

## 《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：视觉工作记忆的同类别存储优势

作者：孙彦良，宋佳汝，辛晓雯，丁晓伟，李寿欣

---

### 第一轮

#### 审稿人 1 意见：

研究通过三个实验试图揭示视觉刺激的类别特征对视觉工作记忆容量的影响，通过呈现相同和不同类别的视觉刺激，三个实验的结果一致地揭示了同类别视觉刺激相对于混合类别刺激对视觉工作记忆的行为表现存在促进效应。更进一步，实验 3 的对侧延迟活动（CDA）揭示了同类别加工优势效应可能是由于同类别视觉刺激通过组块降低工作记忆的实际存储负荷导致的。本研究试图通过类别特征探究概念规律影响工作记忆容量的内在机制，对揭示视觉工作记忆存储机制具有比较重要的理论意义。同时，实验设计比较合理，具有较强的关联性。然而，本研究也存在一些不足之处，如对初级特征（如，形状、颜色等）的相似性与高级抽象特征（如，类别、语义等）的相似性对视觉工作记忆的影响机制之间的相通和差异的地方缺乏足够的分析和讨论，没有办法排除简单的形状相似性导致了同类别加工优势效应的可能性。同时在结果的分析 and 讨论中有些片面，忽略了某些可能比较重要的结果的呈现和讨论。总体来说，建议进行进一步修改完善。

**意见 1：**根据本研究的结果，类别特征及姿态相似性特征都能够一定程度上促进工作记忆表现，二者所依据的认知和神经机制是否相同，抽象的概念特征（如，语义、类别）与较低级的视觉特征（如，形状、颜色相似性）对工作记忆表现的促进效应在本质上是否相同，有何不同？建议加强讨论。

**回应：**非常感谢审稿人的宝贵意见。正如审稿人所言，类别特征属于抽象的概念特征，而姿态相似性属于低层次的知觉特征。二者对工作记忆绩效的促进效应既有相似之处又有不同之处。已在讨论部分加强对这一问题的讨论（见 P15）。

**意见 2：**本研究发现，对同类别视觉刺激的工作记忆容量显著高于不同类别，而对同类别的相似姿态图形的记忆表现最好，这些效应可能是类别信息的作用结果，也可能只是形状的相似性构成的格式塔效应促进工作记忆的效果，如何排除本研究发现的同类别加工优势效应是

由于单纯的形状相似性造成的的可能性？

**回应：**感谢审稿人的意见。类别作为一种高层次的概念规律，其在通过视觉刺激表征时必然依赖于某些相似的关键知觉特征。换言之，如果两个客体的知觉特征完全不同，那么这两个客体大都不属于同一类别。在以往探讨客体类别对工作记忆容量影响的研究中，为了排除知觉相似性的影响，研究者往往会让同类别材料在知觉特征方面的差异尽可能的大。在本研究中为了控制知觉相似性对工作记忆容量的影响，我们对知觉的相似性进行了控制，分别探讨了知觉高相似和低相似条件下，类别对工作记忆容量的影响。我们两个行为实验（实验 1 和实验 2）的结果均表明知觉相似性无论高低均存在同类别优势效应，说明同类别优势效应并非单纯由知觉的相似性造成。为了进一步说明同类别效应不是由知觉相似性引起，我们比较了低相似同类别工作记忆容量与高相似不同类别工作记忆容量的差异，两个行为实验的结果均表明同类别优势效应在上述情况下仍然存在[实验 1：同类别低相似姿态条件下的  $K$  值 ( $M = 2.05$ ) 显著大于不同类别高相似姿态条件下的  $K$  值 ( $M = 1.58$ ),  $t(19) = 3.82$ ,  $p = .001$ , Cohen's  $d = 0.85$ ; 实验 2：同类别低相似姿态条件下的  $K$  值 ( $M = 2.00$ ) 显著大于不同类别高相似姿态条件下的  $K$  值 ( $M = 1.50$ ),  $t(19) = 6.17$ ,  $p < .001$ , Cohen's  $d = 1.38$ ]。上述结果进一步排除了同类别加工优势效应是单纯由形状相似性造成的可能性(见 P8 和 P10)。

**意见 3：**前人研究中所发现的同类别优势效应或混合类别优势效应的不一致结果是否取决于关注的是对整体还是细节的记忆效果，如果关注整体，更可能是同类别工作记忆表现>不同类别（如，本研究的研究结果）；如果关注细节记忆，更可能是不同类别>同类别（如，对面孔，或更加复杂信息的记忆）。对细节的记忆也是工作记忆的一个重要方面，建议作者综合讨论，可能本研究的研究发现有局限的适用范围：如，不需要记忆细节的项目情况，而在需要记忆细节信息时，可能更多的是神经资源理论。

**回应：**我们在讨论部分添加上述可能性的讨论（见 P15）。

**意见 4：**本文的所有显著交互效应的事后检验，均未报告多重比较校正方法和结果。同时，所有交互作用的事后检验均未报告导致交互作用产生的主要驱动因素，建议完善。

**回应：**当前研究为 2（记忆负荷：2, 4） $\times$  2（类别：相同, 不同） $\times$  2（姿态：相似, 不相似）的被试内设计。三重交互作用不显著，需要对显著的两重交互作用做简单效应分析（需合并另外一个因素），而我们每个因素都是 2 个水平，简单效应分析只需做配对  $t$  检验即可（因为在这种情况下  $F = t^2$ ），不需要做多重比较，因此  $p$  值不需要矫正。

**意见 5:** 实验 1~3 的行为结果的记忆负荷\*类别的交互效应事后检验, 均未分析导致交互效应产生的驱动因素(即, 相同类别情况下负荷 2 到负荷 4 容量的增长显著高于不同类别情况下的增长), 并缺乏对同类别加工优势在高负荷情况下显著高于低负荷情况的分析和讨论。为什么同类别优势效应会受到记忆负荷影响?

**回应:** 我们在结果部分均增加了导致交互效应产生的驱动因素分析(见 P7、P10 和 P13)。

**意见 6:** 同问题 5, 缺乏对高负荷情况下相似姿态相对于不似姿态对工作记忆的促进作用强于低负荷情况的分析讨论。为什么会产生姿态相似性对视觉工作记忆容量的影响, 该影响为何受到记忆负荷调节, 姿态相似性的促进效应与同类别优势效应本质上有什么区别和联系?

**回应:** 我们在讨论部分添加了对这一问题的讨论(见 P17)。

**意见 7:** 在对记忆负荷对 CDA 的幅值无调控作用的结果的讨论中, 作者认为可能是本研究视觉刺激较复杂, CDA 幅值已经到达容量限制导致的。并提出“实验 1 和实验 2 中的负载效应主要是由于在同类别记忆负载为 4 时视觉工作记忆容量比同类别(或不同类别)负载为 2 时更大引起的。”(P15), 此处论断缺乏实证证据支持, 文中并未报告不同类别情况下的记忆负荷简单效应结果。

**回应:** 我们分别计算了相同类别和不同类别条件下的记忆负荷效应量, 然后对两种条件下的效应量进行了配对 t 检验, 并把统计检验结果在文稿中做了补充(见 P16)。

**意见 8:** P4“例如, 对相似颜色的记忆成绩优于不相似颜色(Lin & Luck, 2009), 记忆由相同身份面孔产生的平均面孔比由不同身份面孔产生的平均面孔更精确(Jiang, Lee, Asaad, & Remington, 2016)。”这些例子都是相似性的加工优势效应, 不是同类别的优势效应吧? 相似颜色或不相似颜色都是颜色类别; 第二个例子中的面孔同理。请举出更加贴切的同类加工优势的例子。

**回应:** 在 Lin 和 Luck (2009) 的研究中, 相似颜色是红色这一类别中的不同颜色, 不相似颜色是指不同类别的颜色, 如红绿蓝。尽管研究使用的刺激材料均属于颜色这一特征, 但记忆项目分别属于不同的颜色类别。同类加工包括知觉层面和概念层面, 尽管该研究认为优势效应来自知觉相似性, 但也不能排除优势效应来自类别相同的可能性。之于面孔(Jiang, Lee, Asaad, & Remington, 2016), 这里的“类别概念”为身份, 尽管同样存在知觉相似的备择解释, 但也不能说“身份”优势完全由知觉相似性造成。而据我们所知, 除了上述研究, 尚未有前人

研究提供同类别加工优势的明确证据,这也是我们开展当前研究的原因所在。为了避免误解,我们对上述例子的表述做了必要的修改,并用蓝色字体标注(见 P2)。

**意见 9: P5 图 1, 有没有相似-不相似的量化指标**

**回应:** 我们对材料相似性进行了评定, 评定结果已经补充到文稿中(见 P5) 我们选取了 30 名学生(22 名女性, 年龄 19-27 岁, 平均年龄 22 岁)对动物剪影图片进行了相似性评定, 5 点计分(1 为十分不相似, 5 为十分相似), 结果表明相同类别的高相似图片得分( $M = 4.21$ ) 高于低相似图片( $M = 2.13$ ),  $t(29) = 14$ ,  $p < .001$ , Cohen's  $d = 2.56$ ; 不同类别的高相似图片得分( $M = 3.79$ ) 同样高于低相似图片( $M = 1.82$ ),  $t(29) = 10.7$ ,  $p < .001$ , Cohen's  $d = 1.95$ 。

.....

**审稿人 2 意见:**

**意见 1:** 没有阐明为什么自变量中包含相似性。尽管稿件里有说明“前人发现的混合类别效应或者同类别优势效应可能是由某些底层知觉属性而非客体的类别关系所致。因此, 在当前研究中采用没有详细信息的动物剪影作为记忆材料。此外, 该研究中对相同类别和不同类别的动物剪影的姿态相似性亦进行了控制, 以减少或消除相似的知觉特征的可能影响, ”但稿件里没有在实验预期里说明相似性的可能影响。 此外, 有关相似性的两个条件, 相似 vs. 不相似, 感觉命名欠妥。相似不应该是全或无的, 只有程度上的差异 最后, 稿件里对相似的定义是: 头的朝向相同和脚踩地。感觉不够充分。相似程度应该是一个主观的评定。如果有主观评分的数据, 应该更好。另外, 根据原来的定义, 这个是“相似性”还是“朝向”?

**回应:** 非常感谢审稿人的宝贵意见。首先, 我们在引言中补充阐述了自变量中包含相似性的原因, 以及相似性可能的影响, 并用蓝色标记。其次, 确如审稿专家所言, 相似不应该是全或无的, 只有程度上的差异, 因此, 我们将“相似”和“不相似”改为“高相似”和“低相似”。最后, 在相似性定义方面, 我们对高相似的定义为“头的朝向相同和脚踩地”。因此, 朝向仅为影响相似性的一个因素而不是全部。此外, 我们对材料相似性进行了评定, 结果表明相同类别的高相似图片得分( $M = 4.21$ ) 高于低相似图片( $M = 2.13$ ),  $t(29) = 14$ ,  $p < .001$ , Cohen's  $d = 2.56$ ; 不同类别的高相似图片得分( $M = 3.79$ ) 同样高于低相似图片( $M = 1.82$ ),  $t(29) = 10.7$ ,  $p < .001$ , Cohen's  $d = 1.95$ 。

**意见 2:** 实验 1 和实验 2 实验条件的差异, 同时和序列呈现的差异说明似乎不够充分 作者认为实验 1 结果“存在一种备择解释: 同类别优势是由于在不同类条件下注意在同时呈现的

不同类别的识记项上分配不均导致的，而非类别信息。”不太明白这个备择假设是怎么来的。比如，如果 set size 是 4，不管同类还是不同类，有 4 个项目，假设注意总资源是 1，并假设注意资源的分配与记忆绩效成正比，那么无论注意在 4 个项目上怎么分配，平均记忆绩效都是一样的。（例如，注意资源平均分配到 4 个项目上 0.25, 0.25, 0.25, 0.25 与只注意其中某个项目 1, 0, 0, 0 的平均都是 1/4）如果注意在同时呈现的不同类别的识记项上分配不均，那么不同类别的记忆绩效应该有所不同。而且，同类别条件下就能保证注意在识记项上的分配是均匀的吗？实际上，如果假设注意资源在记忆项上分配多少与记忆绩效成正比，那么对于平均记忆绩效而言，是不是这个注意分配完全没有什么影响呢？

**回应：**确如审稿专家所言，实验 2 导入时对同时和序列呈现的差异说明不够充分。我们对导入实验 2 的逻辑进行了修改（见 P8）。

**意见 3：**在讨论中：“负载对三个实验的行为结果均有影响，但在 CDA 结果中该影响消失。这种差异可能是由于当使用动物剪影等复杂客体作为记忆项时，视觉工作记忆容量会降低。”但前言里有“然而，与简单刺激相比，真实客体尽管更复杂，但视觉工作记忆对多真实客体的存储反而更多 (Brady et al., 2016)。”这两种说法似乎是矛盾的。

**回应：**前言中引用的 Brady 等人 (2016) 的研究采用有详细信息的真实客体，而在当前研究中尽管动物属于真实客体，但采用剪影使其失去了细节信息，因此我们的结果表明这种刺激更应该被归类为一种复杂客体。我们修改了前言中的措辞，并在讨论中对此差异进行了补充说明（见 P1 和 P17）。

**意见 4：**“上述图片选自谷歌图片”。网络图片并不等同于自动获得授权。除非是公开的图片库。这个问题编辑部可能需要考虑一下。至少正式发表的时候，论文图例的图片都是有授权的。

**回应：**我们从开放版权的网站 Pixabay (<https://pixabay.com/>) 下载了与论文图例中图片相似的图片，重新制作了论文中的展示图例，避免了图片可能的版权问题，这一情况也在文稿中进行了说明。

.....

**审稿人 3 意见：**

**意见 1：**本研究考察了项目类别关系对工作记忆绩效的影响，该选题追踪国际前沿科学领域，

具有一定的科学理论意义。但本文作者对该课题的以往研究（Cohen et al., 2014; Jiang et al., 2016）的理解不够准确，导致论文观点错误。具体表现为，以往研究（Cohen et al., 2014; Jiang et al., 2016）都是以记忆正确率为主要因变量，探讨的是项目类别关系对工作记忆成绩的影响，这种记忆成绩更多反映的是对项目信息的记忆表征准确性，而不是反映了工作记忆容量的大小（事实上，工作记忆容量越大，记忆表征精确度反而会越低）。但作者在本文却将论文观点表述为“项目类别关系对工作记忆容量的影响”，并采用 Cowan's K 作为实验因变量，显然是与以往研究不兼容的。建议作者以记忆正确率为因变量对实验数据重新进行分析。

**回应：**感谢审稿人的意见。确如审稿专家所言，Cohen 等人(2014)和 Jiang 等人(2016)采取了正确率为因变量，探讨项目类别关系对工作记忆的影响。二位研究者得到结论均为：在视觉工作记忆中存在混合类别优势。然而，首先，需要指出的是，正确率表示的不是记忆表征的精度。工作记忆表征精度是指工作记忆表征的精确性，表征精度的提高需要投入更多的工作记忆资源 (Bays & Husain, 2008)。工作记忆精度的研究通常采用连续变化任务 (Wilken & Ma, 2004)，在这种范式的记忆探测任务中，被试需要调节色环，直至与记忆项颜色相同（见图 1）。通过构建两参数的混合模型，以 von-Mises 分布的标准差来反映记忆精度 (Zhang & Luck, 2008)。其次，在以往对视觉工作记忆容量的研究中，有研究者以正确率为因变量，结果发现，当记忆项目的数量从一个增加到三个时，正确率均接近天花板，随着记忆项目从四个增加至十二个，记忆探测任务的正确率降低 (Luck & Vogel, 1997)。后来有研究者在正确率的基础上开发了对工作记忆容量估算的算法：Cowan's  $K = (H+CR-1) \times N$  (Cowan, 2001)。其中 H (Hit rate) 是当发生变化时被试判断“是”的概率，CR (Correct rejection) 是当没有发生变化时被试正确拒绝的概率，N (Set size) 是记忆负荷。正确率 =  $(H+CR) / 2$ ，推导得到  $K = (2 \times \text{正确率} - 1) \times N$ 。K 与正确率的关系是简单的线性关系，不影响统计分析结果。因此，当前研究采取 Cowan's K 作为工作记忆容量的指标与以往采用正确率的研究不冲突。



图 1 连续变化任务示例(Zhang & Luck, 2008)

此外，关于审稿专家指出的“事实上，工作记忆容量越大，记忆表征精确度反而会越低”这一观点仍是一个值得探讨的问题。一方面，工作记忆容量存在多方面的影响因素，例如流

体智力、认知风格等，个体的工作记忆容量本身就存在不同，容量大的个体不一定表征精度低。另一方面，工作记忆表征的精度目前还存在争议。工作记忆的插槽模型认为视觉工作记忆内只能存储独立的有限数量的客体，在插槽允许的范围内，工作记忆的表征精度不变 (Luck & Vogel, 1997)；而工作记忆的连续资源模型认为当记忆项目数量增多时，每个客体分配的资源数量下降，记忆精度下降 (Wilken, & Ma, 2004)。

最后，我们以记忆正确率为因变量对实验数据重新进行了分析。以实验一为例，对 K 进行三因素重复测量方差分析发现，记忆负荷主效应显著， $F(1, 19) = 79.34, p < .001, \eta_p^2 = 0.81$ ，类别主效应显著， $F(1, 19) = 47.65, p < .001, \eta_p^2 = .72$ ，姿态主效应不显著， $F(1, 19) = 2.73, p = .115, \eta_p^2 = .13$ ，记忆负荷和类别的交互作用显著  $F(1, 19) = 34.94, p < .001, \eta_p^2 = .65$ ，记忆负荷和姿态的交互作用显著  $F(1, 19) = 9.57, p = .006, \eta_p^2 = .34$ ，类别和姿态的交互作用显著  $F(1, 19) = 14.51, p = .001, \eta_p^2 = .43$ ，三因素交互作用不显著  $F(1, 19) = 1.19, p = .289, \eta_p^2 = .06$ 。对正确率进行三因素重复测量方差分析发现，记忆负荷主效应显著， $F(1, 19) = 73.74, p < .001, \eta_p^2 = .80$ ，类别主效应显著， $F(1, 19) = 45.52, p < .001, \eta_p^2 = .71$ ，姿态主效应不显著， $F(1, 19) = 0.40, p = .53, \eta_p^2 = .02$ ，记忆负荷和类别的交互作用显著  $F(1, 19) = 21.52, p < .001, \eta_p^2 = .53$ ，记忆负荷和姿态的交互作用显著  $F(1, 19) = 11.07, p = .004, \eta_p^2 = .37$ ，类别和姿态的交互作用显著  $F(1, 19) = 20.91, p < .001, \eta_p^2 = .52$ ，三因素交互作用不显著  $F(1, 19) = .001, p = .97, \eta_p^2 = .001$ 。由以上统计结果可知，以正确率和 K 进行统计分析的结果是一致的，因此，我们采用记忆容量 K 作为因变量指标是可行的。

**意见 2：**即使类别关系对工作记忆容量的影响可以作为一个研究课题，在本研究中作者对实验结果的解释也并不准确。作者认为同类项目更容易被“组块化”从而提高了工作记忆容量，而组块化过程又会“压缩”项目信息，从而导致 CDA 振幅下降。上述解释主观性太强，并且和以往有关 CDA 的研究结果不一致，以往研究表明 CDA 振幅应与 Cowan's K 成正比，CDA 是反映工作记忆整体容量的大小，而不是反映单个组块内的信息量多少。

**回应：**CDA 是在视觉工作记忆任务保持阶段，目标视野的对侧脑区会出现比同侧脑区更大的负波，可以反映视觉工作记忆容量 (Vogel & Machizawa, 2004)。以往确实有研究发现随着记忆项目数量增加，CDA 增加 (Luria & Vogel, 2011)，但在他们的研究中，采用的实验材料是形状和颜色的组合，每个项目单独存储。然而，有研究者发现相似的客体能够整合成一个整体进行编码，进而促进记忆表征 (Brady & Tenenbaum, 2013)。当记忆项目数量相同时，高相似客体的 CDA 波幅低于低相似客体，这说明相似客体可以组织为组块进行表征，增大工

作记忆容量 (Zhang, Li, Wang, & Che, 2016)。此外, 当记忆项目数量相同时, 复杂客体的 CDA 波幅高于简单客体 (Luria, Sessa, Gotler, Jolicoeur, & Dell' Acqua, 2010)。因此, CDA 反映的不仅仅是工作记忆中存储信息的数量, 还反映工作记忆中存储信息的复杂程度, 并且 CDA 会受到知觉组织方式的影响, 如相似性。具体表现为在存在“组块”的情况下, CDA 的振幅会降低, 并且与 Cowan's K 也不一定成正比。更为直观的例子如下图 2。如果单纯让被试识记图 2 左边 12 个字母, 被试不太可能全部记住, 而如果被试对这 12 个字母加以“组织”, 形成以单词或者句子为单位的组块, 那么被试同时记住由相同的 12 个字母组成的四个单词或者干脆一个句子“HOW OLD ARE YOU”是不难的。如果分别记录识记图 2 左右两边 12 字母时的 CDA, 那么两侧 CDA 和通过正确率计算得到的 Cowan's K 很可能是不成正比的, 甚至左边的 CDA 还有可能比右边的高。总之, 鉴于我们的行为结果表明同类别信息可以增大工作记忆存储信息的总量, 而脑电结果表明相同类别下 CDA 波幅小于不同类别, 因此, 我们的推测, 同类项目可以通过“组块”的方式压缩信息, 从而扩大了工作记忆的总体容量, 这是基于实验数据的合理推测。

H	O	A	H	O	W
Y	L	O	O	L	D
R	O	W	A	R	E
D	E	U	Y	O	U

图 2 工作记忆中组织示例

### 【参考文献】

- Bays, P. M., & Husain, M. (2008). Dynamic shifts of limited working memory resources in human vision. *Science*, 321(5890), 851 – 854.
- Brady, T. F., & Tenenbaum, J. B. (2013). A probabilistic model of visual working memory: Incorporating higher order regularities into working memory capacity estimates. *Psychological Review*, 120(1), 85 – 109.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(1), 87–114.
- Cohen, M. A., Konkle, T., Rhee, J. Y., Nakayama, K., & Alvarez, G. A. (2014). Processing multiple visual objects is limited by overlap in neural channels. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(24), 8955–8960.
- Jiang, Y. V., Lee, H. J., Asaad, A., & Remington, R. (2016). Similarity effects in visual working memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(2), 476–482
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279 – 281.
- Luria, R., Sessa, P., Gotler, A., Jolicoeur, P., & Dell'Acqua, R. (2010). Visual short-term memory capacity for simple and complex objects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(3), 496 – 512.
- Luria, R., & Vogel, E. K. (2011). Shape and color conjunction stimuli are represented as bound objects in visual working memory. *Neuropsychologia*, 49(6), 1632 – 1639.
- Wilken, P., & Ma, W. J. (2004). A detection theory account of change detection. *Journal of Vision*, 4(12), 1120 – 1125.
- Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*,



## 第二轮

**审稿人 1 意见:** 文章经过修改后已经得到很大程度上的完善, 符合发表标准, 建议同意接收。

**回应:** 感谢审稿专家的肯定!

**审稿人 2 意见:**

**意见 1:** VWM 容量基于 Cowan's K (Cowan, 2001) 计算,  $K = (H+FA) \times N$  公式错了, 应该是  $(H-FA) * N$ 。这是本研究最重要的公式。这个低级错误会让人怀疑稿件中所有 K 的数据的计算是否正确。尽管这有可能是作者应另一审稿人的要求修改公式时的笔误。其实原来的公式是对的, 审稿人的建议是原来公式的另一个更常见的变式, 两者是完全等同的。

**回应:** 您指出的上述问题均已在文中修改 (见 P6)。

**意见 2:** 为获得中等程度的效应量 (Cohen's  $d = .70$ ) 首先  $d$  应该斜体。其次, 我好奇为啥选择 .70 的  $d$ 。一般中等程度的  $d$  习惯不是都选 .5 吗? 这个问题可以不回答。

**回应:** 我们已经将  $d$  的格式修改为斜体。对于预期效应量 Cohen's  $d$  值, 基于以往相关的两个行为研究 (Jiang, Lee, Asaad, & Remington, 2016; Jiang, Remington et al., 2016), 前一项研究两个实验的效应量 Cohen's  $d$  分别为 0.96 和 1.13, 均大于 0.8 大效应量标准, 后一项研究效应量为 0.56, 大于 0.14 大效应量标准, 因此我们将本研究预期效应量修改为大效应量 Cohen's  $d = 0.8$ , 在  $\alpha$  水平设置为 0.05, 统计功效为 85% 时, 计算出的样本量约为 17 个被试, 本研究招募的 20 名被试能够确保足够的统计检验力 (见 P5)。

### 【参考文献】

Jiang, Y. V., Lee, H. J., Asaad, A., & Remington, R. (2016). Similarity effects in visual working memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 23(2), 476–482. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0905-5>

Jiang, Y. V., Remington, R. W., Asaad, A., Lee, H. J., & Mikkalson, T. C. (2016). Remembering faces and scenes: The mixed-category advantage in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 42(9), 1399–1411. <https://doi.org/10.1037/xhp0000228>

---

### 第三轮

**主编意见：**图 7 的脑电基线 200 毫秒内波动很大，接近于 1 $\mu$ V，是否影响后面 CDA 差异显著性分析？

**回应：**非常感谢主编的意见。正如 Steven J. Luck 在 *An Introduction to the Event-Related Potential Technique (Second Edition)* 一书中所言 (p255-256)，刺激前的基线活动可以告诉我们一些重要的信息。首先，它会告诉我们平均后数据中还有多少噪声。具体来说，如果刺激前基线的电压波动与刺激后的实验效应一样大，我们应该对这些效应是否真实(即使它们在统计上显著，每 20 次中就会有 1 次虚假效应)持怀疑态度。这一点印证了主编所提问题的合理性。第二，基线会告诉我们波形是否被前一个试次的重叠活动或当前试次中刺激呈现之前的预备活动影响。这样的影响并不总是有问题的，但值得我们的关注。第三，如果条件之间的差异开始于刺激呈现前或之后不久，它们可能是某种伪迹。就主编关切的第一点，我们认为我们在 CDA 上发现的显著性差异并不是由随机噪音过大引起的偶然小概率显著。理由如下：

首先，稿件正文图 7 的波形图是一种对侧减同侧的差异波。我们认为差异波基线处的波形起伏是由中央箭头线索诱发的注意定向引起。正如 Miller, Price, LaLonde 和 Keyes (1989) 采用中央箭头线索提示即将呈现的视觉刺激所在的半视野，并记录由箭头诱发的 ERPs，在后部电极发现了两个成分：早期注意定向负波 (early directing attention negativity, EDAN) 和晚期注意定向正波 (late directing attention positivity, LDAP; see also Hopf & Mangun, 2000; Nobre, Sebestyen, & Miniussi, 2000; Seiss, Kiss, & Eimer, 2009; Yamaguchi, Tsuchiya, & Kobayashi, 1994; 如图 3)。考虑到在我们的实验范式中，300-400 ms 随机间隔前呈现了一个 200 ms 的中央箭头线索 (见稿件正文图 5)，所以正文图 7 基线处先负后正的差异波应该就是由 EDAN 和 LDAP 引起的而非随机噪声。因为在每个试次的相同类别和不同类别条件下，基线处均会出现这两种注意定向成分，且基线与分析时段 (负荷 2 时：900-1500 ms; 负荷 4 时：1400-2000 ms) 之间存在大段几乎重合区域，所以我们在分析时段发现的类别 CDA 效应不可能由这两种注意定向成分诱发的波幅起伏引起。

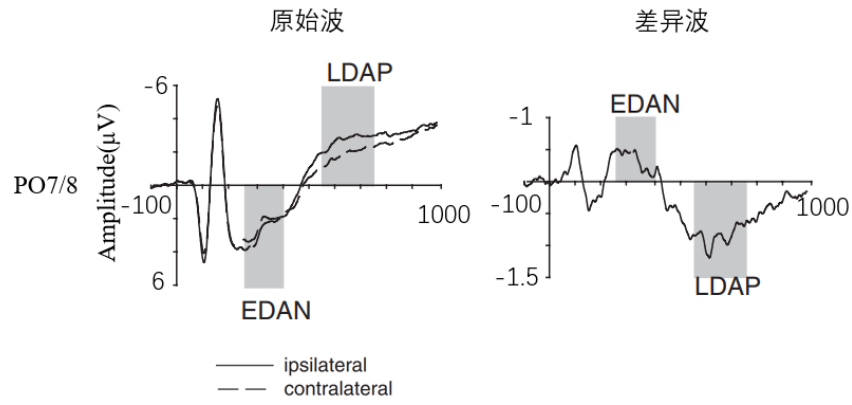


图 3 EDAN 和 LDAP 示例 (修改自 Seiss, Kiss, & Eimer, 2009)

第二, 基线处类似的差异波起伏也在其它采用相同范式的 CDA 研究中出现过 (Allon, Balaban, & Luria, 2014; Gao, Yin, Xu, Shui, & Shen, 2011; 见图 4 和图 5)。

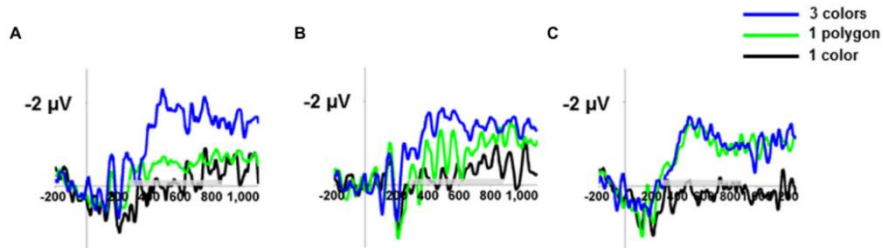


图 4 CDA 波幅 (摘自 Allon, Balaban, & Luria, 2014)

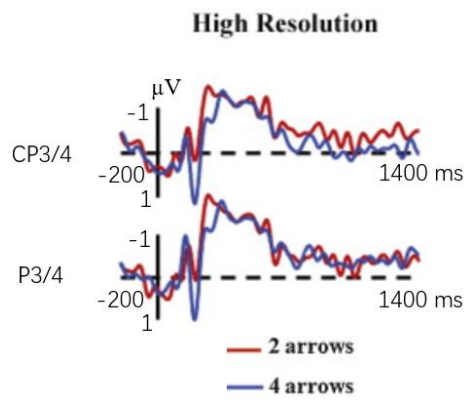


图 5 CDA 波幅 (摘自 Gao, Yin, Xu, Shui, & Shen, 2011)

第三, 我们将基线分别延长至-1000 ms 和 -500 ms, 然后重新统计分析时段中 CDA 的波幅, 发现效应模式并没有因为基线时长的变化而改变 (见 6 和图 7)。

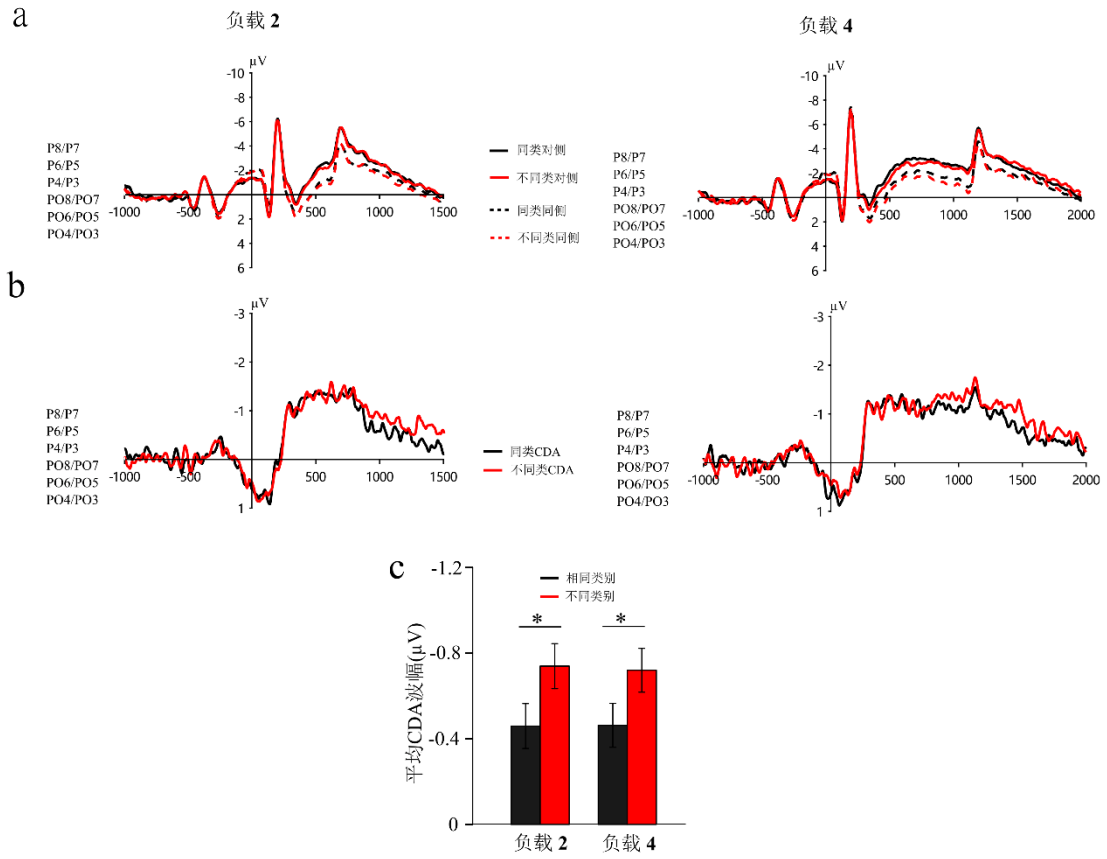


图 6 基线起点为识记项呈现前-1000 ms: 记忆负荷为 2 和 4 时大脑顶叶(P8/P7、P6/P5、P4/P3)和顶枕(PO8/PO7、PO6/PO5、PO4/PO3)区域对侧同侧波形 (a) 和对侧减同侧 CDA 波形 (b)。c 图为平均的对侧延迟活动 (CDA) 波幅。\*  $p < .05$ 。

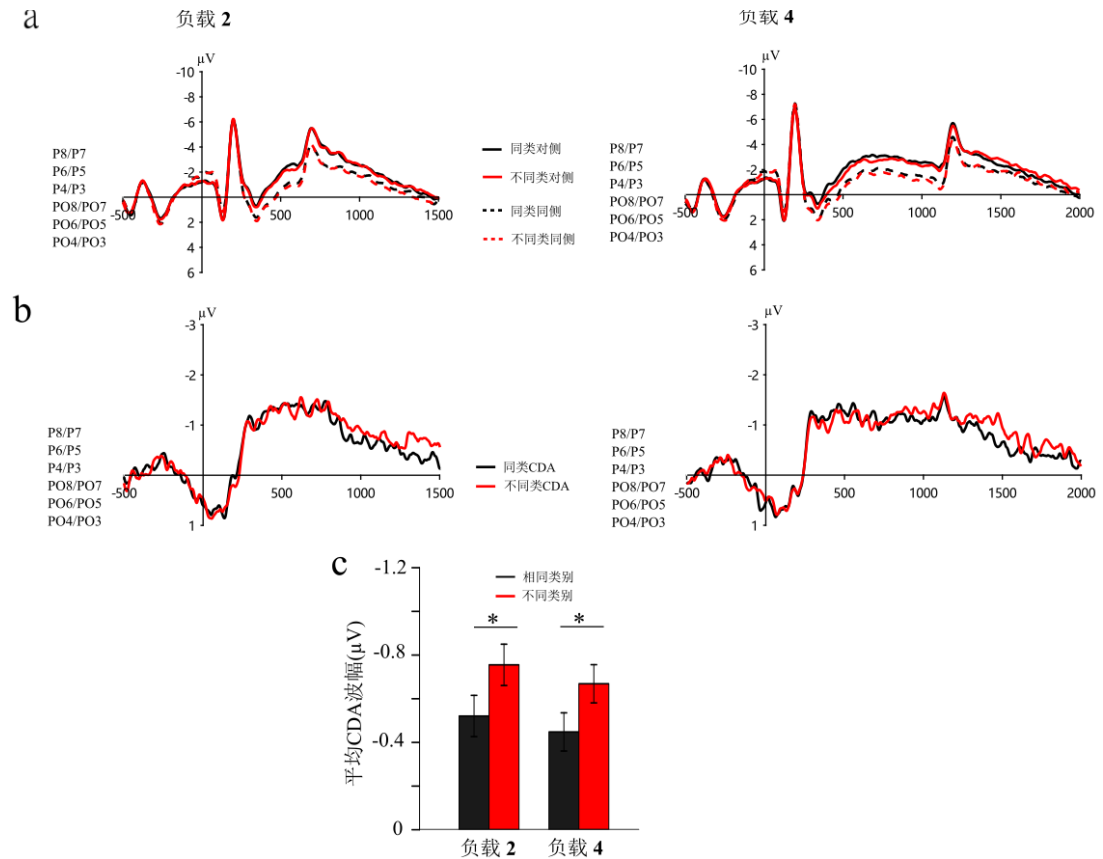


图7 基线起点为识记项呈现前-500 ms: 记忆负荷为2和4时大脑顶叶(P8/P7、P6/P5、P4/P3)和顶枕(PO8/PO7、PO6/PO5、PO4/PO3)区域对侧同侧波形(a)和对侧减同侧 CDA 波形(b)。c 图为平均的对侧延迟活动(CDA)波幅。\*  $p < .05$ 。

综上,我们认为实验3脑电基线200 ms 波形起伏并不会显著影响后面 CDA 差异显著性分析,故实验3中 CDA 类别效应是稳定和可靠的。

### 【参考文献】

- Allon, A. S., Balaban, H., & Luria, R. (2014). How low can you go? Changing the resolution of novel complex objects in visual working memory according to task demands. *Frontiers in psychology*, 5, 265.
- Gao, Z., Yin, J., Xu, H., Shui, R., Shen, M., 2011b. Tracking object number or information load in visual working memory: revisiting the cognitive implication of contralateral delay activity. *Biological Psychology*, 87 (2), 296–302.
- Harter, M. R., Miller, S. L., Price, N. J., LaLonde, M. E., & Keyes, A. L. (1989). Neural processes involved in directing attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1, 223–237.
- Hopf, J. M., & Mangun, G. R. (2000). Shifting visual attention in space: An electrophysiological analysis using high spatial resolution mapping. *Clinical Neurophysiology*, 111, 1241–1257.
- Luck, S. J. (2014). An introduction to the event-related potential technique. MIT press.
- Nobre, A. C., Sebestyen, G. N., & Miniussi, C. (2000). The dynamics of shifting visuospatial attention revealed by event-related potentials. *Neuropsychologia*, 38, 964–974.
- Seiss, E., Kiss, M., & Eimer, M. (2009). Does focused endogenous attention prevent attentional capture in pop-out visual search?. *Psychophysiology*, 46(4), 703–717.
- Yamaguchi, S., Tsuchiya, H., & Kobayashi, S. (1994). Electroencephalographic activity associated with shifts of visuospatial attention. *Brain*, 117, 553–562.