

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.08.024

中文双字词字体与词频在 N400 上的交互作用^①

张顺梅, 赵桂一, 王权红

西南大学 心理学部, 重庆 400715

摘要: 为验证中文的 N400 字体效应, 探索字体和使用频率在语义提取上的交互作用, 以大学生为被试, 采用事件相关电位(ERP)技术和真假词判断任务, 操控双字词的字体和频率, 记录被试对真假双字词的判断反应和 ERP, 结果表明: 行楷体比宋体引发更负的 N400 波幅, 且在低频真词上更显著, 另外在真词条件下, 频率和字体在 N400 上存在交互作用, 认为字形在语义通达中起到重要作用, 支持中文形一义加工说和交互激活模型, 不支持多阶段激活模型。

关键词: 双字词; 字体; 频率; N400 效应; 交互激活模型

中图分类号: B842 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-9868(2016)08-0155-07

脑电成分在认知神经科学中具有重要作用, 其中 N400 成分被认为是阅读理解中的重要指标. N400 成分是指一个负走向的且波峰在刺激后约 400 ms 时出现的头皮电位. Kutas 等^[1]发现, 相比句子结尾词和当前语境相符合的条件, 二者在不符合条件下诱发更大的 N400 波幅. 这就是经典的 N400 效应. 随后, N400 效应被扩展到语义启动、重复启动等语境因素上^[2-3], 并发现语境与频率在 N400 波幅上有交互作用, 说明频率作用于语义加工^[4].

关于字形与 N400 的研究, 目前还没有证据表明拼音文字字形的变化可以改变 N400 波幅. 这是因为拼音文字的字形结构并不直接影响其语义提取, 其语义主要通过语音中介通达^[5], 因此语音中介阻止了由字到义的所谓的语义串级加工. 然而, 在中文文字系统中, 诸如字体等字形特征会导致 N400 波幅的变化. 通过真假字判断任务, Lv 等^[6]发现无论是真字还是假字, 行楷体均比宋体产生了更大的 N400 波幅. 这种 N400 字体效应体现了汉字字形的语义串级加工, 与中文的形一义加工说一致.

尽管如此, 如果同时操控汉字字体类型和频率, 那么将进一步说明字体能否实现串级加工. 字体类型体现刺激质量并作用于字形加工, 频率作用于语义加工, 而刺激质量和频率的因素联合操控的研究本身就是一个热点, 它引发了视觉词汇识别中交互激活串级(IA)模型和多阶段激活模型的争论^[7]. IA 模型认为^[8], 相邻的系列加工层次是可串级的, 意味着它们的加工是不可分离的. 因此, 根据 Sternberg 的因素相加逻辑^[9], 刺激质量和频率应存在交互作用. 而多阶段激活模型^[10]则认为各层次间的加工方式是不可串级的, 后一层次的加工输入必须在前一层次的加工结束后方能进行, 各层次加工阶段分离. 因此, 刺激质量和

① 收稿日期: 2015-06-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(61431013).

作者简介: 张顺梅(1990-), 女, 湖北恩施人, 硕士研究生, 主要从事语词识别研究.

通信作者: 王权红, 教授, 博士研究生导师.

频率由于作用于不同的加工阶段而会表现出叠加的联合作用。

在过去很多以英文为刺激材料的行为实验研究中,刺激频率和质量一再被证明产生叠加效应而不是交互作用^[11-12]。而本研究的假设则是,刺激质量和频率的叠加效应,主要是由于介于字形和语义加工层次的语音中介的阻断作用,而不是由于这 2 个层次的非串级特性。因此,在排除了语音中介阻断作用的汉字加工中,由于频率作用于语义加工,刺激质量和频率的加工不可分离,二者的联合作用不应该是叠加的。因此,字体和频率之间的交互作用结果将支持 IA 模型的串级式加工思想。

本研究实验目的是:① 验证中文双字词真假词的 N400 字体效应;② 探索字体与频率在 N400 上的交互作用。N400 字体效应可以作为中文形一义加工说的证据支持,而字体和频率的交互作用既可以是词汇形一义加工说的证据支持,同时也是交互激活模型的证据支持。

1 实验 1

1.1 方法

1.1.1 被试

招募 12 名(男 6 名,平均年龄 21 岁)非汉语言文学专业的大学生参加本实验,被试皆为右利手,视力或矫正视力正常,无家族精神病或神经病史。被试均签订知情同意书,实验结束后获得一定报酬。

1.1.2 实验材料

从《现代汉语频率词典(1986 年)》上选取 130 个低频双字词组成真词集。真词是由 2 个字组成的能够代表一定意义的词语,如“鲜花”;假词或者假双字词是指 2 个字本身是真字,但组合起来不是一个有意义的词,如“裤胃”。根据组成真字的字频,选取相同频率段的汉字组成 130 个假双字词。其中低频真词频率均小于 0.003 82%,其组成字的笔画数为 5~21 划,平均字频 0.003 19%($SD=0.002 41\%$)。假词中字的笔画数为 4~20 划,平均字频为 0.003 11%($SD=0.001 4\%$)。每个词都有宋体和行楷体 2 种字体,形成 4 种类型(真词宋体、真词行楷体、假词宋体、假词行楷体),各 65 个词。采用 Flash8.0 将这些双字词制成像素为 112×58 的 BMP 格式的图片。

1.1.3 实验程序

本实验为 2(词的真假性:真词、假词)×2(字体类型:宋体、行楷体)的 2 因素被试内设计。实验包括 2 个实验程序,每个词在 2 个实验程序中分别以 2 种字体呈现,每个程序都包括 2 种不同的字体类型的刺激,每个被试只接受一个。2 个程序在被试间进行轮换,使每个词的字体得以在被试间轮换,并且呈现的机会均等。在 17 寸电脑黑色屏幕正中央呈现所有刺激,被试离屏幕距离 80 cm 左右。正式试验开始前先进行练习任务,直到熟悉实验任务。

实验开始时,首先在屏幕上呈现 250 ms 的注视点“+”,接着呈现随机空屏 200~400 ms,之后呈现双字词刺激,200 ms 后消失,要求被试在看到刺激后又快又准确地判断刺激是不是真词。

1.1.4 EEG 记录和分析

实验仪器为德国 Brain Products 公司生产的 ERP 记录与分析系统,用 64 导的电极帽记录头皮电位,以双耳乳突的连线作为参考电极,在双眼外侧安置电极记录水平眼电(HEOG),右眼上下安置电极记录垂直眼电(VEOG),每个电极点的头皮电阻保持在 5 kΩ 以下。完成连续记录 EEG 后离线处理数据,自动校正 HEOG 和 VEOG,充分排除其它伪迹(波幅大于±80 μV)。滤波带通为 0.01~100 Hz,采样频率为 500 Hz。ERP 的分析时程为刺激出现后 1 000 ms,用-200 ms 矫正基线水平。

叠加正确判断反应的 ERP,得到前述 4 种条件(平均叠加次数在 55 以上)下的 ERP 总平均波形图(图 1)和真词字体间差异波的地形图(图 2)。图 1 显示,宋体与行楷体的波形主要从 300 ms 开始出现分离,且

地形图显示差异波主要集中在头皮中顶部, 与经典的 N400 分布相似. 参照文献[6], 我们以中顶部为核心, 选取了 FC3, FC1, FCz, FC2, FC4, C3, C1, Cz, C2, C4, CP3, CP1, CPz, CP2, CP4 这 15 个有代表性且连成片的电极点, 对 300~500 ms 时间窗口上的平均波幅进行 3 因素的重复测量方差分析. 3 因素分别为字体类型(行楷体、宋体)、词真假性(真词、假词)和电极记录点(已选的 15 个), 方差分析结果采用 Greenhouse-Geisser 的 p 值校正.

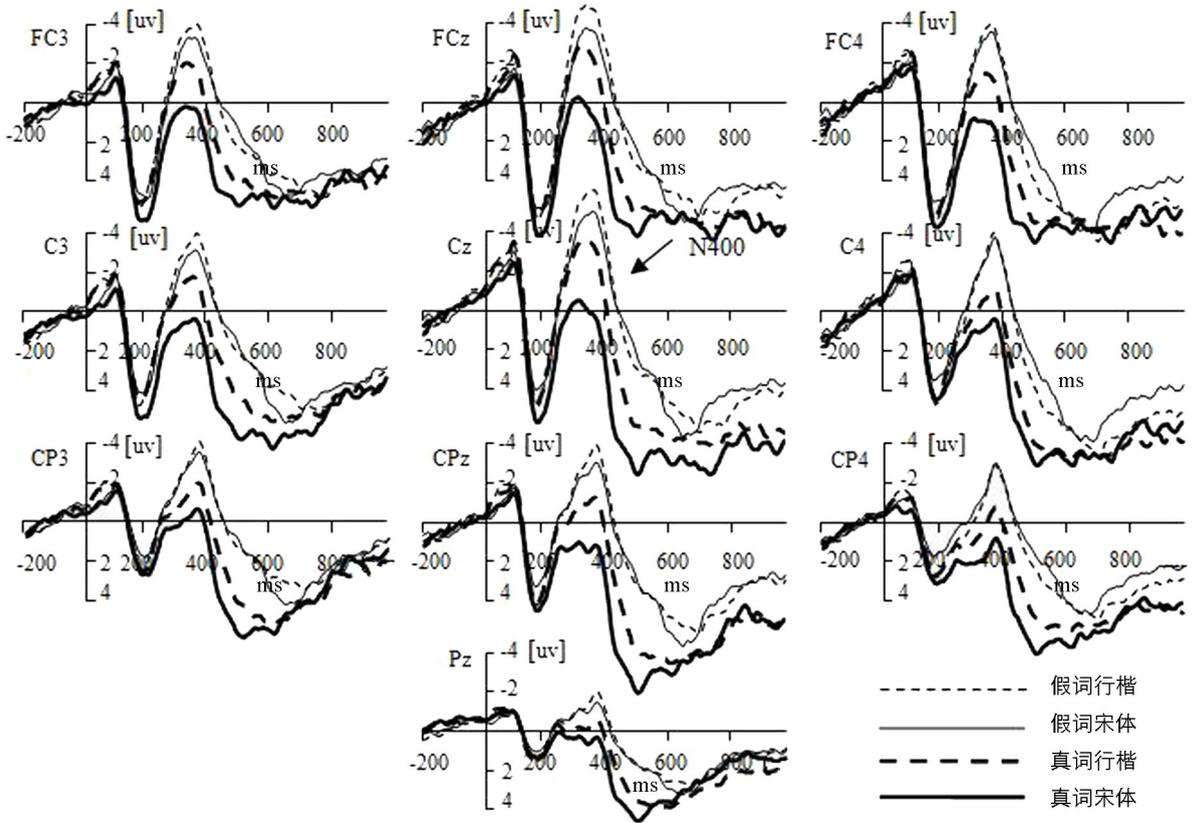


图 1 4 种类型刺激在 Fz, FC3, FCz, FC4, C3, Cz, C4, CP3, CPz, CP4 和 Pz 点上的波形图

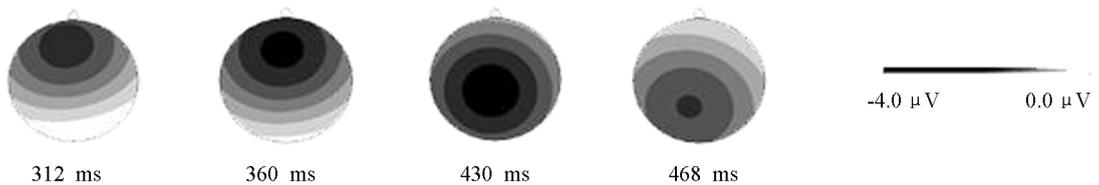


图 2 真词条件下宋体和行楷体 2 种字体的差异波在 312 ms、360 ms、430 ms 和 468 ms 的地形图

1.2 结果与分析

1.2.1 行为结果

反应时和正确率的行为结果见表 1. 反应时方差分析结果显示, 真假词主效应显著, $F(1, 11)=19.12$, $p<0.01$, 假词的反应时长于真词; 字体类型主效应显著, $F(1, 11)=10.82$, $p<0.01$. 字体类型和真假词的交互作用显著, $F(1, 11)=5.94$, $p<0.05$. 简单效应分析发现, 仅在真词上, 行楷体的反应时长于宋体, $F(1, 11)=10.40$, $p<0.01$. 正确率的分析显示, 真假词主效应不显著, $F(1, 11)=3.47$, $p=0.09$; 字体类型主效应显著, $F(1, 11)=53.93$, $p<0.001$. 真假词和字体类型的交互作用显著, $F(1, 11)=22.78$, $p<0.01$. 简单效应分析发现, 仅在真词上宋体的正确率比行楷体要高, $F(1, 11)=56.70$, $p<0.001$.

表 1 实验 1(低频词)各种字体、真假类型刺激的反应时和正确率

	字体类型	真假词类型			
		真 词		假 词	
		平均数	标准差	平均数	标准差
反应时/ms	宋体	645	84.83	735	103.57
	行楷体	693	81.52	748	113.44
正确率/%	宋体	95.08	4.60	93.92	6.10
	行楷体	86.67	6.57	93.17	5.57

1.2.2 脑电结果

如图 1 所示,在 300~500 ms 的时间窗口,低频词的行楷体(虚线)比宋体(实线)引发了更大的负向 N400 波幅,假词(细线)比真词(粗线)诱发了更大的 N400 波幅.这些观察得到下面统计检验的支持.

重复测量方差分析显示,真假词的主效应显著, $F(1, 11)=74.15, p<0.001$, 假词诱发的 N400 波幅比真词的更大;字体类型的主效应显著, $F(1, 11)=11.96, p<0.01$.真假词类型和字体类型的交互作用显著, $F(1, 11)=5.58, p<0.05$.简单效应分析发现,仅在真词上行楷体比宋体的 N400 波幅更大, $F(1, 179)=169.35, p<0.001$;其他效应和交互作用均不显著.

1.3 讨 论

实验 1 的行为结果与前人的研究一致,即假词比真词反应时长且正确率低^[3],而宋体的真、假词反应时小于行楷体,而且宋体真词的正确率高于行楷体^[6].脑电结果也验证了字体 N400 效应^[6],无论是真词还是假词,行楷体刺激均比宋体刺激引发了更大的 N400.词的真假性不涉及刺激质量的变化,然而与真词相比,假词引发了更大的 N400,说明字体类型与词的真假性一样都可能直接和语义有关.

2 实验 2

2.1 方 法

2.1.1 被 试

被试为招募的 14 名(男、女各 7 名,平均年龄 23 岁),其它与实验 1 相同.

2.1.2 实验材料、程序以及 EEG 记录和分析

与低频实验 1 相同,共选取 130 个高频双字词作为真词,并据此选取相同频率段的汉字组成 130 个假双字词.高频真双字词频率均为 0.015 3%~0.045 8%,组成真双字词的笔笔画数为 2~15 划,平均字频 0.129 26%, $SD=0.153 23%$;组成假双字词的笔画数为 2~14 划,平均字频 0.119 40%, $SD=0.140 43%$.实验程序与实验 1 相同.为了便于合并实验 1 和实验 2,实验 2 的记录、分析方法和所选电极点同实验 1.

2.2 结果与分析

2.2.1 行为结果

反应时和正确率的行为结果见表 2.反应时分析结果显示,真假词主效应显著, $F(1, 13)=49.73, p<0.001$,真词的反应时快于假词;字体类型主效应显著, $F(1, 11)=31.53, p<0.001$.真假词和字体类型的交互作用显著, $F(1, 13)=5.41, p<0.05$.简单效应分析发现,无论是真词还是假词,均为宋体的反应时快于行楷体,但真词上更显著(真词: $F(1, 13)=23.19, p<0.001$;假词: $F(1, 13)=8.40, p<0.05$).正确率分析的结果显示,真假词主效应显著, $F(1, 13)=11.17, p<0.01$,真词的正确率高于假词;字体类型差异不显著, $F<1$.真假词和字体类型的交互作用显著, $F(1, 13)=26.42, p<0.001$,简单效应分析发现,真词宋体的正确率高于行楷体, $F(1, 13)=9.65, p<0.01$;而假词却相反, $F(1, 13)=22.16, p<0.001$.

表 2 实验 2(高频词)各种字体、真假类型刺激的反应时和正确率

	字体类型	真假词类型			
		真 词		假 词	
		平均数	标准差	平均数	标准差
反应时/ms	宋体	588	44.50	694	75.87
	行楷体	624	52.33	708	73.16
正确率/%	宋体	98.79	1.89	94.14	2.66
	行楷体	96.71	2.56	96.29	2.16

合并实验 1 和实验 2 的反应时后进行三因素混合方差分析发现, 被试间的频率主效应不显著, $F(1, 24)=3.15$, $p=0.088$. 字体主效应显著, $F(1, 24)=31.92$, $p<0.001$, 真假词主效应显著, $F(1, 24)=62.80$, $p<0.001$, 二者交互作用显著, $F(1, 24)=11.56$, $p<0.01$. 进一步分析发现, 无论是真词还是假词, 宋体均比行楷体反应更快, 但在真词条件下更显著(真词: $F(1, 24)=27.48$, $p<0.001$; 假词: $F(1, 24)=10.66$, $p<0.01$). 正确率的合并分析显示, 字体、频率主效应显著(字体: $F(1, 24)=40.02$, $p<0.001$; 频率: $F(1, 24)=9.67$, $p<0.01$), 二者交互作用显著, $F(1, 24)=41.28$, $p<0.001$. 进一步分析表明, 无论是高频还是低频, 正确率在宋体水平上均高于行楷体水平, 但在低频词上更为显著(低频词: $F(1, 24)=56.70$, $p<0.001$; 高频词: $F(1, 24)=7.78$, $p<0.02$).

2.2.2 脑电结果

脑电结果显示, 在 300~500 ms 的时间窗口, 假词比真词诱发了更大的 N400 波幅, 高频词的行楷体比宋体引发了更大的 N400(平均叠加次数在 55 以上). 对真假词类型、字体类型和电极点(与实验 1 相同)进行重复测量方差分析, 结果发现, 真假词的主效应显著, $F(1, 13)=41.58$, $p<0.001$, 假词比真词的 N400 更大; 字体类型的主效应不显著, $F(1, 13)=2.20$, $p=0.16$, 所有交互作用均不显著.

合并实验 1 和实验 2 的 ERP 后对其进行真假词、字体、频率和同样的电极点 4 因素混合方差分析发现, 真假词和字体主效应显著(真假词: $F(1, 24)=97.00$, $p<0.001$; 字体: $F(1, 24)=11.47$, $p<0.01$), 真假词、字体和频率间的交互作用显著, $F(1, 24)=4.48$, $p<0.05$. 对真假词、字体和频率间的 3 重交互作用进一步分析发现, 仅在真词水平上, 字体和频率的交互作用显著, $F(1, 179)=42.36$, $p<0.001$. 频率主效应等不显著.

2.3 讨 论

实验 2 结果显示, 反应时存在字体效应和真假词效应, 且真假词和字体存在交互作用, 这与实验 1 的反应时结果一致, 但是不存在正确率和 N400 波幅上的字体效应. 说明高频词只在其真假字判断反应时上有字体效应. 可以认为, 高频词的快速语义提取削弱了字体的 N400 效应.

3 讨 论

本研究验证了前人研究中的字体效应^[6], 在中文词汇判断任务中, 被试对宋体刺激的反应比对行楷体更快更准确. 此外, 当靶字的刺激质量由于字体的改变而降低时, 无论是高频词还是低频词, 被试的反应时更长、正确率更低, 对低频词尤其如此. 高、低频词的反应正确率的差异更多体现在行体楷体水平上, 被试对行体楷体低频词的正确率也更低. 尽管如此, 在反应时上, 频率和字体没有交互作用, 这跟前人关于刺激频率和质量的研究结果一致^[11,13]. 然而, 正确率结果却表明字体和频率有交互作用.

更重要的是, 宋体和行楷体引发的 N400 之间的最大差异波出现在大脑头皮中顶叶的位置, 这种头皮分布可以确定波成分为 N400, 验证了前人的研究结果^[6]. 2 实验的 ERP 合并分析进一步表明, 真词字体和

频率有 N400 上的交互作用,说明字体和频率在表意文字识别中可作用于同一加工阶段,即同频率一样,字体也直接影响语义的加工难度.然而,在英文中,刺激字形表面特征的变化虽可改变 N400 的潜伏期,却不像频率那样可以影响 N400 波幅^[14].

此外,与之前以英文单字为材料的某些研究不同,本研究以汉语双字词为实验材料,首次得到的频率和字体即刺激频率和质量之间在 N400 上的交互作用,不仅再次支持了字形结构直接影响语义提取难度的中心思想和中文形一义加工说,而且符合我们的假设,即频率作用于语义加工,且词汇的加工是串级的,因此,刺激质量和频率的加工阶段不可分离.而前人以英文为材料的研究中之所以表现出刺激质量和频率加工阶段的分离,主要是由于介于这 2 个加工阶段的语音中介的阻断作用,而不是由于这 2 个加工本身固有的非串级特性.

4 结 论

本研究通过操纵不同频率下中文双字词的字体类型,发现只有在低频词中,字体类型的变化才引发 N400 波幅的变化.不同字体和不同频率对双字词的 N400 波幅产生一定的影响,二者在真假词判断正确率和 N400 上存在交互作用,研究结果支持交互激活模型,不支持多阶段激活模型.N400 随字形的变化而改变,说明字形在语义通达中起到重要的作用,支持中文形一义加工说.

参考文献:

- [1] KUTAS M, HILLYARD S A. Reading Senseless Sentences: Brain Potentials Reflect Semantic Incongruity [J]. *Science*, 1980(a), 207(4427): 203—205.
- [2] BENTIN S, MCCARTHY G, WOOD C C. Event-Related Potentials, Lexical Decision and Semantic Priming [J]. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1985, 60(4): 343—355.
- [3] 吕彩霞, 毛莉婷, 王权红. 不同类型真假词的 N400 效应 [J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2012, 37(6): 187—192.
- [4] KUTAS M, FEDERMEIER K D. Thirty Years and Counting: Finding Meaning in the N400 Component of the Event-Related Brain Potential (ERP) [J]. *Annual Review of Psychology*, 2011, 62: 621—647.
- [5] RAYNER K, FOORMAN B R, PERFETTI C A, PESETSKY D, SEIDENBERG M S. How Psychological Science Informs the Teaching of Reading [J]. *Psychological Science in the Public Interest*, 2001, 2(2): 31—74.
- [6] LV C, WANG Q. Font Effects of Chinese Characters and Pseudo-Characters on the N400: Evidence for an Orthographic Processing View [J]. *Brain and Cognition*, 2012, 80(1): 96—103.
- [7] MEYER D E, SCHVANEVELD R W, RUDDY M G. *Loci of Contextual Effects on Visual Word Recognition* [C]. London: Academic Press, 1975: 98—118.
- [8] MCCLELLAND J L, RUMELHART D E. An Interactive Activation Model of Context Effects in Letter Perception: I. An Account of Basic Findings [J]. *Psychological Review*, 1981, 88(88): 375—407.
- [9] STERNBERG S. The Discovery of Processing Stages: Extensions of Donders' Method [J]. *Acta Psychologica*, 1969, 30: 276—315.
- [10] BESNER D, MOROZ S, O'MALLEY S. On the Strength of Connections Between Localist Mental Modules as a Source of Frequency-of-Occurrence Effects [J]. *Psychological Science*, 2011, 22(3): 393—398.
- [11] BECKER C A, KILLION T H. Interaction of Visual and Cognitive Effects in Word Recognition [J]. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1977, 3(3): 389.
- [12] BALOTA D A, ASCHENBRENNER A J, YAP M J. Additive Effects of Word Frequency and Stimulus Quality: The Influence of Trial History and Data Transformations [J]. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and*

Cognition, 2013, 39(5): 1563–1571.

- [13] STANNERS R F, JASTRZEMBSKI J E, WESTBROOK A. Frequency and Visual Quality in a Word-Nonword Classification Task [J]. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 1975, 14(3): 259–264.
- [14] KUTAS M, FEDERMEIER K D. N400 [J]. *Scholarpedia*, 2009, 4(10): 7790.

Interaction of Word Font and Frequency on N400 in Chinese Compound Words

ZHANG Shun-mei, ZHAO Gui-yi, WANG Quan-hong

Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: Two experiments were to explore whether semantic processing of Chinese words was sensitive to form processing through investigating N400 font effect and font's joint effects with word frequency. Event-related brain potentials were recorded while undergraduate participants made “word” or “nonword” responses to two-character compound words and pseudo-words during a lexical decision task. The results indicated that, larger negative-going ERPs to stimuli in Xing Kai Ti font compared with more intact Song Ti font in an N400 window. This effect occurred regardless of whether the stimuli were authentic words or pseudo-words, and of low-or high-frequency words, although to a large extent for authentic words and the low frequency condition accordingly. These N400-like font effect and interactive joint effect of font and frequency are interpreted as reflecting the sensitivity of Chinese semantic processing to form processing. In conclusion, without phonologic mediation the form processing and the semantic processing overlap in time possibly because they are cascaded, and the results provide evidence for IAM and form-to-meaning hypothesis but against the multistage models.

Key words: Chinese compound words; font; frequency; N400 effect; the interactive activation model

责任编辑 胡 杨

