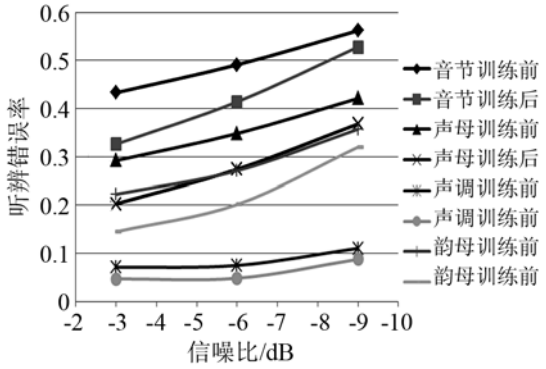


图 4 不同信噪比下训练前后各项平均错误率变化
Fig.4 Variation of average listening error rate for different SNRs before and after training

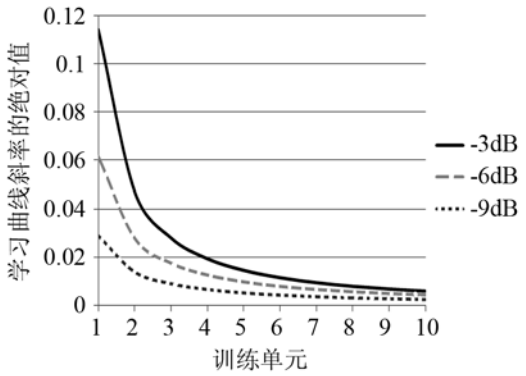


图 5 某听音人不同信噪比下音节学习曲线斜率绝对值的变化曲线
Fig.5 Absolute value variation of syllable learning curve slope of one listener in different SNR environments

根据图 4 中曲线的走势可以推测，如果再继续设计更低信噪比的感知训练，各项的训练前和训练后的听辨错误率曲线可能会相交于某点，即在该信噪比下，即使经过大量的训练，学习者的听辨成绩也不会有明显变化。这可能是因为学习者在信噪比极低的情况下不能找到可以利用的认知学习线索以帮助自己获得相应的学习能力或积累学习经验。

同样根据上述图中曲线可以推测，当听音人进入稳态学习阶段后，学习曲线斜率的绝对值逐渐趋于零。也就是说随着训练单元的推进，听音人语音辨识能力的提高程度逐渐减低，听感清晰度逐渐提高并最终达到一个稳定水平，难以继续提升。这反映出当外界干扰条件保持稳定时，听音人的语音听

感清晰度可能存在一个极限值，这个极限值不仅与语音传递过程中的物理条件有关，也与听音人的言语知觉心理特性有关。

5　清晰度变化的性别差异

从图 6 中可以明显看出，女性和男性在听辨率方面具有显著性差异(p<0.05)，前者在各个训练阶段的错误率都要低于后者，并且随着训练时间的增加，这一差距也逐渐增加。从图 7 中考察学习效率的性别差异，在各个训练单元，女性学习曲线斜率的绝对值也要大于男性平均水平，也就是说女性的语言清晰度的学习能力要强于男性。

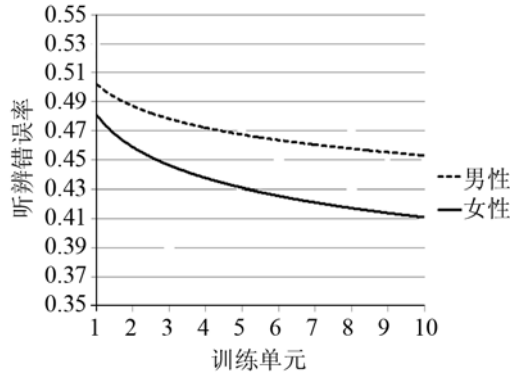


图 6　不同性别的音节学习曲线

Fig.6　Syllable learning curves of different genders

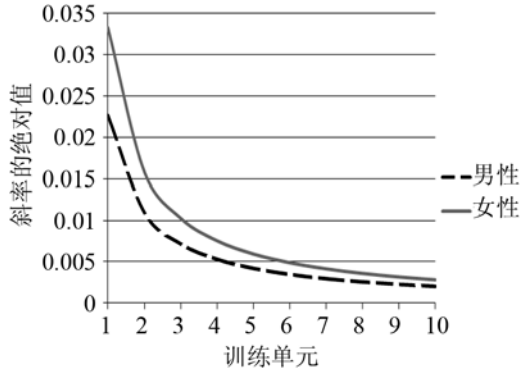


图 7　不同性别音节学习曲线斜率绝对值的变化曲线

Fig.7　Absolute value variation of syllable learning curve slope for different genders

在安妮·莫伊尔等的研究[7]中发现，女性有关语法、语音和书写的语言中枢位于左半脑的某个特定区域，比较专门化；而男性的这些中枢神经散布在左半脑的前区和后区，所以要获得这些技能，比起女性就要困难得多，这也解释了本文的实验结果。

6　结 论

实验表明，听音训练确实会对噪声掩蔽下汉语单音节的听感清晰度产生影响。主要的实验结论可以归纳为：

(1) 听音训练对汉语单音节听感清晰度的影响符合幂指数变化规律，且音节、声母、韵母表现出一致性变化规律。

(2) 训练学习过程可以分为快速学习和稳态学习两个阶段，在学习效率方面不同性别之间表现出较强的差异性。

(3) 在不同的信噪比条件下，听音者的听辨学习能力变化规律有所差异。当外界干扰条件稳定时，语音听感清晰度可能存在极限值。

虽然本文只选取粉红噪声作为掩蔽声，但是在实验室其他相关的听觉训练研究(窄带噪声掩蔽纯音、常见生活目标声掩蔽)中发现，听音训练对听觉掩蔽感知能力的增强有相似作用。因此即使换做其他噪声，这种听感清晰度的幂指数影响规律也依然成立。

以上实验结论是听音训练过程中的变化规律，至于学习结果是否具有持续性还需进一步考察；听音训练对于汉语语音听感清晰度的影响具体是由于学习者的听能增强还是由于经验累积引起的有待进一步研究。

参　考　文　献

[1] Beverly A Wright, ZHANG Yuxuan. A review of the generalization of auditory learning[J]. Phil. Trans. R. Soc. B. 2009, **364**(1515): 301-311.

[2] 章斯宇，孟子厚．复杂传递条件下汉语辅音损失率的实验测量[C]// 第十一届全国人机语音通讯学术会议论文集. 2011.
ZHANG Siyu, MENG Zihou. Experimental measurement of articulation loss of mandarin consonants in different transmission conditions[C]// National Conference on Man-Machine Speech Communication. 2011

[3] 孙文艳．听力筛选优选指标研究[D]．北京：中国传媒大学, 2012.
SUN Wenyan. Study on the Screening Index for Hearing[D]. Beijing: Communication University of China. 2012

[4] 于凤芹，阚仁根．听觉掩蔽效应语音增强的改进算法[J]．声学技术, 2008, **27**(5): 712-716.
YU Fengqin, NAN Rengen. A new speech enhancement based on human auditory masking[J]. Technical Acoustics, 2008, **27**(5): 712-716.

[5] 宋倩倩，于凤芹．基于 Hilbert-Huang 变换和听觉掩蔽的语音增强算法[J]．声学技术, 2009, **28**(3): 280-283.
SONG Qianqian, YU Fengqin. Speech enhancement based on Hilbert-Huang tansform and human auditory masking[J]. Technical Acoustics, 2009, **28**(3): 280-283.

[6] 国家技术监督局．GB/T 15508-1995 声学 语言清晰度测试方法[S]．北京：中国标准出版社, 1995.
GB/T 15508-1995. Acoustic-Speech articulation testing method[S]. Standard of PR China. Beijing: Standard Press of China, 1995.

[7] 安妮·莫伊尔，戴维·杰塞尔．脑内乾坤(男女有别之谜)[M]．梁豪，邵正芳 译，上海：上海译文出版社, 2003.
Anne.Moir, David.Jessel. Brain Sex: The Real Difference Between Men and Women[M]. Liang Hao, Shao Zhengfang(Tran). Shanghai Translation Publishing House, 2003.