

《心理学报》审稿意见与作者回应

题目：奖赏对工作记忆提取准确性的促进及其机制

作者：牛 惠 胡艳梅 郑旭涛 姜英杰 刘 佳

第一轮

审稿人 1 意见：

本文研究了奖赏对工作记忆提取准确性的促进及其机制，研究问题明确，实验控制较好，数据分析充分，然而也存在以下问题需要修改：

意见 1：被试量的计算依据不清晰，“参考以往文献结果(Grogan et al., 2022)，效应量 f 设置为 0.52”，具体是如何参考的？是根本 Grogan 等人研究中的效应量预先估计还是事后结果来计算的？本研究中被试的数量较少，实验 1 中不足 30 人，实验 2 的分组分析中一组就 10 人，样本太少，结果不可信，建议作者增加更多数量的被试。

回应：感谢审稿人的意见和建议。原文被试量估计表述不清之处，已在修改稿中调整。预先估计的效应量参考了 Grogan 等人(2022)研究中奖赏效应的效应量($\eta^2 p = 0.2119$)，计算得到 $f = 0.52$ ，最小样本量 12。本研究被试量确实不大，为了进一步检验实验结果的可靠性，数据统计部分增加了贝叶斯因子估计。实验 1 现有 24 个被试的基础上，工作记忆测试阶段奖赏效应贝叶斯因子 BF10 达到了 10 以上，故暂时未再增加被试。实验 2 为提高个体差异检验的可靠性，补充了 30 个被试，即总被试量达到 60，后测阶段奖赏效应贝叶斯因子 BF10 也达到了 10 以上。同时，分别以前测成绩在前 30% 和后 30% 的被试作为高能力和低能力组被试，每组 18 人。实验 2 补充数据后，联结学习、前测和后测各阶段主要结果趋势不变，且统计检验力有所提高。其中，前、后测比较中，针对奖赏促进量的 2 (高奖赏线索位置：SP1、SP2；即原文中“线索顺序”变量) \times 2 (探测项目：T1、T2)方差分析显示，交互作用也达到了显著水平

意见 2：实验 1 中高低奖励对于记忆准确性并无影响，为何实验 2 中仍然在 T1 和 T2 上操纵高低奖赏，为何不在 T1 和 T2 两个位置上采用有无奖赏的刺激来检验不同位置上奖赏对于

工作记忆提取的作用？逻辑上不是很清晰。

回应：该内容原文表述不够清晰，感谢审稿人指出。相关内容已在正文前言和实验 2 引入部分进行了补充说明。实验 1 通过单次提取的方式，发现奖赏对工作记忆提取阶段有影响。虽然该差异主要体现在有、无奖赏条件之间，而高、低奖赏条件差异未达到显著水平。但从描述结果上看高奖赏条件反应偏差小于低奖赏条件。同时，以往在编码阶段引入奖赏信号的研究也发现，在序列加工过程中高、低奖赏项目成绩存在差异(Hu et al., 2014, 2016)。因此，实验 2 采用连续提取任务，进一步检验高、低奖赏作用的差异、考察奖赏调节的机制。实验 2 中对 T1 和 T2 两个位置无奖赏基线的测量主要通过前测实现。在前测中，两个颜色尚未与奖赏联结，都属于无奖赏刺激。

意见 3：本文作者做了很多分析，然而在前言中未做好相关背景介绍，为何要做这些分析？每个分析分别能对应什么假设的验证？

回应：感谢审稿人的宝贵意见。本研究统计分析确实较为复杂，需要详细说明分析的目的。已在前言、实验 1 引入和实验 2 引入部分进行了补充说明。实验 1 中，如果奖赏可以调节提取过程，则提取准确性随奖赏水平的增加而升高。实验 2 工作记忆测试包括前、后测。前测为无奖赏基线，如果线索颜色本身不影响提取过程，则前测中只有探测项目主效应显著。后测考察奖赏对提取过程的影响及其机制。一方面，如果奖赏可以消除后提取项目劣势，则探测项目主效应不显著，探测项目和高奖赏线索位置(即原文中“线索顺序”变量)交互作用显著。如果奖赏仅能在一定程度上改善(而非消除)后提取项目劣势，则探测项目主效应显著，探测项目和高奖赏线索位置交互作用显著。如果奖赏不影响提取过程，则仅探测项目主效应显著。另一方面，高奖赏线索位置主效应如果显著则表明奖赏调节提取过程的机制是增强表征；如果不显著则表明奖赏的调节机制是资源再分配。

此外，实验 2 中虽然单样本 t 检验显示各变量水平组合条件下的奖赏促进量均显著大于“0”($ps < 0.001$)，但该结果主要反映了前后测成绩的总体变化，不能单独反映奖赏的作用。为了使统计分析更准确地服务于检验研究假设，在修改稿中删除了该部分内容，以简化结果。

意见 4：本研究探讨的是奖赏对工作记忆提取准确性，作者在实验 2 中也操纵了高低两个水平的奖赏，为何在实验 2 数据分析的时候没有考虑从奖赏类型的角度去分析数据？当前作者采用了“线索顺序”这一变量，本人觉得“线索顺序”只适用于 T2 阶段的刺激，不适用于 T1 阶段的刺激。因为被试在加工 T1 时只面对“高”还是“低”两种刺激，不需要去考虑“线索顺序”。

回应:感谢审稿人的宝贵意见。正文部分已将“线索顺序”这一变量名改为“高奖赏线索位置”，以增强表达的准确性。实验 2 数据分析没有直接从奖赏类型角度入手主要基于以下考虑。实验 2 没有采用完全正交的设计(即 2(线索位置: 第一、第二)×2(线索奖赏水平: 高、低)×2(探测项目: T1、T2)), 而是在实验试次中设定前后两个线索奖赏水平永远不同(即“先高后低”和“先低后高”), 并将前后两个线索奖赏水平相同的情况(即“双高”和“双低”)作为填充试次。作此设计的具体原因在对审稿意见 6 的回复中说明。统计分析时, 为了避免与完全正交的实验设计混淆, 采取了“线索顺序”的区分角度(正文中该变量名已改为“高奖赏线索位置”, 即每个试次只有一个高奖赏线索, 条件间的差异体现在高奖赏线索的位置上)。实际分析过程中, 各条件间本质上都比较的是高、低奖赏的差异。

意见 5:实验 2 中作者发现“线索顺序”没有显著结果。但需要注意的是“线索顺序”只包含高低两种奖赏的先后顺序, 而没有包括无奖赏线索和其他线索的先后顺序, 这点可能也需要在讨论中考虑到。

回应:感谢审稿人的宝贵意见和建议。已在正文讨论部分补充相关论述。纳入填充试次进行分析后: 1) 前测没有发现“线索顺序”的主效应, 表明线索颜色及组合方式不影响基线成绩; 2) 后测也没有发现“线索顺序”的主效应, 表明同一试次中无论高奖赏线索先出现还是后出现、无论高奖赏线索出现两次还是不出现, 平均记忆成绩都不受影响。即奖赏对工作记忆提取准确性的调节符合资源再分配机制。

意见 6:作者在讨论中提到了实验 2 中也有 HH 和 LL 条件, 为何这两个条件属于填充试次? 这是非常好的控制条件, 需要纳入整体的统计分析。

回应:感谢审稿人的宝贵意见和建议。正文已在实验 2 结果部分添加了纳入填充试次的统计分析结果。将“双高”和“双低”两种条件作为填充试次原因有以下两方面: 1) 实验 2 主要关注项目价值对连续提取过程的影响, 与“双高”和“双低”条件相比, “前高后低”和“前低后高”的条件更能引发策略加工; 2) 实验 2 目前完成时间在 90 分钟左右, 如果采用完全正交设计实验时间将接近 3 个小时。因此, 采用了折中方案, 即以“前高后低”和“前低后高”条件为实验试次, “双高”和“双低”条件为填充试次。修改稿中, 填充试次也纳入了统计分析作为补充。

意见 7:正文中未提及伦理审查的信息。

回应:感谢审稿人的宝贵意见和建议。已在正文方法部分添加相关内容。

意见 8: 部分实验过程描述不够清晰, 例如“探测项目为一个方向随机的圆形光栅, 要求被试调节其方向使之与对应位置记忆项目方向一致, 调整结束后按空格键确认。”那被试是如何调整的? 利用鼠标还是键盘? 如何操作的?

回应: 探测任务要求被试用鼠标调节探测项目方向, 然后按空格键确认进行下一次记忆。相关内容已在正文中更改。

意见 9: 前言第三段“虽然他们的研究表明奖赏不能独立于编码和保持过程对工作记忆提取准确性产生影响”, 这句话中“不能独立于”的意思不容易懂。

回应: 感谢审稿人的宝贵意见。此句想表述的意思是: 在不影响编码和保持过程的前提下, 直接呈现在提取阶段的奖赏线索不能影响提取准确性。表述不清的地方已在正文相关部分修改。

意见 10: 在文中 3.2.4 部分的第一句话“首先, 将各线索顺和探测项目条件下的促进量” 这里少字。

回应: 感谢审稿人的宝贵意见。相关内容已在正文中更改。

.....

审稿人 2 意见:

本研究以关系人类生存和发展的价值因素为切入点, 在工作记忆提取阶段呈现奖赏线索, 分别采用单次提取(实验 1)与连续提取任务(实验 2)考察工作记忆提取过程的奖赏调节机制。本研究发现: (1)奖赏可以直接促进工作记忆提取准确性; (2)该促进作用的机制是对工作记忆资源的再分配; (3)该促进作用受提取顺序和个体工作记忆能力差异的影响。本研究具有一定的创新性, 建议修改后再审。需要修改的地方如下:

意见 1: 摘要建议增加一句写明研究发现揭示的理论或实践意义。

回应: 感谢审稿人的宝贵建议。相关内容已在摘要中添加。

意见 2: 正文第二段“其中, 奖赏在提取阶段主要激活了背外侧前额叶、额中回等区域。”这一句后需要补充提取和保持阶段激活的脑区。

回应: 感谢审稿人的宝贵建议。相关内容已在正文前言部分添加。Taylor 等人(2004)发现,

奖赏在不同记忆阶段激活的脑区不同。奖赏在编码阶段主要激活腹外侧前额叶、楔前叶等区域，在保持阶段主要激活额叶、顶内沟等区域，在提取阶段主要激活背外侧前额叶、额中回等区域。

意见 3: 正文第三段“Klink 等人(2017)分别在编码。。。”像这样重要文献需要写清楚研究采用的实验范式和任务类型是什么，是单次提取还是连续提取？

回应: 感谢审稿人的宝贵建议。相关内容已在正文前言部分添加。Klink 等人(2017)采用延迟探测任务，要求被试首先记忆三个有方向的圆形光栅，随后在提取阶段任意选取其中一个记忆项目进行探测（即单次提取）。奖赏线索为三个颜色不同的圆环。其颜色分别与高、低和无奖赏对应，其呈现位置与记忆项目对应。奖赏线索或者与记忆项目同时出现(编码阶段)，或者在延迟阶段出现(保持阶段)，或者与探测项目同时出现(提取阶段)。

意见 4: 正文中有些参考文献没有在文献列表中呈现，建议全文参考文献重新前后查一遍！

回应: 感谢审稿人的宝贵意见。修改稿已全文重新检测正文参考文献和文献列表的对应。

意见 5: 第二、三和四段的逻辑有些混乱，需要重新梳理！

回应: 感谢审稿人的宝贵意见和建议。已在正文中重新梳理前言相关段落逻辑。具体如下：第二段概述奖赏对工作记忆加工的影响及其机制。第三段论述以往在工作记忆提取阶段考察奖赏调节作用的实证研究。第四段论述以往研究在奖赏是否能够调节工作记忆提取这一问题上的争议和不足，阐述“排除编码和保持过程影响，独立考察提取阶段奖赏调节作用”的必要性。第五段论述以往研究在奖赏如何调节工作记忆提取这一问题上的空白和不足，阐述采用连续提取范式考察提取阶段奖赏调节作用的必要性。第六段总结前人研究不足，论述本研究的改进和创新。

意见 6: 需要增加一段论述清楚本研究与前人研究相比，创新点在哪里？

回应: 感谢审稿人的宝贵意见和建议。已在正文中前言第六段添加相关内容。“本研究在提取阶段呈现奖赏信号，同时结合单次提取（实验 1）和连续提取（实验 2）任务，可以：1）进一步检验奖赏是否能够独立调节工作记忆提取；2）首次系统考察奖赏对连续提取过程中不同项目表征和资源分配的影响，以揭示奖赏调节工作记忆提取的机制。同时，基于以往研究发现认知策略的使用受到个体工作记忆能力的影响(Griffin et al., 2019; Robison &

Unsworth, 2017; Turley-Ames & Whitfield, 2003), 本研究也将分析奖赏调节工作记忆提取的个人差异。”

意见 7: 引言中没有论述清楚单次提取任务和连续提取任务是如何操作的, 前人研究都是采用的什么任务类型?

回应: 感谢审稿人的宝贵意见和建议。已在正文中前言中添加相关内容。单次提取的操作方式是要求被试记忆若干项目, 但仅随机选择其中一个记忆项目进行测试, 即每个试次只测试一次。连续提取的操作方式是要求被试记忆若干项目, 并依次对所有记忆项目进行测试, 即每个试次连续测试多次。

意见 8: G*power 和 Psychopy 软件需要增加参考文献。

回应: 感谢审稿人的宝贵建议。已在正文相关部分添加对应参考文献。

意见 9: 实验 1 方法部分, 圆环和光栅不可能都是 5 度视角, 需要写清楚准确的参数。

回应: 感谢审稿人的宝贵建议。已在正文方法部分对相关内容进行了修改。实验所采用的圆环和光栅的边缘是互相重叠的, 因此圆环视角为 5°; 光栅视角应为 5°左右更准确。

意见 10: 实验 1 颜色与奖赏的联结概率是多少? 100%?

回应: 实验 1 颜色与奖赏的联结概率为 100%, 正文已添加相关信息。

意见 11: 实验 1 共计需要多少时间? 为什么中间没有休息时间?

回应: 实验 1 共需 30 分钟左右, 包括 10 分钟联结学习阶段和 20 分钟工作记忆测试阶段。实验过程中, 每完成 40 个试次在屏幕上提示被试“若您感到疲惫, 请稍事休息; 若您准备好了, 按空格键继续”。被试可以自行选择休息与否, 即是否休息取决于被试个人。原文在该部分表述存在偏差, 相关内容已在正文中纠正。

意见 12: 实验 1 结果, 联结学习阶段部分, 多重比较, p 值有没有矫正?

回应: 实验 1 涉及三个水平以上的多重比较均采用 Bonferroni 矫正 p 值。已在正文结果部分补充说明。

意见 13: 实验结果部分不能只是罗列统计结果, 还需简单写明基于统计结果得出的结论, 并做简要讨论。

回应: 感谢审稿人的宝贵建议。已在实验结果部分添加相应内容。

意见 14: 两个实验的被试数目不同, 招募被试截止条件是什么?

回应: 实验 1 被试数量采取了样本估计量的两倍。实验 2 由于基于个体差异分析的考虑, 增加了若干被试。现已根据审稿人 1 的意见补充了更多被试。

意见 15: 讨论第二段, “而本研究实验 1 和 2 中同屏都只有一种水平的奖赏线索, 任务设置可能更有利于奖赏发挥作用”。除了奖赏线索, 是否探测类型也不同, 需要论述清楚。

回应: 感谢审稿人的宝贵建议。已在正文讨论部分补充相关内容。本研究实验 1 与 Klink 等人(2017)的研究除奖赏线索呈现方式外, 其余任务设置相同。因此推测本研究发现奖赏信号可以促进工作记忆提取(而他们没有)的原因在于“他们同屏呈现高、低和无三种水平的奖赏线索。而本研究实验 1 同屏只呈现一种水平的奖赏线索, 任务设置可能更有利于奖赏发挥作用。被试只需根据当前屏幕上线索的奖赏水平调动认知资源, 而不需根据价值高低在同屏不同项目之间进行资源分配”。

第二轮

审稿人 1 意见: 作者较好地回答了本人的疑问, 建议发表。

审稿人 2 意见: 已经按第一轮修改意见做了相应修改, 建议发表。

编委意见: 同意两位审稿者的意见, 建议发表。

主编意见:

1. 在图注中, “注: “@”代表均值。 $*p < 0.05$, $**p < 0.01$, $***p < 0.001$, 有些显著水平图中没有, 如“ $***p < 0.001$ ”, 可以去除。

答: 感谢主编的宝贵意见和建议。相应内容已在正文中修改。

2. 结论分成 3 点, 虽然比较清楚, 但给人感觉比较零散, 建议用一段话把相应机制描述出来。

答：感谢主编的宝贵建议。已参考建议调整结论：“通过对认知资源进行再分配，奖赏可以在不影响编码和保持的条件下直接促进工作记忆提取准确性。连续提取过程中，该促进作用对后提取项目的影晌强于先提取项目。并且，工作记忆能力低的个体更容易受到奖赏的调节。”