

从连读变调的能产性与听觉启动效应 看变调词的底层表征

张 杰

提要 如何解释语素变体是音系理论中的关键问题之一。本文以连读变调为例,对生成音系学中基于语素变体的底层表征进行考证。从对连读变调的能产性及变调词的听觉启动效应的研究,我们将看到连读变调的具体形式对其底层表征起了决定性作用:基于表层配列规则的连读变调以本调为底层表征,因此这一类变调具有能产性,而本调也能影响说话人在词汇辨识中的加工行为;无法由表层配列规则触发的连读变调则更有可能以变调为底层表征,因此这一类变调不具一般意义上的能产性,所谓的“本调”也对词汇辨识不起作用。这类研究不仅对生成音系理论中的底层表征及底层到表层的映射机制提供了更直接的证据,也对心理语言学中的言语产出及听觉词汇辨识模型提供了启示。

关键词 连读变调 语素变体 底层表征 能产性 听觉启动效应

Underlying Representations of Tone Sandhi Words: Evidence from Productivity and Auditory Priming

ZHANG Jie

Abstract The treatment of alternation is a key issue in the phonological theory. In this paper, we investigate the role of the underlying representation when there is alternation, with tone sandhi in three dialects of Chinese – Mandarin, Taiwanese Southern Min, and Hailu Hakka – as test cases. Evidence for the underlying representations of tone sandhi words comes from two types of experiments: productivity experiments, in which native speakers of these dialects were asked to produce novel words that could undergo the tone sandhi patterns, and auditory lexical decision experiments with auditory priming, in which native-speaker participants judged the wordhood of tone-sandhi-undergoing disyllabic items under different monosyllabic priming conditions. The experimental results in the three dialects indicated that the underlying representation of a tone sandhi word is crucially influenced by a formal property of the sandhi pattern. A tone sandhi pattern that can be motivated by a surface phonotactic generalization, e.g., Mandarin third-tone sandhi and tone sandhi in Hailu Hakka, has the base tone as the underlying representation; the sandhi pattern tends to be productive in novel words, and the base tone is accessed in spoken word recognition. A tone sandhi pattern that cannot be motivated by surface phonotactics, e.g., the circular chain shift in Taiwanese Southern Min, has the sandhi tone as the underlying representation; the sandhi pattern is generally unproductive, and the base tone plays no role in spoken word recognition. This type of research provides empirical tests for the

underlying representations and the mapping mechanism between underlying and surface representations posited in generative phonology. It indicates that the underlying representations of tone sandhi words are sometimes identical to those assumed in traditional generative analysis, but sometimes more akin to surface representations in the analysis, suggesting the necessity to rethink the analysis. The research also contributes to the development of psycholinguistic models of speech production and spoken word recognition by encouraging these models to take fuller consideration of the crosslinguistic complexity of alternation patterns.

Keywords tone sandhi, alternation, underlying representation, productivity, auditory priming

1. 引言

在音系学中,语素变体指一个语素在不同的语音环境下有不同的表层语音体现。例如,英语的规则复数有[-ɪz]、[-z]和[-s]三个语素变体,分别出现于咝音、非咝音浊音和非咝音清音后。如何解释语素变体是音系理论中的关键问题之一。在生成音系学中,一个语素的不同变体均产生于同一个底层表征;而一个底层到表层的映射机制将这一底层表征依据相关的语音环境映射到不同的表层变体上。这一映射机制不论是体现于推导规则还是制约排列,都是生成音系学所假设的语言能力的一部分,而不涉及言语产生与言语感知的具体行为表现。但是,生成音系学对语素变体的分析对说话人的语言行为仍作出以下的预测:1) 依于此分析的语素变体在新词中应具能产性;2) 语素在不同层次的表征应能在说话人的言语行为中有所体现。

这两点预测在心理语言研究中得到了相当程度的实证。关于音系规则能产性的研究始于 Berko(1958)。多年来的数据表明语言中大部分可归纳的音系规则可以被说话人自然地运用到新词中。这一现象也常被音系学家引为说话人具有音系语法的例证之一(Kenstowicz and Kisseberth 1979)。底层表征在说话人词汇辨识过程中的作用也在心理语言学研究中有体现。例如,多项跨型态启动效应测试的研究(Lahiri, et al. 1990; Gaskell and Marslen-Wilson 1996; Gow 2001, 2002; Luce, et al. 2003)表明说话人在词汇辨识的过程中使用了抽象的底层表征,因此,有语素变体的 *green* [m] *beans* 能够对 *green* 产生启动效应(Gow 2001),而更相似于底层表征的表层表征对这一底层表征有更强的启动效应,即使这一底层表征在表层显示为不同的变体(Lahiri, et al. 1990)。

前人的这些研究多着重于基于发音弱化的、阶层性(gradience)较强的语素变体。例如, Gow 等学者研究的发音部位同化可以看作发音的简化或丢失,而且这种发音部位的丢失可以体现为完全丢失或部分丢失(即发音动作弱化)。其发现能否延伸到范畴性更强而语音自然性较弱的语素变体上(如汉语方言中诸多的连读变调现象,见第二节)尚无定论。对超音段层面上的语素变体的研

究更是少之又少。本文以基于声调的语素变体(在汉语研究中也常称为连读变调)为例对这两个预测进行考证。汉语方言中复杂多变的变调系统(Chen 2000)为这类研究提供了丰富的机会。我们将看到连读变调的具体形式对其底层表征起了决定性的作用:基于表层配列规则的连读变调以本调为底层表征,因此这一类变调具有能产性,而本调也能影响说话人在词汇辨识中的加工行为;无法由表层配列规则触发的连读变调则更有可能以变调为底层表征,因此这一类变调不具一般意义上的能产性,所谓的“本调”对词汇辨识不起作用。本文对该专号的贡献,在于其对语素变体情况下底层与表层表征的讨论对应于本专号所关注的音系表达式与语音表达式的相互关系,其中使用的方法也对这一理论问题的研究有启发意义。

2. 本文涉及的三个连读变调系统

在有限的篇幅下,我们无法涉及汉语方言中所有的变调类型,也无法对各方言变调系统的复杂度作详细的描述。因此,我们将讨论的重点放在三个在文献中有较为全面的描述而且我们有较为详细的实验数据的方言上:普通话、中国台湾省的闽南话及台湾海陆客语。讨论这三个方言的另外一个重要原因是它们代表了三种不同的左变调系统(Yue-Hashimoto 1987; Zhang 2007, 2014a):普通话三声变调以一个特定声调为环境,可以认为其触发于一个表层配列规则(*T3-T3);台湾闽南语的变调以语法结构决定的位置为环境,而且其变调规则形成为链式音移,因此无法由表层配列规则而触发;海陆客语也是以语法结构决定的位置为环境,这点与台湾闽南语相似,但其变调可以被表层配列规则触发,这点又与普通话相似。对这三种变调类型的实验比较,可以体现不同变调规则如何影响说话人对其的习得与运用,从而也决定其生成分析中的底层结构。对汉语其他方言的变调类型及其类似研究有兴趣的读者,请见张杰(2014b)、Yan和Zhang(2016)、Zhang和Liu(2016)、Zhang和Meng(2016)及Yan等(2020)。

2.1 普通话

汉语普通话三声变调的传统描述是当两个三声音节组合在一起时,第一个音节的三声变为二声。例如,好酒/xau²¹³ tɕ^jou²¹³/变为[xau³⁵ tɕ^jou²¹³]。在两字组中,三声变调在普通话里行为稳定,并不受语法结构影响。以推导规则来描述,这一变调可以用(1)来表示^①。

(1) 普通话三声变调: T3(213) → T2(35) / __T3(213)

① 三声变调是否与二声完全中和在文献中是有争议的。从声学的角度上,多项研究表明三声的变调值略低于二声,但这一细微的差别是如何产生的以及其在感知和词汇辨识中的作用,目前尚无定论。见Peng(2000)、Yuan和Chen(2014)及相关著作。

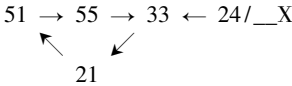
从语素变体的角度来看,三声有两个语素变体,一个是二声语素变体(后随三声),另一个是三声语素变体(后随非三声)。在传统音系分析上,变调词中的二声语素变体被认为是从三声的底层表征由音系规则(1)推导而来。由于三声变调的环境仅限于一个后接三声,因此说话人能够观察到二声语素变体的概率较小,而观察到三声语素变体的概率较大。这也为这些二声语素变体的底层表征为三声提供了可能。从配列规则的角度来看,三声变调可以认为被触发于* T3-T3 的表层制约。这一表层制约在普通话中不被违反。这一思路实为优选论解释音系变化的基本动机(Prince and Smolensky 2004 [1993])。

2.2 台湾闽南话

台湾闽南话的左变调系统与普通话的左变调系统有两点基本的不同。第一,台湾闽南话的变调不受后一音节声调的影响,而只受位置影响:非 XP 末位音节都发生变调(Wang 1967; Cheng 1968; 对闽南语变调域的分析,见 Chen 1987 和 Lin 1994)。由于语素在非末位出现的概率高于在末位出现的概率,因此说话人观察到承载变调的语素变体的概率较大。这有可能鼓励说话人以变调作为这些语素的底层表征。第二,台湾闽南话的变调规则形成链式音移;在舒声音节中,五个声调中的四个更是形成了一个循环链,而在以 p, t, k 为音节尾的入声音节中,两个入声调也进行循环互换,见(2)②。

(2) 台湾闽南话变调域非末位变调:

A. 舒声音节:



B. 入声音节(p, t, k 为音节尾):

$$5 \leftrightarrow 2 / _X$$

当音系规则形成循环链时,任何一个链中的规则都无法由表层的配列规则来触发。例如,51→55/_X 的变调无法源于* 51-X,因为表层 51 在非末位可以是 21 的变调,因此是合法的。这一情况与普通话三声变调有本质上的不同。Moreton(2004)更是指出这种循环变调在传统优选论的框架下是无解的。在这些变调规则中唯一一个可以由表层配列规则来触发的是 24→33 的变调,因为* 24-X(24 不可在非末位出现)是一个在表层不可违反的配列规则。但这一变调规则仍在一个链式音移当中,因此仍不同于普通话三声变调。台湾闽南语变调与普通话相似之处在于其在自然语言中依据规则发生的概率接近百分之百,也是比较规整的(Chang 2013)。

② Peng(1997)与 Myers 和 Tsay(2008)等学者的研究表明台湾闽南话的变调是中和性的,因此的确形成链式音移。

2.3 海陆客语

台湾海陆客语的声调系统为：舒声 55、44、13、21 和 33；入声 55 和 32。其变调系统也以语法结构决定的位置为环境；舒声和入声各有一个变调规则，分别将 13 和 55 在变调域的非末位音节与 33 和 32 中和(关于海陆客语变调域的深入讨论见 Chung 1992)，见(3)。

(3) 台湾海陆客语变调域非末位变调：

A. 舒声音节

13 → 33/___X

B. 入声音节

55 → 32/___X

我们可以依此看到海陆客语的变调既具有台湾闽南语只受位置影响的特点，也具有普通话可以被表层配列规则触发的特点，这是因为海陆客语的两条变调规则可以由* 13-X 及* 55-X 这两条配列规则触发。因此，对海陆客语变调的研究可以让我们进一步探索声调与位置环境(或因此产生的“本调”与“变调”的出现频率)以及变调规则是否能被表层配列规则触发对语素变体的底层表征的影响。与普通话与台湾闽南语的变调有所不同的是，海陆客语的变调有较多例外，但这些例外主要集中在某些语法结构中，如数量词及指示词(Yeh 2015: 28-9)。

在以下的三节中，我们对以上三个连读变调系统的能产性以及其变调词的词汇辨识的实验研究作一简短的汇报，并由此对这些变调系统中变调词的底层表征作出推测。对这些实验结果及其对连读变调的生成音系分析的影响的总体讨论将在最后一节作出。

3. 普通话三声变调实验研究

3.1 能产性

对普通话三声变调能产性的实验研究在 Zhang 和 Lai(2010) 里有详尽的报告，我们在这里只对实验的方法与结果做一个简要的概括。其基本方法为 Berko(1958) 的新词测试(wug test)。受试人将听到两个间隔为 800 毫秒的三声单音节刺激，其任务为将这两个单音节连读为一个双音节词。双音节词词类的选取沿用了谢信一早期在台湾闽南语的研究中(Hsieh 1970) 所用的词类：1) 方言中的固有双音节词汇(Real)；2) 由两个固有音节组成的新词(Pseudo)；3) 由一个意外缺失的音节与一个固有音节组成的新词(Novel_S1)；4) 由一个固有音节与一个意外缺失的音节组成的新词(Novel_S2)；5) 由两个意外缺失的音节组

成的新词(Novel_S1S2) ③。每一词类选八个词进行测试。30 位以北京话为母语、年龄从 19 至 37 岁的发音人在北京大学参加了测试。

研究者对发音人双音节词汇产出中第一个音节的 f0 进行了测量。图 1 显示了时长归一后五种词汇类型的 f0。统计结果表明各类新词中的三声变调与固有词中的变调在平均调值与调型上并不完全相同；新词中的变调平均调值与拐点调值均较低，且其拐点比固有词中变调拐点靠后，因此在语音特点上更像三声本调。但受试人不论在固有词还是新词当中都一致地应用三声变调。这点从研究者的感知及图 1 的 f0 曲线都可以得到证实。

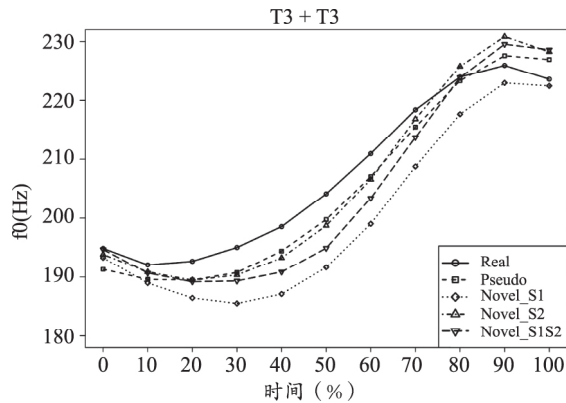


图 1 普通话三声变调能产性实验五类双音节词中首音节时长归一后的 f0 结果

这一研究结果表明普通话的三声变调从范畴性的角度来看能一贯地应用于新词当中，因此具有很强的能产性。三声变调在固有词与新词中的不同主要体现在阶层性的语音差距上。三声变调的能产性还有以下两点佐证。第一，Zhang 和 Lai(2010) 的实验只给了受试人两个音节，并没有为其提供相关的句子环境，因此是对受试人要求较高的新词实验。受试人能在这种情况下自然地运用三声变调，说明三声变调本身的确具有较高的能产性。第二，在四类新词中，有两类的首音节是普通话中意外缺失的音节。受试人能在这些音节上应用三声变调，也体现了三声变调作为一个音系规则的能产性。这一点在 Zhang 和 Peng(2013) 的研究中体现得更为明显：其结果表明三声变调不仅能应用于意外缺失的音节上，也能应用于普通话中不合法的音节上，只要这些音节不违反原则性的音节配列规则(如 fai3、mia3、lua3 等) 。

三声变调的能产性为变调词的底层表征是 T3-T3 提供了证据。但有两点原因说明这一证据只是间接的。第一，尽管在新词中，受试人必须从底层的三声推导出表层的二声，对固有词的底层表征我们仍无法作出肯定的结论。说话人

③ 本文中的 Real、Pseudo、Novel_S1、Novel_S2、Novel_S1S2 分别对应 Hsieh 文中的 AO-AO、* AO-AO、AG-AO、AO-AG、AG-AG。

的音系语法可能既包括了三声到二声的映射机制，又列举了固有词的语音表征。我们无法排除这一可能性(Zhou and Marslen-Wilson 1997)。第二，我们仍没有观察到三声底层表征在固有词汇辨识过程中的作用。正如我们引言中提到的，这是生成音系学对语言行为所作出的有限的预测之一。我们在 3.2 节所描述的对三声变调词听觉启动效应的研究会在这两个问题进行进一步的阐明。

3.2 听觉启动效应

在听觉词汇判断实验中，受试人需要决定所听到的目标项是否为其母语中的词汇。对作为真词的目标项，受试人正确回答的反应时间不仅受词本身的性质的影响，如词频，也受受试人在目标项前所听到的启动项的影响。文献表明与目标词在音系(mean 启动 bean)、语义(table 启动 chair)或词法(government 启动 govern)相似的启动项都有可能产生使目标词辨识速度变快的启动效应。

受引言中所提到的那些表明底层表征在说话人辨识词汇过程中能起作用的启动效应研究的启发(Lahiri, et al. 1990; Gaskell and Marslen-Wilson 1996; Gow 2001, 2002; Luce, et al. 2003), Chien 等(2016)用了类似的方法来探讨普通话三声变调词的底层表征。与先前的研究不同的是，这一实验中以单音节作为启动项，以双音节词作为目标项，而不是像以往的研究中以多语素的词作为启动项，以单一语素的词作为目标项。这是因为单音节字在汉语中多为黏着语素，因此不容易对其是否是词进行判断。其实验的基本方法为听觉启动下的听觉词汇辨识。研究者以 30 个三声变调词为目标项(如“辅导”)；另设三种启动项，分别为三声启动项(“府”)、二声启动项(“服”)和控制启动项(“敷”)。30 个实验目标项以拉丁方阵排列，也就是说每个实验目标项在每个受试者参与的实验中只出现一次，前面的启动项类型则为三种中的任意一种。实验中还有 60 个与三声变调无关的填充词及 90 个假词作为目标项。不同受试者在实验中所遇到的填充词与假词目标项是相同的。一位母语为台湾普通话的女性发音人提供了实验中的所有启动项和目标项。33 位母语为台湾普通话的受试人在台北参加了这一实验。在实验过程中，受试人先听到启动项，隔 250 毫秒后听到目标项；受试人需要尽快又尽可能准确地判断目标项是否为普通话的一个词(点鼠标左键为“真词”，点鼠标右键为“假词”)。

经去除超出两个标准差的离群值后，经过对数变换的反应时间数据见图 2。线性混合效应统计模型表明启动项对反应时间起了显著影响；与控制项相比，三声启动项可使目标项的辨识速度显著变快，而二声启动项没有这一显著作用。这一结果表明普通话母语者在对三声变调词进行在线词汇辨识时利用的是三声，因此为三声变调词的底层表征为 T3-T3 提供了证据。

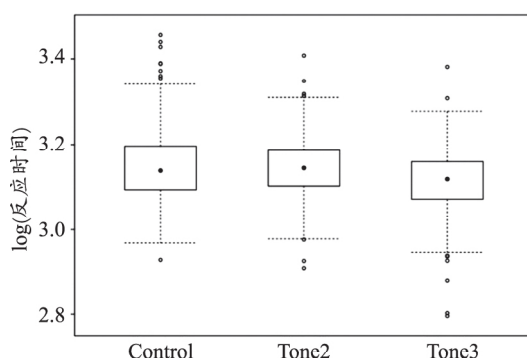


图2 不同启动项下普通话三声变调词听辨反应时间:
控制启动项(Control) 、二声启动项(Tone2) 、三声启动项(Tone3)

3.3 普通话小结

我们对普通话三声变调的能产性及三声变调词的听觉启动效应的实验研究一致表明, 普通话的三声变调的确以三声为底层表征, 有一个从底层三声到表层二声的映射机制。尽管生成音系学中的映射机制(推导规则或制约排列) 并不一定对应语言应用中的步骤, 但映射机制作为语言能力一部分, 不仅预测了这一规律的能产性, 而且预测了母语者在语言应用中可使用的表征。这两个预测在普通话三声变调的实验研究中都得到了验证。

4. 台湾闽南话连读变调实验研究

4.1 能产性

Hsieh(1970, 1975, 1976) 用一系列新词实验对台湾闽南话变调的能产性提出了质疑。例如, Hsieh(1970) 测试了七位发音人对五类皆为动宾结构的词的变调反应, 其特征为:

- 1) 方言中的固有双音节词汇;
- 2) 由两个固有音节组成的新词;
- 3) 由一个意外缺失的音节与一个固有音节组成的新词;
- 4) 由一个固有音节与一个意外缺失的音节组成的新词;
- 5) 由两个意外缺失的音节组成的新词。

结果显示发音人在首音节为固有音节时的变调正确率为 100%, 但在首音节为意外缺失的音节时的变调正确率仅为 10-30%, 而在非正确变调中, 70-90%为不变调。本人与合作者近年对台湾闽南话双音节词(Zhang, et al. 2009) 及双音节与三音节叠词(Zhang and Lai 2008; Zhang, et al. 2011) 中的变调能产性的研究也发现了类似的情况。我们在这里汇报一个以句子环境引出新词的实验。实验中所涉及的两类词为动宾结构的双音节固有词和新词。固有词的数据采集与 Zhang 和 Lai(2010) 在普通话研究中的方法类似: 受试人听到

两个间隔为 800 毫秒、读为本调的音节，其任务为将双音节词读出。新词的结构为一个意外缺失音节加一个固有名词，而这一意外缺失音节被赋予一个动词的意义(如“在网上买东西”)，并且在语境中以本调读给受试人两次。受试人的任务为将动宾组合的新词读出(如“在网上买花”)。实验测试了舒声音节中的所有五个变调规则，每个变调规则在固有词和新词中各有四个词。26 位居住在台湾省嘉义地区附近的闽南话受试人(平均年龄 = 38.5)参加了我们的实验。

从对实验数据的初步分析，我们可以看到受试人的确对第一个音节进行了声调替换。因此，我们用记音的方法记录了受试人提供的第一个音节的调类。依据本调，我们将第一个音节的调类划分为正确变调、不变调及其他。图 3 显示了该数据。该数据表明：第一，台湾闽南话的变调在新词中能产性不强，受试人的反应多为不变调。第二，由表层配列规则激发的 24 → 33 变调能产性相对较高，新词中不变调的比率较低。这两点体现在一系列对数线性混合效应的统计模型中。例如，对正确变调(正确 = 1，不正确 = 0)的对数线性混合效应分析显示词类(固有词，新词)对变调的正确性有非常显著的影响。对不变调(不变调 = 1，变调 = 0)的对数线性混合效应分析显示词类与首音节本调有交互作用；在固有词中，24 的不变调率只低于 21，但在新词中，24 的不变调率低于所有的其他本调。

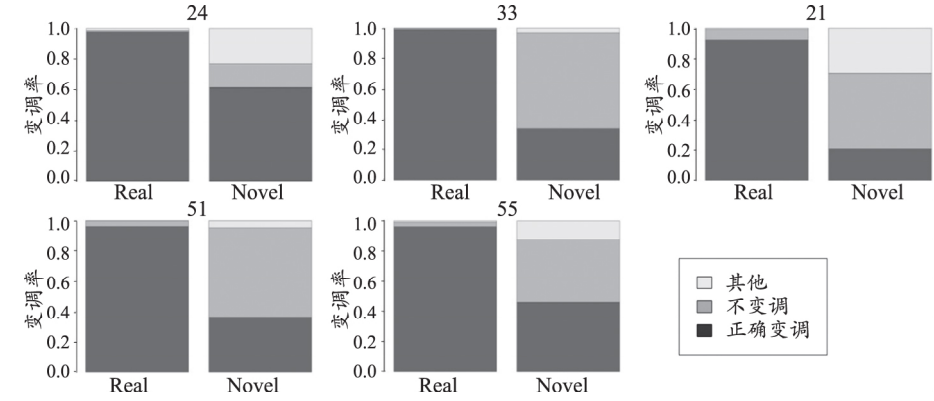


图 3 台湾闽南话连读变调能产性实验固有词和新词依据本调在首音节的变调结果

这一研究的结果与先前的多项关于台湾闽南话变调能产性的研究结果相似：当需要变调的音节不体现为台湾闽南话中的语素时，变调的能产性很低，特别是循环链中的变调。我们还有数据表明当第一音节为固有动词时，即使后面的名词为新词，因此双音节词也为新词，变调也按规则进行。这也与 Hsieh (1970) 等得到的结果相似。这些结果都将台湾闽南话变调的分析指向同一个方向：固有词汇中的变调缘于对语素变体的表层声调的列举，也就是说，台湾

闽南话的变调词，特别是循环链中的变调，其底层表征更有可能为变调调值，而非本调调值，因此也不存在本调到变调的映射机制。与普通话三声变调对比，我们可以看到这两种变调的能产性是截然不同的。而且，这个本质上的区别不能归结于新词实验的实验方法：台湾闽南话的实验不管是否有句子环境，都无法在其语言中不存在的音节上获取高变调率；普通话的研究则能在没有句子环境的情况下获取百分之百的变调率。因此，造成这一不同的原因更有可能是这两种语言中变调形式的不同。变调规则是否能以表层的配列规则而触发以及是否是链式音移的一部分是我们考虑的重点原因，但变调是以声调还是位置为环境，因其对“本调”和“变调”的出现频率的影响，也是另外一个可能的原因。

与普通话三声变调的实验研究相似，我们对台湾闽南话的变调研究也考虑了在线词汇辨识过程中母语者所使用的表征。我们在 4.2 节简单概括 Chien 等 (2017) 对台湾闽南话变调词的听觉启动效应的研究。

4.2 听觉启动效应

Chien 等 (2017) 的研究集中针对台湾闽南话中的两个变调规则：能产性较低的 51→55 及能产性相对较高的 24→33。实验方法与普通话基本相同，也是一个听觉启动下的听觉词汇辨识实验。每一个变调有 18 个变调词作为目标词（如“翻船”piŋ^{51→55}-tsun²⁴、“排解”pai^{24→33}-kai⁵¹），每个变调词前 250 毫秒有三种启动项，分别为本调启动项（“翻”piŋ⁵¹、“排”pai²⁴）、变调启动项（“冰”piŋ⁵⁵、“败”pai³³）和控制启动项（“饼”piŋ²¹、“拜”pai²¹）。目标词与不同的启动项以拉丁方阵排列。实验中还有 60 个与这两个变调无关的填充词及 96 个假词作为目标项。一位母语为台湾闽南话的女性发音人提供了实验中的所有启动项和目标项。36 位母语者受试人在台北参加了这一实验。

经与普通话听觉启动效应实验相同的数据处理后，对目标词辨识的反应时间数据见图 4。线性混合效应统计模型表明启动项与变调规则（51→55 或 24→33）对反应时间有交互作用，因此我们将启动项对反应时间的影响在不同的变调规则中分开来看。在 51→55 的变调词中，与控制项相比，只有变调启动项（55）使目标词的辨识速度显著变快，而本调启动项（51）没有这一显著作用。在 24→33 的变调词中，变调启动项（33）和本调启动项（24）则都使目标词的辨识速度显著变快。这些结果表明，对于台湾闽南话循环链中的变调，母语者在其变调词的在线辨识中主要利用的是变调，因此这些变调词的底层表征更有可能是变调，而非本调；对于循环链外的 24→33 变调，本调值与变调值则都可以在对变调词的在线辨识中被母语者运用，因此本调值与变调值都有可能列举在底层表征中。

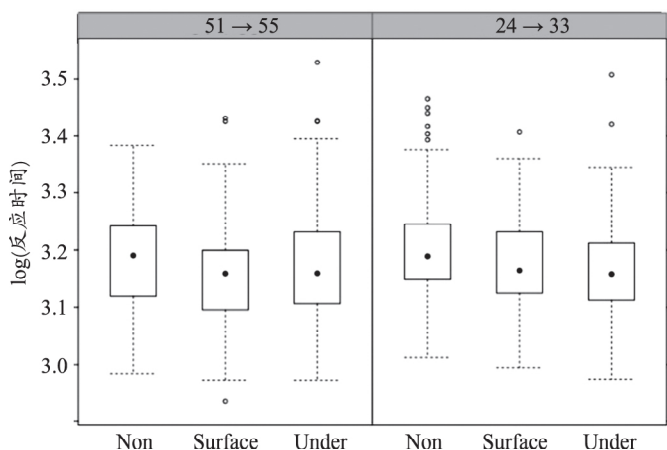


图4 不同启动项下台湾闽南话 51→55 和 24→33 变调词听辨反应时间:
控制启动项(Non)、变调启动项(Surface)、本调启动项(Under)

4.3 台湾闽南话小结

我们对台湾闽南话连读变调的能产性及变调词的听觉启动效应的实验研究用了与普通话三声变调研究相似的方法，但却得到了与普通话截然不同的结果。对于在循环链中的变调，能产性实验的结果显示变调规则无法在台湾闽南话不存在的音节上产生，而且母语者在其变调词的在线辨识中主要利用的是变调。这些结果表明循环链中变调词的底层表征更可能为变调值，也就是说，具有变调值的语素变体在底层表征中直接列出，音系语法中并不具有从本调到变调的映射机制。因此，传统描述下的本调→变调的变调规则在台湾闽南话并不是底层→表层的生成分析的正确体现。对于循环链外的 24 → 33 变调，因其可能被表层配列规则触发(* 24-X)，但又处于链式音移中，其能产性在普通话三声变调和台湾闽南话循环变调之间，而其变调词的在线辨识也与本调和变调都有关。这些结果表明其本调值与变调值都有可能列举在底层表征中。

关于造成这两个变调系统行为表现不同的原因，我们在上文提到了两个可能性。一是变调规则能否被表层配列规则触发以及是否为链式音移的一部分，另一个则是变调是以声调还是位置为环境。后一因素的影响是因为如果变调是以声调为环境，变调值出现的频率便可能较低(如普通话三声变调值只在三声前出现)，因此本调便可能在语言应用中起更大的作用；但如果变调是以非末位置为环境，变调值出现的频率便可能较高(如台湾闽南话的变调值出现在所有变调域非末位音节中)，因此变调就可能在语言应用中起更大的作用。如果我们只有普通话和台湾闽南话的实验结果，我们便无法分辨哪一个原因是更根本的原因。为了区别这两种可能性，我们需要一个能够区别这两种特征的语言。上文所描述的台湾海陆客语(变调以非末位置为环境，但无链式音移)正

好符合这个要求。下一节汇报我们对海陆客语连读变调的能产性和听觉启动效应的实验研究。

5. 海陆客语连读变调实验研究

5.1 能产性

Zhang 等(2016) 对海陆客语中两条变调规则的能产性进行了研究。我们在这里只概括介绍其对 13 → 33 变调的研究结果。Zhang 等(2016) 的实验中涉及 16 个双音节固有词和 16 个双音节新词。每个词的本调为 13-33 或 13-53。固有词的数据采集与上文的方式相同：受试人听到两个间隔为 800 毫秒、读为本调的音节，其任务为将双音节词读出。新词为动宾或“修饰词+名词”结构，以一个意外缺失音节加一个固有名词组成，而这一意外缺失音节被赋予一个动词（如“在网上买东西”）或一个修饰词（如“一种颜色”）的意义，并且在语境中以本调读给受试人两次。受试人的任务为将新词组合读出（如“在网上买花、这种颜色的花”）。19 位居住于台湾省新竹地区的海陆客语受试人（平均年龄 = 58.6）参加了我们的实验。

研究者对发音人双音节词汇产出中第一个音节的 f0 进行了测量。图 5 显示了时长归一后两种词汇类型的 f0。正交二次多项式的生长曲线分析(Mirman 2014) 表明固有词与新词第一个音节的 f0 曲线在截距(Est. = 0.249, SE = 0.172, t = 1.449, p = 0.147)、一次项(Est. = -0.122, SE = 0.337, t = -0.362, p = 0.717) 和二次项(Est. = -0.201, SE = 0.155, t = -1.300, p = 0.194) 都没有显著差距，并且固有词与新词第一个音节都显示为中平调。这一结果表明海陆客语中在变调域非末位的 13 → 33 变调具有很强的能产性。因此，海陆客语这一变调的能产性更类似于普通话三声变调，而与台湾闽南话的变调有本质的不同。

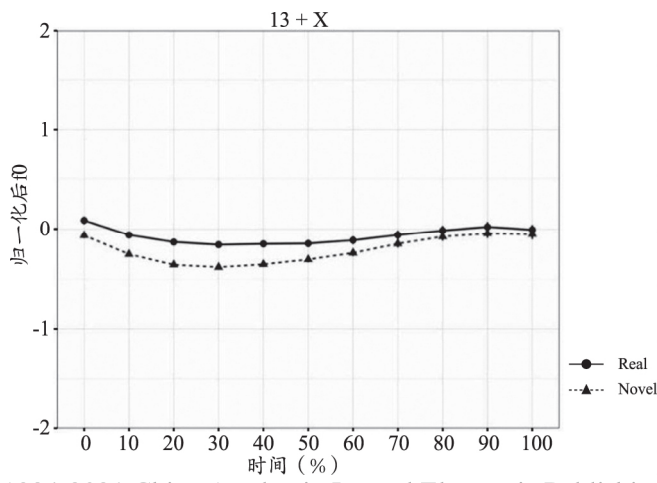


图 5 海陆客语 13 → 33 变调能产性实验在固有词(Real) 和新词(Novel) 中首音节时长归一后的 f0 结果

5.2 听觉启动效应

Zhang 等(2016)也对海陆客语 13→33 变调词的在线辨识进行了研究。实验方法与上文介绍的方法基本相同,也是一个听觉启动下的听觉词汇辨识实验。20 个 13-X 变调词作为目标词(如“处理” $\text{t}^{\text{h}}\text{u}^{13\rightarrow33}\text{-li}^{53}$),每个变调词前 250 毫秒有四种启动项,分别为本调启动项(“处” $\text{t}^{\text{h}}\text{u}^{13}$)、变调启动项(“住” $\text{t}^{\text{h}}\text{u}^{33}$)、音段启动项(“除” $\text{t}^{\text{h}}\text{u}^{44}$)和不相关启动项(“气” hi^{21})。与普通话与台湾闽南话实验不同的是本实验多加了一个音段上不相关的启动项,而本实验中的音段启动项则对应于普通话和台湾闽南话实验中的控制启动项。目标词与不同的启动项以拉丁方阵排列。实验中还有 80 个与这一变调无关的填充词及 100 个假词作为目标项。一位母语为海陆客语的男性发音人提供了实验中的所有启动项和目标项。32 位母语者受试人在新竹参加了这一实验。

经去离群值和对数变换处理后的反应时间数据见图 6。

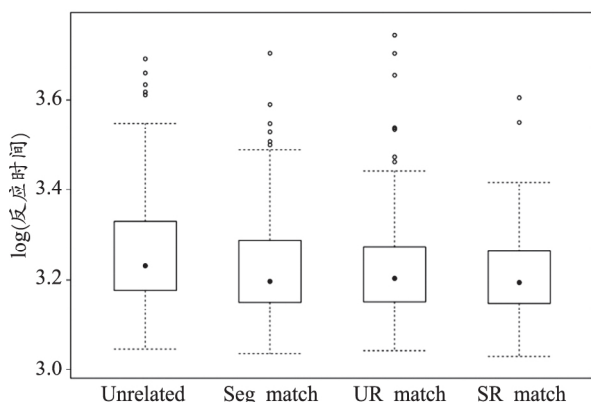


图 6 不同启动项下海陆客语 13→33 变调词听辨反应时间: 不相关启动项(Unrelated)、音段启动项(Seg_match)、本调启动项(UR_match)、变调启动项(SR_match)

与不相关启动项相比,所有音段与目标词首音节相同的启动项都可使目标词的辨识速度显著变快。这一结果复制了先前文献中的结果(如 Sereno and Lee 2015),也间接证实了这一方法的合法性。但与音段启动项相比,只有本调启动项有显著的促发效应(Est. = -0.027, SE = 0.010, $t = -2.602$, $p = 0.0096$),而变调启动项无此效应(Est. = -0.011, SE = 0.010, $t = -1.072$, $p = 0.284$)。由于海陆客语实验中的音段启动项对应于普通话和台湾闽南话实验中的控制启动项,这一结果表明海陆客语 13→33 变调词的在线辨识与普通话三声变调相似,而与台湾闽南话变调不同,因此为海陆客语 13→33 变调词的底层表征为 13-X 提供了证据。

5.3 海陆客语小结

我们对海陆客语连读变调的实验研究表明这一音系系统在能产性及在线辨识行为上与普通话三声变调相似，而不同于台湾闽南话的变调系统。这说明变调是以声调还是位置为环境，不是决定其行为的主要因素，也说明本调值与变调值出现的频率对比也不对变调词的底层表征起决定性的影响^④。反而是变调规则能否被表层配列规则触发及是否为链式音移的一部分对变调词的底层表征及母语者对其的应用起了主导作用。实验结果说明海陆客语以位置为环境的变调因其表层配列规则动机的透明性，以本调为底层表征，在音系语法中也具有本调(底层)到变调(表层)的映射机制。

6. 讨论与结语

以上关于连读变调的实验研究表明，不同形式的语素变体被母语者习得与在线应用的情况也有所不同。因此，这类研究为音系语法的形式分析对说话人的行为作出的预测，特别是关于语素变体规律的能产性以及具有语素变体的词汇在线辨识的特性，提供了实践上的验证。反过来，这些实验研究也对生成音系分析中的底层表征与底层到表层的映射机制提供了更直接的证据。实验结果表明，有些变调的底层表征与传统音系分析所假设的一样(如普通话的三声变调与海陆客语的变调)，而另一些变调的底层表征则为传统分析所认为的表层变调形式(如台湾闽南话的 51 → 55)。而且，底层表征的形式并不能针对某个语言一概而论；例如，我们看到台湾闽南话的 51 → 55 变调与 24 → 33 变调在底层表征上是有所不同的。

这些研究另一方面的理论贡献在于其对心理语言学中言语产出及听觉词汇辨识模型的启示。文献中主要的言语产出(如 Levelt 1999; Levelt, et al. 1999; Indefrey and Levelt 2004)及听觉词汇辨识模型(如 McClelland and Elman 1986; Marslen-Wilson 1987; Norris 1994; Norris and McQueen 2008)对语素变体的地位，特别是不具语音自然性的范畴性变体，均没有清楚的陈述。例如，Levelt 等的言语产出模型中的语音编码部分只有一个包括常用音节的发声姿态的列表，因此无法涵盖不以音节位置决定的语素变体。对语素变体的实验研究可以促使言语产出及听觉词汇辨识的理论模型更多考量语言中语素变体的复杂性，从而进一步推进这些理论模型的发展。

^④ 音系规则在词汇中的出现频率(type frequency)及使用频率(token frequency)对规则能产性的影响在文献中有较详尽的描述(Bybee 1985, 2001; Moder 1992; Pierrehumbert 2003, 2006)。这些研究大多表明出现频率更高的规则能产性也更高。但也有研究发现音系规则的能产性与使用频率更直接相关。例如，Zhang 等(2009)发现台湾闽南话循环链中变调的能产性与变调规则的使用频率更相关。由于我们在本文中所比较的频率是语素变体的频率，而不是音系规则的频率，因此其结果与以上所引的研究结果并不相悖。对频率和能产性的关联有兴趣的读者请参看以上文献。

从方法的角度来看,这类研究有向许多方向发展的潜能。对普通话三声变调在言语产出中的研究我们已在文献中看到隐含启动(Chen, et al. 2011; Chen 2012; Politzer-Ahles and Zhang 待刊)、隐蔽产出的 ERP(Zhang, et al. 2015) 及产出过程中的 fMRI(Chang, et al. 2014) 等方法,在听辨及前注意加工上则有单音节声调(Li and Chen 2015; Politzer-Ahles, et al. 2016; Chang, et al. 2019) 及双字调音节省略(Chien, et al. 2020) 的 MMN 研究。我们更是希望理论语言学者与方言学者能够加强与心理及神经语言学者的合作,从而能将这类研究延伸到各种方言的不同变调类型当中,使汉语方言的声调系统不仅成为语言描述与类型学的宝库,也成为音系及心理语言学理论发展的重要力量之一。

References [引用文献]

- Berko, Jean. 1958. The child's learning of English morphology. *Word* 14, 150–77.
- Bybee, Joan L. 1985. *Morphology: A Study of The Relation between Meaning and Form*. Philadelphia, PA: Benjamins.
- . 2001. *Phonology and Language Use*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Chang, Claire H.-C. (张惠娟), Tzu-Hui Lin (林子汇), and Wen-Jui Kuo(郭文瑞) . 2019. Does phonological rule of tone substitution modulate mismatch negativity? *Journal of Neurolinguistics* 51, 63–75.
- Chang, Claire H.-C., Hsin-Ju Lee (李芯如), Ovid J. L. Tzeng (曾志朗), and Wen-Jui Kuo. 2014. Implicit target substitution and sequencing for lexical tone production in Chinese: An fMRI study. *PLoS ONE* 9, 1: e83126.
- Chang, Yufen. 2013. First language attrition: An investigation of Taiwanese tones and tone sandhi. PhD diss., Indiana University, Bloomington.
- Chen, Matthew Y. (陈渊泉). 1987. The syntax of Xiamen tone sandhi. *Phonology Yearbook* 4, 109–50.
- . 2000. *Tone Sandhi: Patterns across Chinese Dialects*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Chen, Xiacong (陈小聪). 2012. On the role of the underlying tonal representation in the phonological encoding stage of tone sandhi production of the Mandarin Third tone. MA thesis, Guangdong University of Foreign Studies.
- Chen, Yiya (陈轶亚), Rachel Shen, and Niels Schiller. 2011. Representation of allophonic tone sandhi variants. *Proceedings of Psycholinguistics Representation of Tone*. Pp.38–41.
- Cheng, Robert L. 1968. Tone sandhi in Taiwanese. *Linguistics* 41, 19–42.
- Chien, Yu-Fu (钱昱夫), Joan Sereno, and Jie Zhang (张杰). 2016. Priming the representation of Mandarin tone 3 sandhi words. *Language, Cognition and Neuroscience* 31, 2: 179–89.
- . 2017. What's in a word: Observing the contribution of underlying and surface representations. *Language and Speech* 60, 4: 643–57.
- Chien, Yu-Fu, Xiao Yang (杨潇), Robert Fiorentino, and Joan Sereno. 2020. The role of surface and underlying forms when processing tonal alternations in Mandarin Chinese: A mismatch negativity study. *Frontiers in Psychology* 11, 646.
- Chung, Raung-Fu (钟荣富). 1992. The domain of Hakka tone sandhi. *Studies in Language Teaching*,

- Linguistics, and Literature* 1: 113–44.
- Gaskell, M. Gareth and William D. Marslen-Wilson. 1996. Phonological variation and inference in lexical access. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 22, 144–58.
- Gow, David W. 2001. Assimilation and anticipation in continuous spoken word recognition. *Journal of Memory and Language* 45, 133–59.
- . 2002. Does English coronal place assimilation create lexical ambiguity? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 28, 163–79.
- Hsieh, Hsin-I (谢信一). 1970. The psychological reality of tone sandhi rules in Taiwanese. In Mary Anne Campbell, ed., *Papers from the 6th Meeting of the Chicago Linguistic Society*. Pp.489–503.
- . 1975. How generative is phonology. In Ernst F. K. Koerner, ed., *The Transformational-Generative Paradigm and Modern Linguistic Theory*. Amsterdam: John Benjamins. Pp.109–44.
- . 1976. On the unreality of some phonological rules. *Lingua* 38, 1–19.
- Indefrey, Peter and William J. M. Levelt. 2004. The spatial and temporal signatures of word production components. *Cognition* 92, 1–2: 101–44.
- Kenstowicz, Michael and Charles Kisseberth. 1979. *Generative Phonology: Description and Theory*. San Diego, CA: Academic Press.
- Lahiri, Aditi, Allard Jongman, and Joan Sereno. 1990. The pronominal clitic [dər] in Dutch: A theoretical and experimental approach. In Geert E. Booij and Jaap van Marle, eds., *Yearbook of Morphology*, Vol. 3. Dordrecht: Foris. Pp.115–27.
- Levelt, Willem J. M. 1999. Models of word production. *Trends in Cognitive Science* 3, 6: 223–32.
- Levelt, Willem J. M., Ardi Roelofs, and Artje S. Meyer. 1999. A theory of lexical access in speech production. *Behavioral and Brain Sciences* 22, 1: 1–38.
- Li, Xiaoqing (李晓庆) and Yiya Chen. 2015. Representation and processing of lexical tone and tonal variants: Evidence from the mismatch negativity. *PLoS ONE* 10, 12: e0143097.
- Lin, Jo-Wang (林若望). 1994. Lexical government and tone group formation in Xiamen Chinese. *Phonology* 11, 237–75.
- Luce, Paul A., Connor T. McLennan, and Jan Charles-Luce. 2003. Abstractness and specificity in spoken word recognition: Indexical and allophonic variability in long-term repetition priming. In Jeffrey S. Bowers and Chad J. Marsolek, eds., *Rethinking Implicit Memory*. Oxford: Oxford University Press. Pp.197–214.
- Marslen-Wilson, William D. 1987. Functional parallelism in spoken word-recognition. *Cognition* 25, 1–2: 71–102.
- McClelland, James L. and Jeffrey L. Elman. 1986. The TRACE model of speech perception. *Cognitive Psychology* 18, 1: 1–86.
- Mirman, Daniel. 2014. *Growth Curve Analysis and Visualization Using R*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Moder, Carol Lynn. 1992. Productivity and categorization in morphological classes. PhD diss., SUNY Buffalo.
- Moreton, Elliott. 2004. Non-computable functions in Optimality Theory. In John J. McCarthy, ed., *Optimality Theory in Phonology*. Malden, MA: Blackwell. Pp.141–64.
- Myers, James and Jane Tsay. 2008. Neutralization in Taiwan Southern Min tone sandhi. In Yuchau E. Hsiao (萧宇超), Hui-Chuan Hsu (许慧娟), Lian-Hee Wee (黄良喜), and Dah-An Ho (何大安), eds., *Interfaces in Chinese Phonology: Festschrift in Honor of Matthew Y. Chen on His 70th Birthday*. Taipei: “Academia Sinica”. Pp.47–78.
- Norris, Dennis. 1994. Shortlist: A connectionist model of continuous speech recognition. *Cognition* 52, 3: 189–234.
- Norris, Dennis and James M. McQueen. 2008. Shortlist B: A Bayesian model of continuous speech

- recognition. *Psychological Review* 115 ,2: 357–95.
- Peng ,Shu-Hui (彭淑惠) . 1997. Production and perception of Taiwanese tones in different tonal and prosodic contexts. *Journal of Phonetics* 25 ,371–400.
- . 2000. Lexical versus ‘phonological’ representations of Mandarin sandhi tones. In Michael Broe and Janet Pierrehumbert , eds. , *Papers in Laboratory Phonology 5: Acquisition and the Lexicon*. Cambridge: Cambridge University Press. Pp.152–67.
- Pierrehumbert ,Janet B. 2003. Probabilistic phonology: Discrimination and robustness. In Rens Bod , Jennifer Hay ,and Stefanie Jannedy , eds. , *Probabilistic Linguistics*. Cambridge ,MA: The MIT Press. Pp.177–228.
- . 2006. The statistical basis of an unnatural alternation. In Louis Goldstein , Douglas H. Whalen ,and Catherine T. Best , eds. , *Laboratory Phonology VIII ,Varieties of Phonological Competence*. Berlin: Mouton de Gruyter. Pp.81–107.
- Politzer-Ahles ,Stephen ,Kevin Schluter ,Kefei Wu ,and Diogo Almeida. 2016. Asymmetries in the perception of Mandarin tones: Evidence from mismatch negativity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 42 ,10: 1547–70.
- Politzer-Ahles ,Stephen and Jie Zhang. In press. Evidence for the role of tone sandhi in Mandarin speech production. *Studies on Tonal Aspects of Languages. Journal of Chinese Linguistics Monograph Series No. 26*.
- Prince , Alan and Paul Smolensky. 2004 [1993]. *Optimality Theory: Constraint Interactions in Generative Grammar*. Cambridge , MA: The MIT Press. 1993. Ms. , Rutgers University and University of Colorado , Boulder.
- Sereno ,Joan A. and Hyunjung Lee. 2015. The contribution of segmental and tonal information in Mandarin spoken word processing. *Language and Speech* 58 ,2: 131–51.
- Wang ,William S-Y. (王士元) . 1967. Phonological features of tone. *International Journal of American Linguistics* 33 ,2: 93–105.
- Yan ,Hanbo (严菡波) and Jie Zhang. 2016. Pattern substitution in Wuxi tone sandhi and its implication for phonological learning. *International Journal of Chinese Linguistics* 3 ,1: 1–45.
- Yan ,Hanbo ,Yu-Fu Chien ,and Jie Zhang. 2020. Priming the representation left-dominant sandhi words: A Shanghai dialect case study. *Language and Speech* 63 ,2: 362–80.
- Yeh ,Chia-Hsin (叶嘉旻) . 2015. Speech processing of Hai-lu Hakka falling tones and tone sandhi. PhD diss. ,Michigan State University ,East Lansing ,MI.
- Yuan ,Jiahong (袁家宏) and Yiya Chen. 2014. Third tone sandhi in Standard Chinese: A corpus approach. *Journal of Chinese Linguistics* 42 ,1: 218–36.
- Yue-Hashimoto , Anne O. (余蔼芹) . 1987. Tone sandhi across Chinese dialects. In Chinese Language Society of Hong Kong , ed. , *Wang Li Memorial Volumes: English Volume*. Hong Kong: Joint Publishing. Pp.445–74.
- Zhang ,Caicai (张恺恺) and Gang Peng (彭刚) . 2013. Productivity of Mandarin third tone sandhi: A wug test. In Gang Peng and Feng Shi (石锋) ,eds. , *Eastward Flows the Great River: Festschrift in Honor of Prof. William S-Y. Wang on His 80th Birthday*. Hong Kong: City University of Hong Kong. Pp.256–82.
- Zhang ,Caicai ,Quansheng Xia (夏全胜) ,and Gang Peng. 2015. Mandarin third tone sandhi requires more effortful phonological encoding in speech production: Evidence from an ERP study. *Journal of Neurolinguistics* 33 ,149–62
- Zhang ,Jie (张杰) . 2007. A directional asymmetry in Chinese tone sandhi systems. *Journal of East Asian Linguistics* 16 ,4: 259–302.
- . 2014a. Tones ,tonal phonology ,and tone sandhi. In C.-I. James Huang (黄正德) ,Y.-H. Audrey Li (李艳惠) ,and Andrew Simpson ,eds. , *The Handbook of Chinese Linguistics*. Oxford:

- Wiley-Blackwell. Pp.443–64.
- . 2014b. The productivity of tone sandhi in Chinese dialects and its theoretical analysis. *Contemporary Linguistics* 3: 273–87. [2014b, 汉语方言变调系统的能产性与其理论分析。《当代语言学》第3期, 273–87页。]
- Zhang, Jie and Yuwen Lai. 2008. Phonological knowledge beyond the lexicon in Taiwanese double reduplication. In Yuchau E. Hsiao, Hui-Chuan Hsu, Lian-Hee Wee, and Dah-An Ho, eds., *Interfaces in Chinese Phonology: Festschrift in Honor of Matthew Y. Chen on His 70th Birthday*. Taipei: “Academia Sinica”. Pp.183–222.
- . 2010. Testing the role of phonetic knowledge in Mandarin tone sandhi. *Phonology* 27, 153–201.
- Zhang, Jie, Yuwen Lai, and Craig Sailor. 2009. Opacity, phonetics, and frequency in Taiwanese tone sandhi. In Manghyu Pak, ed., *Current Issues in Unity and Diversity of Languages: Collection of Papers Selected from the 18th International Congress of Linguists*. Pp.3019–38.
- . 2011. Modeling Taiwanese speakers’ knowledge of tone sandhi in reduplication. *Lingua* 121, 2: 181–206.
- Zhang, Jie and Jiang Liu (刘江). 2016. The productivity of variable disyllabic tone sandhi in Tianjin Chinese. *Journal of East Asian Linguistics* 25, 1: 1–35.
- Zhang, Jie and Yuanliang Meng (孟元亮). 2016. Structure-dependent tone sandhi in real and nonce disyllables in Shanghai Wu. *Journal of Phonetics* 54, 1: 169–201.
- Zhang, Jie, Hanbo Yan, Yuwen Lai, and Shaoren Lyu (吕绍任). 2016. An experimental investigation of positionally conditioned tone sandhi in Hailu Hakka. Poster presented at the 15th Conference on Laboratory Phonology, Ithaca, NY.
- Zhou, Xiaolin (周晓林) and William D. Marslen-Wilson. 1997. The abstractness of phonological representation in the Chinese mental lexicon. In Hsuan-Chih Chen (陈烜之), ed., *Cognitive Processing of Chinese and Related Asian Languages*. Hong Kong: The Chinese University Press. Pp.3–26.

作者简介

张杰, 男, 博士, 堪萨斯大学语言学系教授。主要研究兴趣为理论音系学、实验音系学、汉语及其他声调语言的语音与音系。代表作: *The Effects of Duration and Sonority on Contour Tone Distribution: A Typological Survey and Formal Analysis* 和 “Testing the role of phonetic knowledge in Mandarin tone sandhi”。电子邮件: zhang@ku.edu

ZHANG Jie, male, PhD, is a professor in the Linguistics Department at the University of Kansas, USA. His main research interest includes theoretical phonology, experimental phonology, phonetics and phonology of Chinese and other tonal languages. His major publications include *The Effects of Duration and Sonority on Contour Tone Distribution: A Typological Survey and Formal Analysis* and “Testing the role of phonetic knowledge in Mandarin tone sandhi”. E-mail: zhang@ku.edu