

知觉和语义表征关系的ERP研究

张运红, 郭春彦*

首都师范大学心理系, 北京 100048

* 联系人, E-mail: guocy@mail.cnu.edu.cn

2008-08-04 收稿, 2008-10-08 接受

国家自然科学基金(批准号: 30570603, 30870760)、学习与认知北京市重点实验室及北京市属市管高校人才强教计划资助项目

摘要 利用 ERP 技术, 采用图-词延迟匹配的工作记忆任务范式, 探讨知觉和语义表征在名字匹配、类别匹配和不匹配 3 种条件下大脑加工过程的 ERPs 差异。研究发现, 知觉和语义表征 3 种匹配条件出现了 N1, P2, 类似 N400 以及 P300 成分。3 种条件在不同时程和头皮分布上的差异主要表现在类似 N400 和 P300 上。对类似 N400, 知觉和语义表征不匹配最负, 其次是类别匹配, 名字匹配振幅最小, 三者平均振幅差异显著。知觉和语义表征名字匹配条件出现了早期 P300 成分; 对晚期 P300, 在前额区类别匹配更正, 而在后部脑区, 不匹配条件更正。250~450 ms 的差异波比较发现, 名字匹配和不匹配的差异波显著正于类别匹配与不匹配的差异波, 前者主要表现在中央区, 后者主要表现在右侧额区。研究结果从图和词跨形式加工角度说明概念一致和类别相关具有不同机制。知觉和语义表征名字匹配条件中早期 P300 的出现为模板匹配和重复抑制的易化理论提供了支持。

关键词
知觉表征
语义表征
N400
P300
工作记忆

大量研究表明, 语言具有整合作用, 知觉和语义表征的整合就是一种重要体现。目前直接研究知觉和语义表征关系的ERP文献较少。通常都是对这两种表征形式单独进行研究, 其中研究较多的是重复和语义启动效应。启动指由于之前经历的相同或相关刺激而使对刺激的加工速度、偏好或准确性发生变化的现象^[1]。目标刺激与之前经历刺激相同为重复启动; 目标刺激与之前经历刺激相关为语义启动。语义启动在ERP研究中主要反映为N400。Weisbrod等人^[2]的语义启动ERP研究不仅说明N400反映语义距离, 而且发现N400之后存在一个可能是P300的晚正成分重叠, 并猜测这种重叠成分可能是P300家族的一种, 但在其结果中不能解释。Frishkoff^[3]的一项语义启动ERP研究也发现了这种N400/LPC (late positive component)效应。他认为LPC成分的出现可能由于词汇判断任务以及对目标词的相关决定加工导致。这种现象可追溯到早期Bentin, McCarthy和Wood在1985年的研究^[4], 该研究除在400 ms左右发现N400语义启动效应外, 同时报告了视觉呈现的语义启动刺激

之后的目标刺激与一个晚期的正成分相关(670 ms)。其他对精神病人和正常人的对比研究、跨感觉通道的语义启动(包括掩蔽和双语启动)研究中都出现了这种类似波形^[5~8], 但文中没有提出并讨论这种现象。

Hill等人^[9]认为, N400和P300都敏感于语义启动, 但表现语义启动的模式不一致, 他们使用延迟的词汇判断任务在两种SOA条件(150和700 ms)的伪词目标中发现了峰值在750 ms左右的晚期类似P300成分; 而且在短SOA直接相关条件中, 480 ms左右出现了早期类似P300成分。以往对启动的研究主要采用词汇判断任务, 且实验材料主要为单一的词或图, 很少将图和词这两种实验材料结合起来研究。van Schie等人^[10]采用图-词重复和非外显的方法对知觉和语义表征关系进行研究, 结果中也存在这种N400和P300成分, 且对相同位置出现探测刺激条件, 仅知觉和语义表征相关与无关条件诱发了P300差异; 二者相关与无关时诱发的P300没有显著差异, 作者推测这种P300成分可能与物体的工作记忆有关。可以看出, 目前对P300在重复和语义启动中的出现还存在争议和疑虑,

如果改变任务范式,是否可以凸显这种N400和P300成分的关系是本研究关心的问题。而且, van Schie等人没有直接比较知觉和语义表征相同与相关时是否存在差异,其非外显关系判断方法是否真正体现知觉和语义表征不同关系加工的本质尚存疑义。因此,本研究尝试采用图-词重复范式和工作记忆延迟匹配任务,利用具有高时间分辨率的ERP技术考察知觉和语义表征名字匹配、类别匹配和不匹配时的ERPs在不同时间进程和脑地形图上的差异。

以上分析同时说明图-词跨形式启动与图或词的同一形式启动在ERP机制上可能存在类似之处,其在多大程度上类似,目前没有看到直接相关的ERP研究。Vanderwart^[11]在图对词的跨形式启动与词对词的同一形式启动的行为研究中发现,对包含概念重复或语义相关概念的启动-目标对而言,图提供的目标词的启动大小至少和由词本身提供的启动大小相等,表明这两种形式共同进入语义表征的单一系统。同时有ERP文献认为图片匹配和词语匹配在涉及语义记忆和反应组织方面享有共同机制^[7]。有观点认为,对图片的类别判断快于对词语的类别判断的事实引起图片在与语义记忆相连时更为直接^[12,13]。假设图和词跨形式加工与同形式加工共用同一种语义表征系统,那么,本研究还关心图-词概念一致和类别相关的ERP脑机制是否相同。

以往研究对重复和语义启动是否具有相同机制存在争议,为数较少的直接比较这两种启动的研究产生了混乱的结果。Rugg^[14]在一个非掩蔽目标的词汇判断任务中发现两种启动在N400上的类似效应;但在另一项研究中则认为ERP重复启动效应通常在波幅上更大,持续时间上更长,且有时比语义启动表现出不同的头皮地形图^[15]。对重复和语义启动是否具有相同机制主要有两种倾向,一种认为二者具有类似的机制和相同的大脑激活区。Pesciarelli等人^[16]的研究发现,语义掩蔽启动和重复掩蔽启动在时间上、量上以及ERP地形图上没有差异,表现出类似的机制。这与一些说明这两种启动激活大脑相同区域的fMRI数据一致^[17,18]。另一种倾向则认为重复和语义启动效应不仅有量的差异,而且存在质的差异,如Raposo等人^[19]报告了重复和语义启动中fMRI激活模式的具体差异,认为这两种启动具有不同认知过程和神经基础。Turk-Browne等人^[20]对内隐和外显记忆的类似性研究说明,这两种记忆形式倾向于具有相同的编码因素,

可能依赖类似的知觉加工和表征。如果这种观点成立,本研究希望通过工作记忆延迟匹配范式考察知觉和语义表征跨形式概念一致和类别相关在时间进程和神经基础上是否具有差异,以及与重复和语义启动相比,这种差异的具体情况如何。

1 方法

(i) 被试。被试为21名大学生(10男,11女),年龄在17~23岁之间,平均年龄19.67岁,除2名为混合利偏右外,其他均为右利手。被试身体健康,视力或矫正视力正常。实验结束后给予一定报酬。

(ii) 刺激材料。根据14名被试对Snodgrass评定的400幅图片^[21]以及网上搜索的若干幅矢量图片(用Photoshop处理成统一标准)共计800幅图片的熟悉度、可命名性及视觉复杂性进行的1~5级评定结果,选取320张作为实验材料。其中300张为正式实验材料,20张为填充。图片大小为9.6 cm×9.6 cm,视距为80 cm,视角约为6.9°×6.9°。词语视距为80 cm,视角约为4.4°×1.9°。各种条件图片在熟悉度、命名一致性、复杂性和有无生命性等方面进行了匹配。每张图片的熟悉度和命名一致性平均4.85以上。语义词均由图片产生,词长以2个汉字为主,占80%,1个字和3个字各占10%。各种条件匹配。对与图表征物体名字匹配、类别匹配和不匹配的语义词的词频^[22]进行单因素方差分析,没有显著性差异($F(2,267) = 0.083, P > 0.05$)。不匹配条件的图和词在语义上没有明显相关。从实验材料类别上看,主要有动植物、人体部分、日用品、服饰、家具家电、器械、交通工具等。

(iii) 实验程序。被试坐在照明适度的电磁屏蔽室内完成整个实验程序。刺激呈现在显示器屏幕中央,刺激形式有两种,一种是图,即物体的知觉表征,一种是词,即物体的语义表征。要求被试在图出现时看清图片中的物体;随后,当词出现时,判断词和图所指物体存在的相同(名字匹配)、同类(类别匹配)或无关(不匹配)关系,并在反应盒上做三键反应(实验程序见图1)。左手拇指、左手食指和右手拇指分别对应相同、同类和无关判断;反之,右手食指、右手拇指和左手拇指分别对应相同、同类和无关判断,按键在被试间进行平衡。正式实验前,用不同于正式实验的材料让被试进行练习,目的在于熟悉实验程序及按键。每个trial包括图、词两个刺激,均呈现300 ms,中间用“***”隔开,间隔时间(inter-stimulus interval,

ISI)在 1500~1900 ms 内随机; 各 trial 间用注视点“+”隔开, ITI 为 1500~1900 ms. 共 5 个 block, 每个 block 64 个 trial, 前后各 2 个 trial 为填充. 类别匹配和不匹配条件同一物体的不同表征形式之间的插入 trial 在 16 个(即 32 个以上图或词刺激)以上. 要求被试在准确判断的基础上快速按键反应.

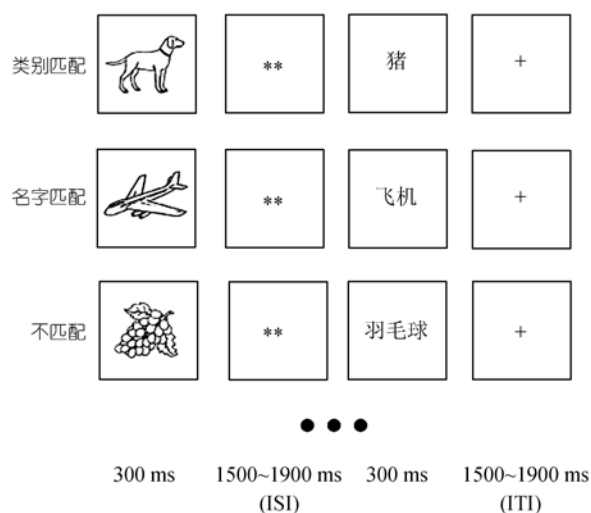


图 1 实验程序

(iv) ERPs 记录. 采用 NeuroScan ERPs 记录与分析系统, 按国际 10~20 系统扩展的 64 导电极帽记录 EEG. 双眼外侧安置电极记录水平眼电(HEOG), 左眼上下安置电极记录垂直眼电(VEOG). 参考电极置于左耳乳突处, 接地点在 FPz 和 Fz 连线的中点, 并以左右乳突的代数平均作为参考电压进行离线修正. 滤波带通为 0.05~40 Hz, A/D 采样频率为 500 Hz. 电极与头皮接触, 头皮电阻均小于 5 k Ω .

(v) ERPs 数据处理与统计分析. 完成连续 EEG 记录后对脑电记录进行离线(off-line)平均处理. 对记录的原始脑电数据进行去眼电, 并用 FIR 数字滤波器消除 50 Hz 干扰, EEG 伪迹去除标准为 $\pm 75 \mu\text{V}$. 本实验只分析词出现的脑电数据, 对反应正确的 EEG 进行叠加. 脑电分析时程(epoch)为词呈现后 1000 ms, 基线为词呈现前 100 ms. 根据前人研究, 选取中线 FPz, Fz, Cz, Pz 和 Oz 共 5 个电极进行分析. 数据统计处理使用 SPSS15.0 软件包, 采用重复测量方差分析方法, 其中 P 值用 Greenhouse Geisser 法校正, 且均选用 Bonferroni 事后比较法.

2 结果

2.1 行为结果

表 1 显示知觉和语义表征关系研究的行为数据. 正确率方面, 不匹配的正确率最高; 其次是名字匹配; 正确率最低的是类别匹配. 对 3 种条件的正确率进行重复测量方差分析, 结果显示差异显著 ($F(2,40) = 78.95, P < 0.001$). 对正确率进行事后检验发现, 各条件间差异显著, 不匹配 > 名字匹配 > 类别匹配 ($P_s < 0.001$), 并具有顺序关系(即不匹配 > 名字匹配, 名字匹配 > 类别匹配, 不匹配 > 类别匹配, 下同).

反应时和正确率结果比较一致, 类别匹配的反应时最长; 名字匹配和不匹配的反应时趋同, 都比类别匹配反应时短. 重复测量方差分析表明, 3 种条件反应时差异显著 ($F(2,40) = 93.61, P < 0.001$). 事后比较显示, 名字匹配和不匹配的反应时显著快于类别匹配 ($P_s < 0.001$).

表 1 知觉和语义表征 3 种关系的反应时和正确率^{a)}

知觉和语义表征关系	正确率(%)	平均反应时/ms
名字匹配	93.14 (0.99)	738 (24)
类别匹配	81.29 (1.47)	942 (26)
不匹配	98.81 (0.26)	738 (18)

a) 括号内为标准误差

2.2 知觉和语义表征 3 种关系判断的总平均 ERPs

图 2 显示, 知觉和语义表征 3 种匹配关系在 ERPs 上均诱发了 N1, P2, 类似 N400 和 P300 成分. 3 种条件在 N1 成分上一致, 刺激出现后 150 ms 左右开始分离. 根据以往研究^[2,3,9]和对每个被试及总平均波形的观察, 选取各成分分析时间窗为 150~250 (P2), 250~350 (类似 N400), 350~450 (早期 P300) 和 450~

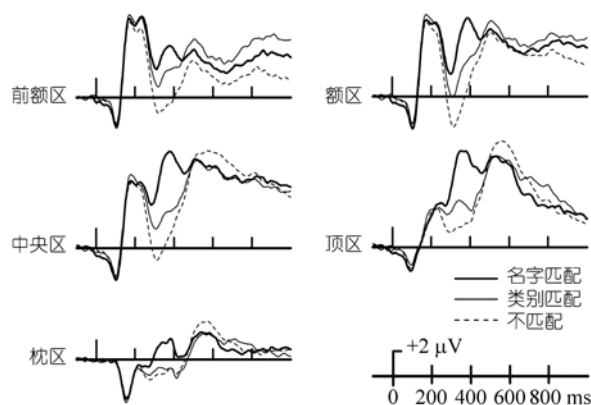


图 2 知觉和语义表征 3 种匹配关系 ERPs

600 ms (晚期 P300)。图 3 脑地形图显示, 从时程上看, 3 种条件表现出从前往后的趋势, 150~250 ms, 主要表现在额区; 从 250 ms 开始向中央区和顶区转移; 350 ms 后, 名字匹配、类别匹配和不匹配相继在中央顶区出现最大电位值。

对 3 种条件 ERPs 进行总的三因素重复测量方差分析, 三因素分别为知觉和语义表征匹配关系(名字匹配、类别匹配和不匹配)、分析时程(150~250, 250~350, 350~450 和 450~600 ms)和电极位置(FPz, Fz, Cz, Pz 和 Oz), 结果发现三因素交互作用显著($F(24,480) = 11.63$, $P < 0.001$)。数据分析显示, 知觉和语义表征匹配关系与电极位置在不同时间段具有不同的差异模式。因此, 可对各时段的 ERP 成分分别进行知觉和语义表征匹配关系×电极位置两因素重复测量方差分析。

(i) 早期 P2 成分: 150~250 ms。150~250 ms 时, 3 种条件主要在额区和中央区有差异(图 2)。对知觉和语义表征匹配关系×电极位置进行两因素重复测量方差分析, 发现知觉和语义表征匹配关系主效应显著($F(2,40) = 4.65$, $P < 0.05$)。事后比较表明, 类别匹配显著正于不匹配($P < 0.05$); 名字匹配比不匹配更正, 差异临界显著($P = 0.083$)。结合脑地形图(图 3)以及早期溯源分析结果(图 4), 可以看出, 3 种条件在 P2 上的差异主要是量的差异, 不存在质的区别。

(ii) N400 成分: 250~350 ms。约从 250 ms 开始, 3 种知觉和语义表征匹配关系出现显著差异。与名字匹配和类别匹配相比, 不匹配出现较大类似 N400 负波, 其次是类别匹配, 名字匹配的 N400 波幅较小(图 2)。对 250~350 ms 的知觉和语义表征匹配关系×电极位置进行两因素重复测量方差分析, 发现显著的交互作用($F(8,160) = 15.05$, $P < 0.001$)、显著的知觉和语义表征匹配关系主效应($F(2,40) = 90.84$, $P < 0.001$)。对交互作用简单效应分析结果表明, 在各电极位置上, 三种条件差异非常显著($P < 0.001$); 事后比较结果一致: 名字匹配>类别匹配>不匹配($P < 0.01$), 并具有顺序关系(下同)。这种差异模式在 Cz 电极上最大。

对 N400 峰值和潜伏期进行知觉和语义表征匹配关系×电极位置两因素重复测量方差分析。分析发现, N400 潜伏期具有显著的知觉和语义表征匹配关系主效应($F(2,40) = 19.41$, $P < 0.001$)。简单效应分析, 知觉和语义表征匹配关系在各电极位置上差异显著($P < 0.05$)。事后比较发现, 名字匹配<类别匹配<不匹配($P < 0.05$)。对 N400 峰值, 发现显著的知觉和语义

表征匹配关系×电极位置交互作用($F(8,160) = 10.13$, $P < 0.001$)、显著的知觉和语义表征匹配关系主效应($F(2,40) = 44.41$, $P < 0.001$)。简单效应分析说明, 3 种条件在各电极位置上差异显著($P < 0.05$)。事后比较发现, 名字匹配>类别匹配>不匹配($P < 0.05$)。

(iii) P300 成分: 350~600 ms。图 2 波形图和图 3 地形图共同显示, 与类别匹配和不匹配相比, 名字匹配条件诱发了早期和晚期 P300 成分; 类别匹配和不匹配仅在 450~600 ms 出现晚期 P300 成分。图 2 显示, 350~450 ms, 3 种条件在各电极位置上表现出“名字匹配>类别匹配>不匹配”趋势。之后, 约从 500 ms 左右出现变化, 前额区, 类别匹配更正; 中央-顶-枕区, 不匹配更正。

350~450 ms 时, 对 3 种条件×电极位置进行两因素重复测量方差分析, 发现显著的交互作用($F(8,160) = 26.01$, $P < 0.001$)、显著的知觉和语义表征匹配关系主效应($F(2,40) = 68.78$, $P < 0.001$)。这种差异模式在 Pz 电极上最大。对交互作用的简单效应分析显示, 在各电极位置上, 知觉和语义表征匹配关系差异显著($P < 0.001$); 事后比较, 名字匹配>类别匹配>不匹配($P < 0.05$)。

450~600ms, 进行知觉和语义表征匹配关系×电极位置两因素重复测量方差分析, 发现显著的交互作用($F(8,160) = 6.41$, $P < 0.001$)。简单效应分析发现, 在 FPz 和 Oz 电极上三种条件差异达到显著水平。事后比较显示, FPz 电极, 类别匹配显著正于不匹配($P < 0.01$); Oz 电极, 不匹配显著正于类别匹配($P < 0.05$)。

2.3 知觉和语义表征概念一致与类别相关 ERPs 及脑地形图

启动往往通过一个被启动刺激(或“目标”)和一个未启动刺激之间的差异来说明^[4]。借鉴启动差异波分析方法, 本研究中, 把名字匹配减去不匹配的差异波看作是图和词的跨形式“概念一致”, 把类别匹配减去不匹配的差异波看作是图和词的跨形式“类别相关”。图 5 差异波显示, 两种差异波的主要差异在 250~450 ms, 前者正于后者。对两种差异波(概念一致和类别相关)×分析时程(250~450, 450~600 ms)×电极位置(FPz, Fz, Cz, Pz 和 Oz)进行三因素重复测量方差分析, 结果发现三因素交互作用显著($F(4,80) = 6.50$, $P < 0.01$); 两种差异波×时间交互作用显著($F(1,20) = 59.00$, $P < 0.001$); 两种差异波的主效应显著($F(1,20) =$

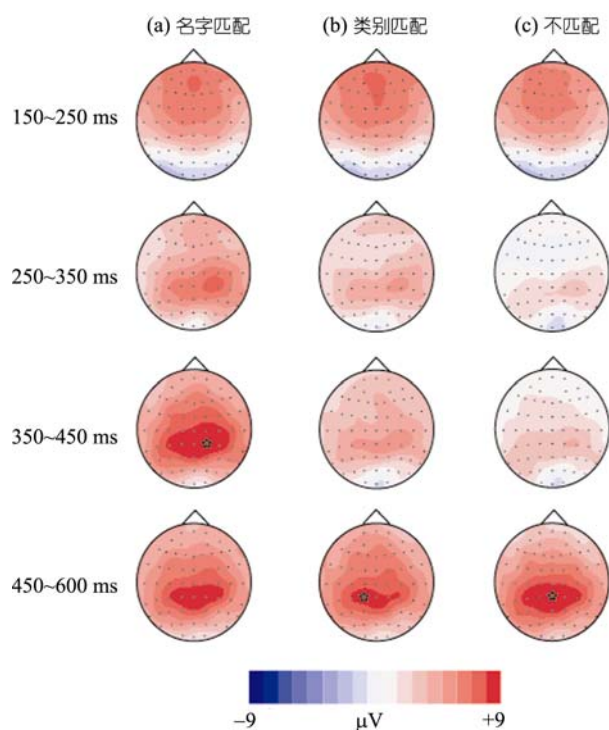


图 3 知觉和语义表征 3 种匹配关系脑地形图

(a) 名字匹配条件地形图; (b) 类别匹配条件地形图; (c) 不匹配条件地形图

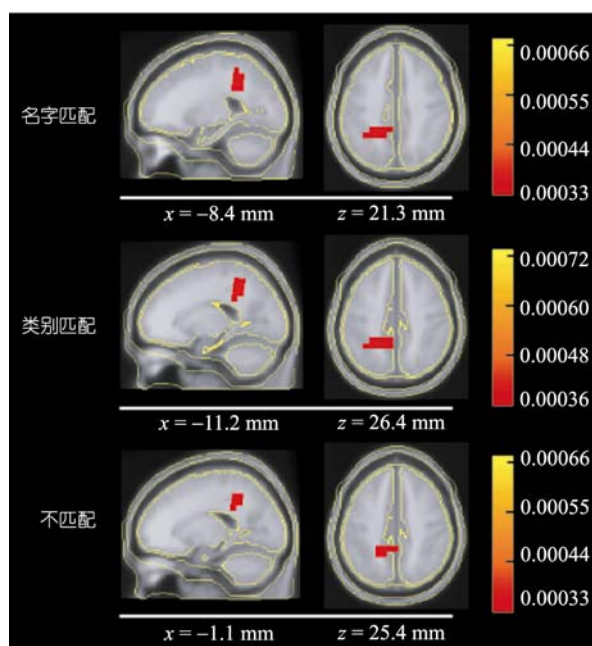


图 4 早期 178 ms 知觉和语义表征 3 种匹配关系电流密度图

21.36 $P < 0.001$), 时间主效应显著($F(1,20) = 106.19$, $P < 0.001$). 对各时段两种差异波 $\times$ 电极位置分别进行

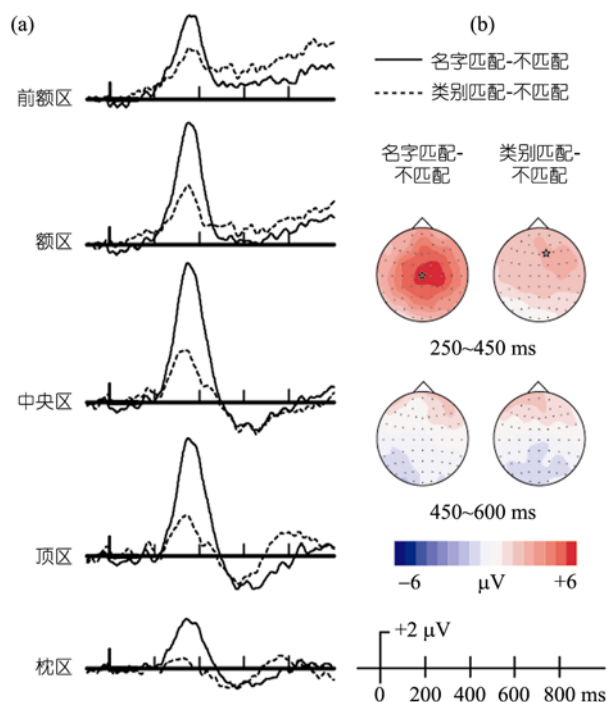


图 5 概念一致与类别相关差异波 ERPs 及脑地形图

(a) 概念一致与类别相关差异波 ERPs; (b) 概念一致与类别相关脑地形图

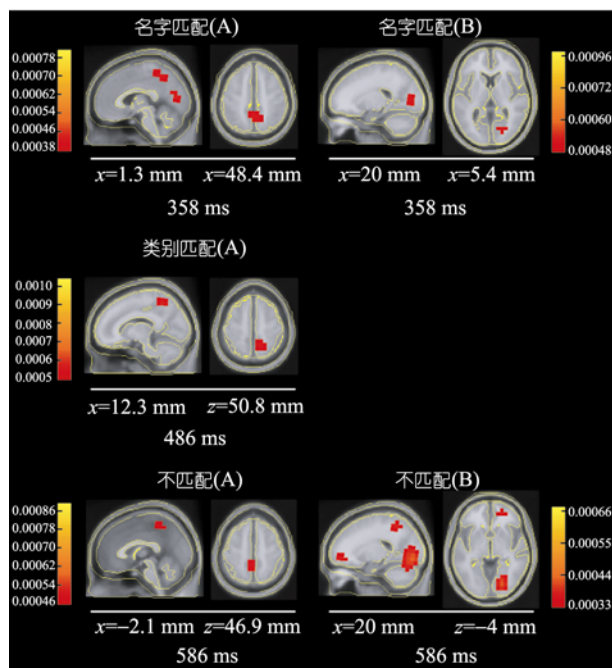


图 6 晚期知觉和语义表征 3 种匹配关系电流密度图

重复测量方差分析, 仅在 250~450 ms 发现显著的交互作用($F(4,80) = 19.82$, $P < 0.001$)、显著的差异波主效应($F(1,20) = 88.32$, $P < 0.001$). 简单效应和事后分析

发现,各电极位置上,概念一致显著正于类别相关($P_s<0.001$)。脑地形图(图 5)显示,250~450 ms,前者主要表现在中央区,后者主要表现在右侧额区。450~600 ms 差异不显著。

2.4 知觉和语义表征 3 种关系 ERPs 溯源分析

将不同分类的总平均 ERPs 导入具有标准 MRI 头像的 Curry6.0 系统,用 LORETA 电流密度法和偶极子拟合法在三壳球模型中重建各任务在不同时段的头皮活动源,根据不同分类的总平均 ERPs 图,取刺激后早晚期各自最大 GFP 的时间数值进行定位分析。结果如图 4 和 6 所示,相应激活区在 MRI 像上确定的 Talairach 坐标见表 2。早期 178 ms 时 3 种条件均出现最大 GFP,激活区都显示在前后扣带回,且主要在扣带前回(图 4)。晚期如图 6 所示,BA7 区的楔前叶在 3 种条件中均有激活;与类别匹配相比,名字匹配和不匹配在 BA18 区的舌回有额外激活;与名字匹配和类别匹配相比,不匹配条件不仅在楔前叶和舌回有激活,在 BA10 区的额上回也有激活。从出现时程来看,名字匹配的 GFP 出现最早,其次是类别匹配,不匹配最晚。

3 讨论

3.1 行为数据结果分析

以往启动研究表明,相对无关条件,对重复和语义相关的反应时更短,正确率更高^[23]。本研究中 3 种条件的反应时和正确率差异显著,与以往启动研究不同,名字匹配或不匹配的反应时比类别匹配短;正确率也显著大于类别匹配。这可能与本研究采用的工作记忆延迟匹配任务有关。3 种知觉和语义表征匹配任务难度不同,其中进行类别匹配占用的注意资

源更多,反应时延长;而名字匹配和不匹配条件则相对容易。同时,表征同一物体汉语的多样性可能导致名字匹配的正确率低于二者不匹配的正确率。

3.2 早期 N1 和 P2 成分分析

早期的 N1 成分通常被认为与注意有关,本研究 3 种图-词匹配关系在 N1 成分上一致, van Schie 等人^[10]认为, N1 成分与尝试寻找图-词匹配关系的加工有关。这对本研究适用。本研究中, 3 种知觉和语义表征关系都出现了 P2 成分, 且对 150~250 ms 的平均波幅而言, 存在知觉和语义表征关系主效应, 类别匹配显著正于不匹配; 名字匹配正于不匹配, 临界显著。脑地形图及溯源分析结果说明, P2 差异主要体现在量上。P2 为一种外源成分, 与注意资源分配有关, 并受被试任务^[24]影响。Pernet 等人^[25]认为, P2 不仅反应知觉过程, 且具有类别效应, 在外显的物体归类任务中可经常观察到 P2 在前区的激活。3 种条件在脑地形图前部的表现及扣带前回的激活与此一致; 而 P2 在扣带后回的激活则符合 P2-dPCC 效应(dorsal posterior cingulated cortex)。O'Hare 等人^[26]认为, 词的 P2 和词的 N300 以及图的 N300 等可被看作是由 dPCC 发出的相同 ERP 成分, 并且以多模式方式在刺激-反应映像中起着重要作用。本研究将此效应进一步扩展到知觉和语义表征关系的刺激反应中。本研究中知觉和语义表征类别匹配加工需要耗费的注意资源最多, 因而最正; 而名字匹配和不匹配条件则主要侧重对概念表征的确认和区分, 需要的注意资源相对较少; 因表征形式不同, 又使确认比区分耗费更多注意资源, 影响名字匹配的 P2 比不匹配更正。一些研究认为, P2(有称 P240 或 P250)反应早期的词再认, 与短时记忆的存储和提取以及语义信息从长时记忆

表 2 不同任务早晚期最大激活区域的 Talairach 坐标

	时间点	脑结构	Brodman 区	x	y	z	残差
名字匹配	178 ms	左扣带前回	24	-2.8	33	-1.2	5.85%
		左扣带后回	23	-8.4	-36.3	21.3	
	358 ms	右楔前叶	7	1.3	-42.0	48.4	9.38%
		右舌回	18	20.0	-71.4	5.4	
类别匹配	178 ms	左扣带前回	32	-7.8	34.2	-2.3	5.61%
	486 ms	左扣带回	31	-11.2	-38.6	26.4	10.9%
		右楔前叶	7	12.3	-47.4	50.8	
不匹配	178 ms	左扣带前回	32	-6.7	33	-0.2	6.01%
		左扣带回	23	-1.1	-34	25.4	
	586 ms	左楔前叶	7	-2.1	-41.2	46.9	8.41%
		右舌回	18	20.0	-75.8	-1.6	
		右额上回	10	20.0	48.9	-4	

到工作记忆的部分提取有关^[25,27~29],反应自上而下的匹配加工过程^[30,31].本研究中早期P2成分可能还与工作记忆语义信息提取有关,对词的语义概念提取可能发生在相关信息加工流早期的刺激分类阶段,这一过程可能是自上而下的匹配加工过程,P2波幅受任务类型及难度调节.

3.3 N400 成分分析

本研究中发现的N400与Kutas等人^[32]最早报道的句尾歧义词N400相比,不够典型,出现时间提前(大约在350 ms左右),这可能与本实验任务不是纯语义任务,而是一种基于语义的辨别反应模式有关.从3种知觉和语义表征关系N400峰值和潜伏期来看,不匹配条件N400峰值最负,潜伏期出现最晚;类别匹配次之;而名字匹配的波幅最小,出现时间最早.罗劲等人^[31]认为“词总是和自身相关”,那么,可以说“一个物体的不同表征形式也是相关的”.根据图和词跨形式与同一形式加工共用同一语义表征系统假设,把名字匹配看作是与物体自身的高度相关,本研究结果符合N400波幅和潜伏期反应语义相关程度的观点,其峰值随语义相关程度增加而减弱,潜伏期随语义相关程度增加而提前.这与以往语义启动研究^[2,3,16]结果一致.有研究认为,P2成分是N400的早期开端^[16,29].根据对P2的分析,本研究中,N400可能更多与语义相关信息匹配加工有关.根据语义匹配模型,启动和目标匹配,这种匹配加工结果使判断任务存在偏向,成功的匹配过程可能引起N400波幅下降^[2].Kuperberg^[34]提出,N400波幅被靠近的语义联结以及语义类别关系调节.Rugg和Doyle^[35]认为N400波幅反应词被整合到之前经历的经验中的难易程度.不管是从知觉表征与语义表征在目标语义上的匹配,还是从语义关联以及目标词整合到启动图的难易程度上,都可以解释N400波幅在三种条件中变化的原因,本实验结果可能体现了它们的共同作用.对N400效应是反映词语水平认知加工过程还是词语后水平加工过程问题,学术界一直有争论.一些学者认为N400反映词语水平加工过程^[36],其波幅反映单个词刺激引起相应的脑细胞兴奋量的多少.另一种观点则认为N400反映词汇后整合加工过程^[36],其波幅反映加工的困难程度,多数学者倾向于后者.而Weisbrod等人^[2]认为,词汇内和词汇加工都可能影响N400,SOA可能是影响N400启动效应加工的主要变量之一.这在一些研究^[3,38]中得到证明,不同持续

时间SOA引发的启动效应存在差异,且SOA在200 ms以下,似乎没有诱发出N400成分.N400反映意识水平的词汇加工,而不是无意识水平的词汇激活,这得到一些研究的支持^[39,40].本研究350 ms左右出现的类似N400显示语义匹配过程是很快进行的,并从事外显的知觉和语义表征关联/匹配角度支持N400成分反映词汇后整合加工过程的观点.结合之前分析,本研究中P2与注意资源分配有关,可能反映自上而下的匹配加工,而N400则可能是继P2之后自下而上的语义整合过程,且N400波幅受语义相关程度影响.

3.4 P300 及与 N400 关系分析

与以往一些启动研究结果一致,本研究ERP数据显示在N400之后,出现了P300成分.但与van Schie等人^[10]的研究结果不同,本研究发现了类别匹配与不匹配条件P300的差异,这与所采用的延迟匹配任务范式有关,可能意味着外显与非外显任务的ERP差异.根据本研究任务范式,P300可能反映对知觉和语义表征关系匹配及监控的工作记忆加工.

值得注意的是,与以往研究不同,本实验中知觉和语义表征名字匹配出现了早期P300成分,而类别匹配和不匹配则没有这样的ERP成分(图2).并且,不论是从N400和P300的潜伏期,还是溯源分析晚期最大GFP出现时程,都表现出名字匹配、类别匹配和不匹配三种条件依次延后.如果将类别匹配看作仅次于名字匹配概念重复的类别重复,则可用模板匹配(template matching)和重复抑制的易化模型解释.Hillyard等人^[41]定义模板作为与新刺激比较的刺激事件的记忆,如果一个即将到来的刺激匹配任一模板,那么就产生P300.匹配得越近,诱发的P300越大越早.名字匹配虽然表征形式不同,但在名字上完全匹配,出现了早期P300成分.易化模型(facilitation model)认为,重复导致对刺激更快的加工,即更短的潜伏期或更短的神经系统激活持续时间,并进一步假设这种更快加工的原因是,初始的刺激呈现之后,神经元之间突触作用增强,并且这种增强在许多加工水平上都能发生,导致信息流动得更快,对重复刺激的识别也更快^[42].

溯源分析表明,名字匹配、类别匹配和不匹配三种条件在BA7区的楔前叶(precuneus)有共同激活.有研究认为楔前叶的激活可能与提取过程中词对的联结有关^[43],楔前叶可能反映提取成功和提取努力^[44].Fletcher等人^[45]研究证实,楔前叶是发生在意识记忆

提取中的视觉表象的重要神经基础。本实验中, 3 种条件在楔前叶的共同激活与工作记忆提取有关, 反映了知觉和语义表征关联加工, 可能以视觉表象形式进行, 其中名字匹配和不匹配可能更多体现提取成功, 而类别匹配则侧重提取努力。溯源分析中, 与类别匹配相比, 名字匹配和不匹配条件在BA18 区有额外激活。BA18 区为初级视皮层区, 有研究认为, 它与视觉项目的确认有关^[46]。据研究, BA18 区还与对事件或客体的加工在提取过程中的再激活有关^[47,48]。本研究中名字匹配和不匹配条件在BA18 区的激活可能反映对知觉表征的概念确认或对此客体的加工在提取过程中的再激活。Zhang 等人^[49]在一项与工作记忆信息提取和评价有关的fMRI研究中发现, 当被试做出正确的否定反应时在右侧BA10 区有增强的激活; 而对正确的肯定反应则没有区域显示显著的更强激活。本研究在BA10 区唯有不匹配条件有激活印证了这一观点, 并进一步说明, 晚期P300 可能反应对关系判断的监控过程, 这就解释了不匹配条件的晚期P300 波幅表现。

3.5 概念一致和类别相关不同机制分析

与以往重复和语义启动研究^[14,16~18]相比, 本研究结果说明, 以不匹配条件为比较基线, 概念一致和类别相关在时间进程和神经基础上具有不同的ERP 机制, 其差异主要体现在 250~450 ms, 概念一致显著正于类别相关, 前者主要表现在中央区; 后者主要表现在右侧额区。Holcomb 等人^[7]通过 3 种掩蔽模式对

重复和语义启动进行研究, 发现掩蔽的重复和语义启动N400 具有不同机制, 总体来说语义启动倾向于比重复启动小。一些未掩蔽和掩蔽的重复启动与语义启动ERP研究也发现了二者具有差异, 如重复启动比语义启动持续更长^[1,50]等。本研究从图和词跨形式角度说明概念一致和类别相关具有不同ERP机制, 这与以往一些研究发现的重复和语义启动ERP机制不同的观点一致, 可能反映了外显和内隐的重复和相关任务在短时记忆提取方面的ERP机制上具有类似性。

4 结论

在以往研究基础上, 本研究显示知觉和语义表征名字匹配、类别匹配和不匹配的 ERPs 在不同时间进程和头皮位置上具有不同特点, 说明 N1, P2, 类似 N400 和早晚期 P300 在工作记忆匹配加工中的作用, 同时从图和词跨形式角度说明名字匹配和类别匹配具有不同神经机制。值得注意的是, 知觉和语义表征名字匹配条件出现了早期 P300 成分, 这为模板匹配和重复抑制理论提供了支持。本实验结果显示图和词跨形式概念一致和类别相关与图或词单一形式重复和语义启动具有类似之处, 这一方面说明图和词的跨形式与同一形式加工可能共用同一语义表征系统, 另一方面显示外显和内隐的重复与相关在脑机制上具有类似性, 将来的研究应进一步应用内隐和外显的任务范式考察这些脑机制之间的关系。

致谢 感谢姜杨老师提出的宝贵意见和帮助。该项研究在首都师范大学学习与认知北京市重点实验室实验室完成, 并获得资助。

参考文献

- 1 Henson R N A. Neuroimaging studies of priming. *Prog Neurobiol*, 2003, 70: 53—81^[DOI]
- 2 Weisbrod M, Kiefer M, Winkler S, et al. Electrophysiological correlates of direct versus indirect semantic priming in normal volunteers. *Cogn Brain Res*, 1999, 8: 289—298^[DOI]
- 3 Frishkoff G A. Hemispheric differences in strong versus weak semantic priming: Evidence from event-related brain potentials. *Brain Lang*, 2007, 100: 23—43^[DOI]
- 4 Bentin S, McCarthy G, Wood C C. Event-related potentials, lexical decision and semantic priming. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1985, 60: 343—355^[DOI]
- 5 Bobes M A, Zhang X L, Ibanez S, et al. Semantic matching of pictures in Schizophrenia: A cross-cultural ERP Study. *Biopsychiatry*, 1996, 40: 189—202
- 6 Hohlfield A, Ullsperger P, Sommer W. How does the incrementality of auditory word perception interplay with episodic and semantic memory. *J Neuroling*, 2008, 21: 279—293, doi: 10.1016/j.jneuroling.2007.06.002^[DOI]
- 7 Holcomb P J, Reder L, Misra M, et al. The effects of prime visibility on ERP measures of masked priming. *Cogn Brain Res*, 2005, 24:

- 155—172^[DOI]
- 8 Alvarez R P, Holcomb P J, Grainger J. Accessing word meaning in two languages: An event-related brain potential study of beginning bilinguals. *Brain Lang*, 2003, 87: 290—304^[DOI]
- 9 Hill H, Ott F, Weisbrod M. SOA-dependent N400 and P300 semantic priming effects using pseudoword primes and a delayed lexical decision. *Int J Psychophysiol*, 2005, 56: 209—221^[DOI]
- 10 van Schie H T, Wijers A A, Kellenbach M L, et al. An event-related potential investigation of the relationship between semantic and perceptual levels of representation. *Brain Lang*, 2003, 86: 300—325^[DOI]
- 11 Vanderwart M. Priming by pictures in lexical decision. *J Verb Learn Verb Behav*, 1984, 23(1): 67—83^[DOI]
- 12 Potter M C, Faulconer B A. Time to understand pictures and words. *Nature*, 1975, 253: 437—438
- 13 Palvio A. *Mental Representations*. New York: Oxford University Press, 1986
- 14 Rugg M D. The effects of semantic priming and word repetition on event-related potentials. *Psychophysiology*, 1985, 22: 642—647^[DOI]
- 15 Rugg M D. Dissociation of semantic priming, word and non-word repetition effects by event-related potentials. *Q J Exp Psychol*, 1987, 39: 123—147
- 16 Pesciarelli F, Kutas M, Dell'Acqua R, et al. Semantic and repetition priming within the attentional blink: An event-related brain potential (ERP) investigation study. *Biol Psychol*, 2007, 76: 21—30^[DOI]
- 17 Copland D A, de Zubizaray G I, McMahon K, et al. Brain activity during automatic semantic priming revealed by event-related functional magnetic resonance imaging. *NeuroImage*, 2003, 20: 302—310^[DOI]
- 18 Kotz S A, Cappa S F, von Cramon D Y, et al. Modulation of the lexical-semantic network by auditory semantic priming: an event-related functional MRI study. *NeuroImage*, 2002, 17: 1761—1772^[DOI]
- 19 Raposo A, Moss H E, Stamatakis E A, et al. Repetition suppression and semantic enhancement: an investigation of the neural correlates of priming. *Neuropsychologia*, 2006, 44: 2284—2295^[DOI]
- 20 Turk-Browne N B, Yi D-J, Chun M M. Linking implicit and explicit memory: Common encoding factors and shared representations. *Neuron*, 2006, 49: 917—927^[DOI]
- 21 Snodgrass J G, Vanderwart M. A standardized set of 260 pictures: Norms for name agreement, image agreement, familiarity and visual complexity. *J Exp Psychol: Hum Learn Mem*, 1980, 6: 174—215^[DOI]
- 22 刘源, 梁南元, 王德进, 等. 现代汉语常用词词频词典(音序部分). 北京: 中国宇航出版社, 1990
- 23 Neely J H. Semantic priming effects in visual word recognition: A selective review of current findings and theories. In: Besner D, Humphreys G W, eds. *Basic Processes in Reading: Visual Word Recognition*. Hillsdale: Erlbaum, 1991. 264—336
- 24 Luck S J, Hillyard S A. Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, 1994, 31: 291—308^[DOI]
- 25 Pernet C, Basan S, Doyon B, et al. Neural timing of visual implicit categorization. *Cogn Brain Res*, 2003, 17: 327—338^[DOI]
- 26 O'Hare A J, Diena J, Waterson L D, et al. Activation of the posterior cingulate by semantic priming: A co-registered ERP/fMRI study. *Brain Res*, 2008, 1189: 97—114^[DOI]
- 27 Chapman R M, McCrary J W, Chapman J A. Short-term memory: The storage component of human brain responses predicts recall. *Science*, 1978, 202: 1211—1214
- 28 Raney G E. Monitoring changes in cognitive load during reading: An event-related brain potential and reaction time analysis. *J Exp Psychol*, 1993, 19: 51—69
- 29 Kim M-S, Kim J-J, Kwon J S. The effect of immediate and delayed word repetition on event-related potential in a continuous recognition task. *Cogn Brain Res*, 2001, 11: 387—396^[DOI]
- 30 Federmeier K D, Mai H, Kutas M. Both sides get the point: Hemispheric sensitivities to sentential constraint. *Mem Cogn*, 2005, 33(5): 871—886
- 31 Evans K M, Federmeier K D. The memory that's right and the memory that's left: Event-related potentials reveal hemispheric asymmetries in the encoding and retention of verbal information. *Neuropsychologia*, 2007, 45: 1777—1790^[DOI]
- 32 Kutas M, Hillyard S A. Reading senseless sentences: Brain potential reflect semantic incongruity. *Science*, 1980, 207: 203—205^[DOI]
- 33 Luo J, Niki K. Does Hippocampus associate discontiguous events? Evidence From Event-Related fMRI. *Hippocampus*, 2005, 15: 141—148^[DOI]
- 34 Kuperberg G R. Neural mechanisms of language comprehension: Challenges to syntax. *Brain Res*, 2007, 1146(18): 23—49^[DOI]
- 35 Osterhout L, Holcomb P J. Event related potentials and language comprehension. In: Rugg M D, Coles M G H, eds. *Electrophysiology of Mind*, Oxford Psychology Series. Oxford: Oxford Univ Press, 1997. 171—215
- 36 Kutas M, Hillyard S A. An electrophysiological probe of incidental semantic association. *J Cogn Neurosci*, 1989, 1(1): 38—49^[DOI]
- 37 Holcomb P J. Semantic priming and stimulus degradation: Implications for the role of the N400 in language processing. *Psychophysiology*, 1993, 30: 47—61
- 38 Van Petten C, Kutas M. Ambiguous words in context: An event-related potential analysis of the time course of meaning activation. *J*

- Mem Lang, 1987, 26: 188—208[DOI]
- 39 Matsumoto A, Iidaka T, Nomura M, et al. Dissociation of conscious and unconscious repetition priming effect on event-related potentials. *Neuropsychologia*, 2005, 43: 1168—1176[DOI]
- 40 Ruz M, Madrid E, Lupiáñez J, et al. High density ERP indices of conscious and unconscious semantic priming. *Cogn Brain Res*, 2003, 17: 719—731[DOI]
- 41 Hillyard S A, Squires K C, Bauer J W, et al. Evoked potential correlates of auditory signal detection. *Science*, 1971, 172: 1357—1360
- 42 Grill-Spector K, Henson R, Martin A. Repetition and the brain: Neural models of stimulus-specific effects. *Trends Cogn Sci*, 2006, 10(1): 14—23[DOI]
- 43 Fletcher P C, Shallice T, Frith C D, et al. Brain activity during memory retrieval. The influence of imagery and semantic cueing. *Brain*, 1996, 119: 1587—1596[DOI]
- 44 Heun R, Freymann K, Erb M, et al. Mild cognitive impairment (MCI) and actual retrieval performance affect cerebral activation in the elderly. *Neurobiol Aging*, 2007, 28: 404—413[DOI]
- 45 Fletcher P C, Frith C D, Baker S C, et al. The mind's eye—precuneus activation in memory-related imagery. *Neuroimage*, 1995, 2: 195—200[DOI]
- 46 Kohler S, Kapur S, Moscovitch M, et al. Dissociation of pathways for object and spatial vision: A PET study in humans. *NeuroReport*, 1995, 6: 1865—1868[DOI]
- 47 Schacter D L, Norman K A, Koutstaal W. The cognitive neuroscience of constructive memory. *Ann Rev Psychol*, 1998, 49: 289—318 [DOI]
- 48 Squire L R. Memory and the hippocampus: A synthesis from findings with rats, monkeys, and humans. *Psychol Rev*, 1992, 99: 195—231[DOI]
- 49 Zhang J X, Leung H-C, Johnson M K. Frontal activations associated with accessing and evaluating information in working memory: An fMRI study. *NeuroImage*, 2003, 20(3): 1531—1539[DOI]
- 50 Bentin S H, Feldman L B. The contribution of morphological and semantic relatedness to repetition priming at short and long lags: Evidence from Hebrew. *Q J Exp Psychol*, 1990, 42: 693—711

《中国科学 C 辑：生命科学》 2008 年 第 38 卷 第 12 期 目次

评述

- 世界重要入侵害虫对中国的威胁 张润志 张亚平 蒋有绪
- 对抗 HIV 药物早期临床实验的思考与认识 李娅杰 赵 明 赵德恒

论文

- 热处理肿瘤细胞抗原负载树突细胞抗小鼠结肠癌效应 应敏刚 郑秋红 刘 胜 龚福生 谢云青
- 使用边扩增边连接技术以两步 PCR 反应制备两个癌症候选基因的重测序 DNA 文库 苏夜阳 林 琳 田 埂 陈 晨 刘 涛 许兴亚 齐新捧 张秀清 杨焕明
- HSV-1 立即早期蛋白 ICP22 与 VP16 共同参与 α 基因转录调控的初步分析 寸 伟 郭 磊 张 莹 刘龙丁 王丽春 李建峰 董承红 王晶晶 李琦涵
- 龙血竭抑制大鼠脊髓背角广动力范围神经元诱发放电的药效物质 郭 敏 陈 素 刘向明
- 心血瘀阻与气阴两虚证心肌缺血大鼠模型的代谢组学表征与辨识 严 蓓 阿基业
- 郝海平 王广基 朱萱萱 查伟斌 刘林生 管恩泽 张 颖 顾胜华 黄 青 郑媛婷
- 绒山羊表达红色荧光及转胰岛素样生长因子 I 基因体细胞核移植胚胎的制备 郭旭东 杨东山 奥旭东 吴 侠 李光鹏 王玲玲 宝明涛 雪 莲 旭日干
- 利用微卫星和线粒体标记分析北京鸭的起源与驯化 曲鲁江 刘 伟 侯卓成 郑江霞 徐桂云 杨 宁
- 基于系统发育分析的 DNA 条形码技术在澄清芍药属牡丹组物种问题中的应用 张金梅 王建秀 夏 涛 周世良
- 扁藻光合甘油脂的 UPLC-Q-TOF-MS 鉴定 李海英 严小军 徐继林 周成旭
- 基于网络特征的药物靶蛋白识别 朱明珠 高 磊 李 霞 刘志成