

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：自动激活的长时联结表征对工作记忆的促进效应

作者：张引, 李月, 梁腾飞, 陈江涛, 刘强

第一轮

审稿人 1:

本文旨在探讨自动激活的长时联结表征对工作记忆的促进效应,但在论文中存在着以下几个问题阻碍了对论文的理解:

意见 1: 首先,从问题提出来看,作者是从之前的研究入手,原来的实验发现联结条件的记忆成绩显著低于独立条件,其原因是被试在短期内难以形成对两张无关配对图片自动化激活的联结记忆。由此可见,原来实验中使用的配对图片是无关的,即无语义联系,因此短期内较能形成自动化激活的联结记忆。从而形成了本文的研究切入点,以有语义联系的配对图片为刺激,并增加了提前与未提前记忆这一变量,从阐述来看,似乎为提前记忆会有自动激活的长时记忆联结表征,而未提前记忆是否就没有这样的自动激活?这里背后的逻辑需要澄清。

回应: 感谢专家提出的宝贵意见!全文所有修改部分已用蓝色字体标注。为了使本研究的逻辑更清晰,我们对引言和讨论部分进行了大幅度调整。

本研究主要探讨:自动激活的长时记忆联结表征对工作记忆能否产生促进作用。只有通过提前学习,才能有效形成两个图片的长时记忆联结表征。而要通过短期的学习,形成具有熟悉度高的自动激活长时记忆联结表征,则只有借助于具有语义关联性的图片配对材料来实现。但是由于引入了具有语义关联性的配对图片,我们还需要排除“图片配对”本身存在的语义关联性对记忆成绩可能产生的影响,所以才增加了非提前记忆(无学习)组作为控制条件。为了表达的准确性,我们将记忆方式(提前记忆 vs 非提前记忆)修改为记忆方式(学习 vs 无学习)。实验 1 结果显示,无学习条件下,联结与独立条件无显著差异,说明图片之间的语义关联性本身并不会促进记忆成绩。而学习条件下,联结记忆的正确率和记忆容量均显著高于独立条件,说明被试在学习配对图片的过程中,依赖图片之间的语义关联性迅速形成了能够自动激活的长时记忆联结表征,并在工作记忆任务中对记忆成绩产生了促进作用。具体内容请参考引言最后两段及 2.3 讨论蓝色字体部分。

意见 2: 其次, 从实验设计来看, 实验 1 在未提前记忆条件下, 并没有发现自动激活的长时记忆联结表征对工作记忆的促进效应, 并提出原因是编码时长足够, 那么依此推测, 实验 2 中应延长未提前记忆条件下的编码时长, 以确定实验 1 中未发现的促进作用是否源于该原因。但实验 2 仍进行的是提前记忆条件, 那么延长编码时间的设置对于提前记忆条件又有何意义? 因此实验 2 做出促进作用并没有什么推进。实验 3 拟用 ERP 技术考虑这种促进作用是否发生在维持阶段。但仅设计一个数量的对比来表明是否合适, 同时最后是以 alpha 震荡在 6 项联结条件下显著高于 6 项独立, 阐述是围绕着负荷来展开, 逻辑比较混乱。

回应: 感谢专家提出的宝贵建议。实验 2 的目的是为了进一步验证, 实验 1 所观察到的长时记忆联结表征对工作记忆产生促进效应的原因。我们想要确定这种促进效应是由于长时记忆联结表征对工作记忆维持的促进, 还是由于长时记忆联结表征对记忆编码速度的提升。因为在实验 1 中, 被试每次需要记忆的项目数量为 6 个(超出记忆容量), 记忆阵列的呈现时间为 500ms。然而, 由于个体在 500 毫秒的时间内可能无法完全编码所有项目, 他们能够记住的项目数量比其实际能够记忆的最大项目数量要少。换句话说, 在 500 毫秒的呈现条件下, 个体能够巩固进工作记忆系统的项目数量小于个体在充足时间下能够记忆的最大项目数量。如果存在以上编码时间不足的情况, 且长时记忆联结表征又恰能提升工作记忆的编码速度, 那么在同样的呈现时间条件下, 具有长时记忆联结表征的记忆阵列将有更多项目被编码巩固进入工作记忆系统。在这种情况下, 长时记忆联结表征实际上提升的是工作记忆的编码速度, 而不是对工作记忆维持阶段产生了促进。因此在实验 2 中, 我们通过调控刺激阵列的呈现时间, 来检验编码速度提升的可能性。实验 2 的验证逻辑是, 如果编码速度提升假设成立, 那么在具有充足编码时间的长刺激呈现时间(1000ms)下, 联结条件的记忆成绩优势将消失。相关表述已在文中修改并用蓝色字体标注(见 2.3 讨论及 3.1.3 实验程序部分)。

实验 3 旨在探讨, 如果长时联结表征对工作记忆的促进作用发生在工作记忆的维持阶段, 那么促进是由于压缩简化记忆负荷(负担)导致, 还是联结信息本身辅助了记忆维持(增加了能够维持的最大数量)所导致。实验 3 在实验 1、2 基础上选择了超过记忆容量的 6 个记忆项目对比联结条件与独立条件的差异, 并设置了 2 项独立作为基线。行为指标上, 结果与实验 1、2 一致。6 项联结条件的记忆成绩显著好于 6 项独立条件。脑电指标的 alpha 震荡被认为是实时维持的记忆表征负荷量, alpha 震荡越大(这里说的是绝对值, 其实是越负)表示需要实时维持的记忆负荷越高。实验 3 脑电结果显示, 在编码阶段, 联结/独立条件下的 alpha 震荡绝对值无显著差异。但在维持阶段, 联结条件的 alpha 震荡绝对值显著大于独立条件,

说明联结信息本身可能从另一个维度被加入了记忆维持过程中，也就是这一部分导致了 6 项联结条件的 α 绝对值更大。即，联结表征对工作记忆的促进作用是来自联结关系辅助了工作记忆的维持加工，而不是压缩简化了记忆表征。相应表述已在文中修改并用蓝色字体标注(见 4 实验 3 及 4.3 讨论部分蓝色字体)。

意见 3: 此外，还有一些小细节方面。

(1)实验 1 与实验 2 的程序描述上有很多是重复的，可以简略。

回应: 感谢审稿人意见，已对重复部分进行删除和缩减。

(2)实验材料对建议附件给出，或针对图 1 中的图片进行一个说明，目前从图 1 中很难看到具有语义联系的图片。提前与非提前的 12 对中，语义联系的紧密程度是否平衡？每种条件下 trial 数有多少？检测中发生变化与不发生变化的比例各是多少？没有详细说明；

回应: 感谢审稿人意见，我们对图 1 进行了修改，并增加了语义关联性的图片说明。为了更准确表达是否进行了长时记忆学习，我们把记忆方式的两个水平：提前/非提前改为学习/无学习条件。学习与无学习的 12 对图片，语义联系的紧密程度并没有进行平衡，是随机排列的。实验设计是 2 呈现方式(联结 vs 独立) \times 2 记忆方式(学习 vs 无学习)组内设计，实验的四个水平：联结学习、独立学习、联结无学习、独立无学习每个条件各 80 个 trials。检测中发生变化与不发生变化的比例各占一半。以上修改均已在文中添加，并用蓝色字体标记。

(3)数据分析中，为何要计算记忆容量，目的是什么？实验 1 中 K 值中的表述变成了正确率。

回应: 感谢审稿人意见。计算记忆容量的目的是为了量化工作记忆的上限。记忆容量相比于正确率指标更能反应记忆数目的上限。因为正确率指标可能会受到反应倾向和决策的影响。另外，当呈现项目数在超过个体能记忆容量时，随着呈现数目的增多，正确率会明显降低，但记忆容量 K 值则相对稳定。记忆容量的计算公式： $K = N \times (H - F)$ (Cowan, 2001)，N 表示呈现项目数目，H 表示击中率(正确反应变化试次的比例)，F 表示虚报率(错误回答不变试次的比例)。本研究呈现项目数量为 6 项，超过平均工作记忆容量(3~4 项)，因此计算了记忆容量。实验 1 中的表述错误已进行修改。

(4)一些统计表述方式有待规范化，如记忆方式(提前记忆 vs 非提前记忆)主效应不显著，不需要事后检验。

回应：感谢审稿人意见，我们已经将统计表述方式规范化，并删除事后检验。记忆方式(提前记忆 vs 非提前记忆)修改为记忆方式(学习 vs 无学习)，修改部分用蓝色字体标记。

.....

审稿人 2 意见：

长时记忆表征是在长期生活经验中形成的，表征之间往往是存在高度联系的。作者关注长时记忆联结表征的作用，探讨长时记忆对工作记忆的影响。在分析以往研究的基础上，作者提出，长时记忆表征能否自动激活可能是造成以往研究争议的原因，并采用提前记忆的、具有语义联结的视觉图片对作为可自动激活的长时记忆表征，对研究问题进行了探讨。研究设计和操纵贴近长时记忆的特征，具有一定的研究价值。从实验技术上，作者综合了行为和脑电实验，为研究问题的探讨提供了多方面的证据。但是研究中还存在以下问题，有待修改。

重要问题：

意见 1：作者如何定义自动激活的长时记忆？实验中作者一方面通过提前记忆的方式促进长时记忆形成，一方面也通过采用具有语义联系的图片对促进长时记忆激活。那么自动激活的长时记忆是哪一方面的作用呢？什么样的结果说明长时记忆表征自动激活了呢？

回应：感谢审稿专家提出的宝贵意见！全文所有修改部分已用蓝色字体标注。为了使本研究的逻辑更清晰，我们对引言和讨论部分进行了大幅度调整。

本研究主要探讨：自动激活的长时记忆联结表征对工作记忆能否产生促进作用。只有通过提前记忆(学习)，才能有效形成两个图片的长时记忆联结表征。而要通过短期的学习，形成具有熟悉度高的自动激活长时记忆联结表征，则只有借助于具有语义关联性的图片配对材料来实现。但是由于引入了具有语义关联性的配对图片，我们还需要排除掉“图片配对”语义关联性本身对记忆成绩可能产生的影响，所以才增加了非提前记忆(无学习)组作为控制条件。为了表达的准确性，我们将记忆方式(提前记忆 vs 非提前记忆)修改为记忆方式(学习 vs 无学习)。实验 1 结果显示，无学习条件下，联结与独立无显著差异，说明图片之间的语义关联性本身并不会促进记忆成绩。而学习条件下，联结记忆的正确率和 K 值均显著高于独立条件，说明被试在配对图片学习过程中，依赖图片之间的语义关联性迅速形成了能够自动激活的长时记忆联结表征，并在工作记忆任务中对记忆成绩产生了促进作用。相应表述已在文中修改并用蓝色字体标注(见引言最后两段及 2.3 讨论部分)。

意见 2：各实验间的逻辑关系和实验目的还需要进一步明确。实验 1 的结果发现提前记忆条

件下，语义联结组的工作记忆成绩好于独立组，无提前记忆条件下，两组成绩没有差异。作者提出没有提前进行长时记忆条件下，长时记忆没表现出促进作用的原因可能在于：(1)实验材料复杂，熟悉度低；(2)编码时间短。基于此作者操纵编码时间长短，设计了实验 2。但是这里我不清楚的是，为何实验 2 采用的是提前记忆的实验材料，而不是没有提前记忆的实验材料？或者说，实验 2 的目的是什么？

回应：感谢专家提出的宝贵建议。实验 2 的目的是为了进一步验证，实验 1 所观察到的长时记忆联结表征对工作记忆产生促进效应的原因。我们想要确定这种促进效应是由于长时记忆联结表征对工作记忆维持的促进，还是由于长时记忆联结表征对记忆编码速度的提升。因为在实验 1 中，被试每次需要记忆的项目数量为 6 个，记忆阵列的呈现时间为 500ms。然而，由于个体在 500 毫秒的时间内可能无法完全编码所有项目，他们能够记住的项目数量比实际能够记忆的最大项目数量要少。换句话说，在 500 毫秒的呈现条件下，个体能够巩固进工作记忆系统的项目数量小于个体在充足时间下能够记忆的最大项目数量。如果存在以上编码时间不足的情况，且长时记忆联结表征又恰能提升工作记忆的编码速度，那么在同样的呈现时间条件下，具有长时记忆联结关系的记忆阵列将有更多项目被编码巩固进入工作记忆系统。在这种情况下，长时记忆联结表征实际上提升的是工作记忆的编码速度，而不是对工作记忆维持产生了促进。因此在实验 2 中，我们通过调控刺激阵列的呈现时间，来检验编码速度提升的可能性。实验 2 的验证逻辑是，如果编码速度提升假设成立，那么在具有充足编码时间的长刺激呈现时间(1000ms)下，联结条件的记忆成绩优势将消失。相关表述已在文中修改并用蓝色字体标注(见 2.3 讨论及 3.1.3 实验程序部分)。

意见 3：在实验 2 之后，作者提出“本研究的实验 1 和实验 2 均是行为实验，记忆分为三个阶段，分别是编码、存储和提取，在这任一阶段都可能产生结果的差异。维持阶段是 WM 最重要的阶段，那么自动激活的长时记忆联结表征对 WM 的促进是否发生在此阶段呢？”，由此设计实验 3 的理由似乎不够充分和深入，希望作者能进一步论述实验 3 的目的。

回应：非常感谢审稿专家提出的问题。实验 3 旨在探讨，促进作用是否发生在工作记忆的维持阶段。如果是，那么促进是由于压缩简化记忆负荷(负担)导致，还是长时记忆联结表征辅助了记忆维持(增加了能够维持的最大数量)所导致。实验 3 在实验 1、2 基础上选择了超过记忆容量的 6 个记忆项目对比联结条件与独立条件的差异，并设置了 2 项独立作为基线。行为指标上，结果与实验 1、2 一致。联结条件的记忆成绩显著好于独立条件。脑电指标的 alpha 震荡被认为是实时维持的记忆表征负荷量，alpha 震荡越大(这里说的是绝对值，其实是越负)

表示需要实时维持的记忆负荷越高。实验 3 脑电结果发现，在编码阶段，联结/独立条件下的 alpha 震荡绝对值无显著差异。但在维持阶段，联结条件的 alpha 震荡绝对值显著大于独立条件，说明联结信息本身可能从另一个维度被加入了记忆维持过程中，也就是这一部分导致了 alpha 震荡的绝对值增大。即，联结表征对工作记忆的促进作用是来自联结关系辅助了工作记忆的维持加工，而不是压缩简化了记忆表征。相应表述已在文中修改并用蓝色字体标注(见 4 实验 3 及 4.3 讨论部分蓝色字体)。

其他问题：

意见 4：引言第 3 段最后，作者在对单一项目长时记忆表征影响工作记忆的文献进行总结和论述后，提出“因此，长时记忆中的联结关系对工作记忆的影响仍然有疑问。”前文并未提及关于联结关系对工作记忆影响的文献，得出这样的论断有点欠缺证据了。

回应：非常感谢专家提出的问题。我们之前在文中的表述确实存在歧义。现已对引言进行的大幅修改，并用蓝色字体标出。

意见 5：图 1 中，6 个记忆项似乎都是独立的记忆阵列。也希望作者能够在图注中具体说明实验条件。

回应：感谢专家提出的宝贵意见。我们对实验流程图进行了修改，增加了联结记忆阵列，同时也增加了语义关联性的图片说明，修改过的图 1 用蓝色框标出。

意见 6：实验结果部分，欠缺描述统计结果，需要报告 95%CI。对于 p 值的报告， $p < 0.05$ 时，需要报告具体数值。根据统计检验结果，数据图也建议作者标注统计显著性(图 2 和图 4)，对于 $p < 0.001$ 时，数据图标注显著性应该是***(图 5)。另外，统计检验结果存在边缘显著的情况，如“2 项独立 alpha power 显著低于 6 项联结 $t(17) = 1.97$, $p = 0.066$, Cohen's $d = 0.60$ ”，边缘显著更多是反应某种结果倾向，这里不能说是“显著低于”。这里出现边缘显著的结果是否由于存在极端值？建议作者检查一下数据。

回应：感谢审稿专家提出的宝贵建议。实验结果部分，我们添加了 95%CI，当 $p < 0.05$ 时，已报告具体数值。数据图也已修改，并标注统计显著性(修改部分见正文中蓝色字体)。对数据重新检查并未发现有超过 3 个标准差以外的极端值。

意见 7：实验方法部分，实验 2、3 和实验 1 有大量重复的地方，建议作者适度简化。

回应：感谢专家提出的宝贵建议。我们根据建议已经将实验 2、3 的方法部分进行简化。

意见 8：实验 3 标题下，关于实验 3EEG 指标选取、假设可在实验 2 之后介绍。另外，实验 3 缺少脑电数据采集的介绍。

回应：感谢专家提出的宝贵建议。我们已经将实验 3EEG 的指标选取、假设放在实验 3 的开始(“4 实验 3”部分)。另外，我们增加了实验脑电数据采集的介绍(具体见第“4.1.4 数据收集与预处理”蓝色字体的部分)。

意见 9：实验中部分表述存在不一致的地方，例如 4.1.3 第二段使用“组块”与实验 2.1.3 第三段使用“block”；5 总讨论部分的“K 值”与“工作记忆容量”等，这些细节需要注意和修改。

回应：感谢专家提出的宝贵建议。我们已经将 4.1.3 第二段中的“组块”修改为与前面一致的“block”；5 总讨论部分的“K 值”与“工作记忆容量”也进行了相应的修改。

意见 10：英文摘要需要润色。

回应：感谢审稿专家的建议，我们已重新修改摘要，并将英文摘要请专业人士润色。

第二轮

审稿人 1：

作者针对前期评审中所提出的问题进行了较好的修改，也解决了部分的问题。但仍存在着以下两个问题。

意见 1：一是采用变化觉察范式作为工作记忆任务来探讨长时记忆联结表征的影响，该范式用于解决这个问题的优势在哪里？建议应该补充，能更好理解如何去解决问题。

回应：感谢专家的意见。变化觉察范式是目前视觉工作记忆领域研究最常用的范式。该范式是 1974 年由 Phillips 在他的研究中首次提出，随后被 Luck 和 Vogel(1997)进行改进并被其他研究大量应用。本研究探讨的主题是，长时记忆联结表征对**视觉工作记忆**的影响，因此采用变化觉察范式。变化觉察范式的优势是可以通过控制和操纵记忆阵列中的刺激数量、变化类型和难度等因素，简单直接的测量个体工作记忆存储能力。本研究采用变化觉察范式可以对联结与独立条件进行精确控制，以便对比两种条件下工作记忆能力的差异。大量研究(如下)

采用变化觉察范式探讨不同条件下的个体工作记忆差异。文中补充部分用红色字体标出。

Luck, S.J., & Vogel, E.K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390, 279-281.

Vogel, E.K., McCollough, A.W., & Machizawa, M.G. (2005). Neural measures reveal individual differences in controlling access to working memory. *Nature*, 438, 500–503.

Fukuda, K., & Woodman, G. F. (2017). Visual working memory buffers information retrieved from visual long-term memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(20), 5306–5311.

Rouder, J.N., Morey, R.D., Morey, C.C., & Cowan, N. (2011). How to measure working memory capacity in the change detection paradigm. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18, 324–330.

Johnson, J. S., Spencer, J. P., Luck, S. J., & Schöner, G. (2009). A dynamic neural field model of visual working memory and change detection. *Psychological Science*, 20(5), 568–577.

Lorenc, E. S., Mallett, R., & Lewis-Peacock, J. A. (2021). Distraction in visual working memory: Resistance is not futile. *Trends in Cognitive Sciences*, 25(3), 228–239.

Grover, S., Wen, W., Viswanathan, V., Gill, C. T., & Reinhart, R. M. (2022). Long-lasting, dissociable improvements in working memory and long-term memory in older adults with repetitive neuromodulation. *Nature Neuroscience*, 25(9), 1237–1246.

Constant, M., & Liesefeld, H. R. (2021). Massive effects of saliency on information processing in visual working memory. *Psychological Science*, 32(5), 682–691.

Hedayati, S., O'Donnell, R. E., & Wyble, B. (2022). A model of working memory for latent representations. *Nature Human Behaviour*, 6(5), 709–719.

意见 2: 二是实验 2 应该是针对联结表征的促进作用可能是来源于导致编码速度加快了，但增加编码时间并不一定会改变这个影响，因此 500 和 1000 的设置似乎并没有太大的意义。建议这个实验是否需要列在本文中，以及与上下实验之间的关系，还需要再梳理。

回应: 感谢专家的意见。实验 2 探讨了联结表征提升编码速度的假设，并进一步分析了其对个体存储容量的影响。该假设认为联结表征并不增加个体的存储容量，而是能够提高编码速度缩短巩固编码每个项目所需的时间。基于编码速度提升假设，实验 1 观察到联结表征提升记忆成绩的原因是，在 500ms 呈现时间条件下，个体不足以编码达到存储容量的非联结项目个数进入记忆系统。而联结表征因为能够提升编码速度，所以在相同的呈现条件下，将可以完成更多项目的巩固，因此导致记忆成绩提升。例如，一个人最多能够存储 4 个项目，在

500ms 呈现时间条件下,可能仅能够巩固编码 3 个非联结项目进入记忆系统。而在联结条件下,由于联结表征提升了巩固速度,则有可能巩固 4 个项目进入记忆系统。为了验证这一假设,我们设计了实验二,旨在通过将刺激呈现时间翻倍来提供足够的巩固时间条件(Xie & Zhang, 2017)。实验逻辑是,如果编码速度提升是引起联结表征记忆成绩提升的原因。那么在充足的巩固时间条件下,联结表征的记忆成绩优势将消失。相反,如果记忆成绩在更长的时间下没有显著下降,则将排除此假设。之前我们在文章中可能没有很清晰的表达清楚这一逻辑,现已将相关表达修改并用红色字体标出。

.....

审稿人 2:

作者的修改和回复基本解决了我所提出的问题,但是还有几个小建议供作者参考:

意见 1: 在前言部分第二段,作者利用门控机制对 LTM 促进 WM 的机制进行解释。我个人感觉门控机制的解释和全文的论述关系不强。作者是否考虑 LTM 激活程度影响其对 WM 的促进作用,尤其是熟悉信息可能和 LTM 激活的联系更紧密一些。或者可以参考鲍旭辉等(2014)研究,他们提出,“视觉长时记忆能否促进视觉短时记忆取决于视觉长时记忆的激活水平”。这样下一段中得出张引等(2020)LTM 联结表征不能促进 WM 的原因可能在于联结记忆表征不能自动化激活这一推断,会感觉上下文的联系比较自然。(个人建议,仅供参考)

回应: 感谢审稿专家提出的建议。我们已经根据建议将前言第二段进行修改,并用红色字体标出。

意见 2: 作者修改后的实验逻辑大致清楚,实验 1 探讨自动激活的 LTM 联结表征能否促进 WM,实验 2 和实验 3 分别探讨自动激活的 LTM 联结表征对 WM 的促进作用是来自于编码阶段还是保持阶段。但是文中作者的部分表述还是会让人产生误解。例如:

(1)2.3 讨论第 2 段,作者提出“但这一促进作用可能并非来自于长时联结表征对工作记忆能力本身的提升。”那么 LTM 对编码巩固速度的提升不是工作记忆能力本身吗?

回应: 感谢审稿专家的意见。我们认为工作记忆能力本身应该是在维持阶段,编码阶段更多的是感知觉加工过程,视觉刺激还没有进入“记忆”,但这里的表达确实容易产生误解,文

中已进行修改并用红色字体标出。

(2)3.3 讨论第 1 段，作者提出“自动激活的 LTM 联结表征对 WM 的促进效应并非来自于编码巩固速度的提升。”而在 5 总讨论第 1 段，作者又说“说明自动激活的 LTM 联结表征对 WM 的促进作用不仅是在编码阶段的优势，”那么 LTM 对 WM 的促进究竟与编码阶段巩固速度有何关系？

回应：感谢审稿专家的意见。实验 2 排除了编码巩固速度提升假设。实验 3 脑电结果发现编码阶段的 alpha 震荡在联结/独立条件无显著差异。说明 LTM 联结表征对 WM 的促进与编码阶段无关。很抱歉文中我们的笔误带来的误解。文中已进行修改并用红色字体标出。

(3)关于实验 3 的目的，作者在 4 实验 3 下提到“实验 3 旨在进一步通过脑电测量验证，促进作用是否发生在 WM 的维持阶段。又在 4.3 讨论中提到“实验 3 采用脑电技术，旨在考察自动激活的长时联结表征对工作记忆实时编码与维持的影响机制。”前后也存在不一致的地方，建议作者根据实验目的进行统一。

回应：感谢审稿专家的意见。我们已经将 4 实验 3 与 4.3 讨论中表达不一致的内容进行修改，并用红色字体标出。

第三轮

审稿人 1：

意见：作者的修改已大致解决了第二轮中提出的两个问题，论文有了很好的提升。

回应：感谢专家在上两轮中的建设性修改建议。

审稿人 2：

意见 1：作者较好的修改和回复了我所提出的问题，但是新修改的论文版本中还有 1 个小问题：文章第 3 部分“3 实验 2：自动激活的长时联结表征提升 WM 编码速度可能性验证”下，关于实验 2 目的的论述中提到“在实验 1 中，刺激的呈现时间为 500ms 时，个体的平均记忆数量已经超过了 3.5 个，按照这一平均巩固速度，在 1000ms 刺激呈现时间下，将足以满足被试巩固超过 7 个项目”，这里刺激呈现时间和记忆数量是否是线性关系呢，或者说 WM 编码速度是否是不变的？作者进行这种推测是否有文献依据？不建议作者这么明确的提出

1000ms 下能够巩固 7 个项目。

回应：感谢专家的意见。关于工作记忆巩固速度的研究，大部分采用颜色、方向和简单形状信息（Carlos et al., 2023; Vogel et al., 2006; Woodman et al., 2008）。而我们的研究材料所采用的 Emoji 图片巩固进入 WM 的模式及速度，目前尚无研究进行考察。因此文中根据平均巩固速度提出 1000ms 巩固 7 个项目的说法确实不够准确。根据审稿专家的意见，我们已经将相关论述修改为“如果提升编码速度假设成立，那么在具有更为充足的编码时间（1000ms）条件下，联结条件的记忆成绩优势将显著降低。相反，如果刺激呈现时间并不影响联结表征的记忆优势，则排除此假设。”

意见 2：再者，长时记忆联结表征对 WM 编码阶段的影响是否仅限于提升巩固速度？实验 2 题目和实验目的的提出是否过于局限与编码巩固速度了。

回应：目前已有的视觉工作记忆编码巩固的相关研究，主要考察两个方面：一个是巩固的速度（Carlos et al., 2023; Vogel et al., 2006; Woodman et al., 2008），另外一个为巩固的模式（并行或序列巩固）（Huang, 2015; Mance et al., 2012; Miller et al., 2014; Hao et al., 2018）。而如果长时记忆联结表征能够导致两个联结项目由序列巩固改变为并行巩固，那本质上也是提升了巩固速度。因此，我们认为将长时记忆联结表征对编码巩固阶段所可能产生的影响限于提升巩固速度是合理的。但为了使文章更为简洁易懂，我们认为没有必要将巩固模式改变的可能性在文章中描述。

Carlos, B.J., Santacrose, L.A., & Tamber-Rosenau, B.J. (2023). The slow rate of working memory consolidation from vision is a structural limit. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 85, 2210–2225.

Mance, I., Becker, M. W. & Liu, T. (2012). Parallel consolidation of simple features into visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38, 429–438.

Miller, Mark. Becker & Liu (2014). The bandwidth of consolidation into visual short-term memory depends on the visual feature, *Visual Cognition*, 22, 920–947.

Huang, L. (2015). Color is processed less efficiently than orientation in change detection but more efficiently in visual search. *Psychological Science*, 26, 646–652.

Hao, R., Becker, M. W., Ye, C., Liu, Q. & Liu, T. (2018). The bandwidth of VWM consolidation varies with the stimulus feature: evidence from event-related potentials. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 44, 767–777.

Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2006). The time course of consolidation in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(6), 1436–1451.

Woodman GF, Vogel EK. (2008). Selective storage and maintenance of an object's features in visual working memory. *Psychonomic Bulletin & Review*. 15(1):223–229.

第四轮

审稿人 2：作者的修改已解决了我提出的问题，我没有其他意见了。

编委意见：同意发表。

主编意见：同意外审和编委意见，建议录用。