

第一轮修改

审稿专家 1:

本文研究设计合理，方法得当，数据扎实，仅有以下两点修改建议：

意见 1. 结论适用范围需明确限定

原文“相比富裕心态，稀缺心态下个体更倾向于风险规避”过于绝对化，原因在于这种表述易引人形成越稀缺心态越不冒险的错觉，而事实上稀缺心态与冒险行为未必是此种线性关系。在极端稀缺心态或生死攸关的重大决策任务上，稀缺心态可能更铤而走险。本研究只是探讨了一般稀缺心态和游戏性决策任务，无法推论到与生存有关的真实情境。

建议修订：结论“稀缺心态增强风险规避”仅在低/中奖赏范围（0.01~0.25 元）成立，未涵盖高奖赏现实决策（如医疗、借贷）；讨论部分增加适用边界说明：“本研究结论适用于低至中等奖赏幅度的风险决策（如日常消费），但极高奖赏情境（如涉及生存资源的决策）可能触发不同行为模式（如风险寻求），未来需进一步验证”。结论部分补充条件限定：“在常规奖赏幅度下，稀缺心态增强风险规避倾向；该效应在高奖赏条件下尤为显著，但超高奖赏下的行为模式仍需探究。”

回应：非常感谢您的宝贵建议。正如您指出，尽管本研究在不同奖赏幅度下考察了稀缺心态对风险决策的影响，但本研究采用的奖赏金额仍然较小（0.01~0.25 元），与真实决策情境存在差别。此外，本研究在游戏情境中操纵稀缺心态，即控制个体在阶段游戏范式中持有代币在相对较低水平，并未涉及极端稀缺心态（如威胁生存的稀缺体验）。因此，根据您的宝贵建议，我们在正文中对研究结论的适用边界及研究局限性进行了补充：

讨论部分最后一段：“……首先，本研究仅在低/中奖赏范围条件（0.01~0.25 元）考察稀缺心态对风险偏好的影响，尚未触及高额奖赏幅度下稀缺心态对风险决策的影响。因此，本研究结论仅适用于低至中等奖赏幅度的风险决策（如日常消费情境），未来研究可以进一步考察高额奖赏幅度下稀缺心态效应是否出现反转现象，即表现出高额奖赏幅度下稀缺心态导致个体倾向于更加风险寻求。其次，本研究通过阶段游戏范式中的初始代币数量操纵个体的稀缺心态，未来研究可在高生态效度的真实情境中操纵稀缺心态，并考察其他稀缺类型（如时间稀缺）对风险决策的影响（Zhang et al., 2025）。”

您的建议为我们提供了宝贵的研究思路，在后续研究中我们也将考察现实情境中的风险决策，纳入更具生态效度的因变量指标，为稀缺与风险决策的相关研究提供更为坚实的证据。

意见 2. 如能补充一个实验，在现有高、低奖赏调节水平上，进一步操纵奖赏（如进一步加大奖赏力度），或许会带来稀缺心态效应的反转（当奖赏够强时，稀缺心态会不会转而铤而走险？）。如能这样，无论什么结果，都能增强研究的力度。

回应: 非常感谢专家的宝贵建议。正如专家指出，进一步操纵更高奖赏水平有助于验证稀缺心态效应在极端激励条件下是否出现反转，这一设想对完善稀缺理论具有重要意义。

需要说明的是，本研究旨在揭示稀缺心态在**日常经济情境**下的风险决策规律，即探讨常规奖赏幅度（低至中等奖赏）的心理效应机制，而非高风险或生存型决策。根据风险敏感性理论（Risk-Sensitivity Theory, Mishra et al., 2012），当个体面临紧迫需求且低风险选项无法满足当前目标时（如高额债务或生存资源短缺情境），即使高风险选项伴随更高的不确定性，个体也会倾向选择高风险选项（即“为生存铤而走险”）。然而，这一机制主要反映在生存性或高需求驱动的决策中，与本研究探讨的感知稀缺状态下的风险规避机制在心理基础和情境逻辑上**存在本质差异**。

本研究的风险决策情境可赚取真实金钱奖励，但本研究中稀缺心态通过代币数量诱发（即通过阶段游戏范式控制其代币始终处于即将“出局”的水平），即**个体在风险决策中高风险选项的收益并不能转化为代币，缓解个体的稀缺处境**。这种操纵方式与稀缺心态的定义也更为符合，即一种因感知资源匮乏而产生的心理状态，而不是持有资源的绝对水平。我们的研究也发现，即使是由代币启动的稀缺状态，也可显著改变个体对真实奖赏的评估和反馈学习，使其在风险决策中表现出更强的规避倾向。

此外，从方法角度看，虽然当前研究单个试次（单次充气）的奖赏幅度（0.01~0.25 元）处于低奖赏水平，但由于试次数量较多，**累积的奖赏回报**并不小，在实验过程中被试单个气球的真实收益最高可达 **31.75 元**。因此，总体上看，本研究所采用的奖赏幅度足以在大学生样本中显著影响其决策行为，诱发明显的奖赏敏感性差异。若进一步提高奖赏金额，可能引发任务真实性下降、策略性反应增加等问题，不利于实验效度控制。正因如此，本研究所采用的奖赏区间（0.01~0.25 元）也是以往采用真实金钱奖赏研究的常用设置，例如：

表 以往研究中对奖赏幅度的操纵

作者，年份	论文标题	发表期刊	奖赏幅度设置（气球单次充气的盈利金额）
徐四华等, 2013	真实和虚拟金钱奖赏影响风险决策行为	心理学报	实验 1: 0.02 元

实验 2: 0.01 元, 0.25 元			
杨玲等, 2019	虚拟和真实金钱奖赏幅度对海洛因戒断者风险决策的影响	心理学报	0.01 元, 0.25 元
Bornovalova et al., 2019	Risk taking differences on a behavioral task as a function of potential reward/loss magnitude and individual differences in impulsivity and sensation seeking	Pharmacology Biochemistry and Behavior	0.01 元, 0.05 元, 0.25 元
Cosenza et al., 2016	Risk taking, delay discounting, and time perspective in adolescent gamblers: An experimental study.	Journal of Gambling Studies	0.05 元
Hüpen et al., 2019	Impulsivity moderates skin conductance activity during decision making in a modified version of the Balloon Analogue Risk Task	Frontiers in Neuroscience	0.01 元, 0.25 元
Sebri et al., 2023	Reward-dependent dynamics and changes in risk taking in the Balloon Analogue Risk Task	Journal of Cognitive Psychology	0.05 元
Xu et al., 2018	Differential effects of real versus hypothetical monetary reward magnitude on risk-taking behavior and brain activity	Scientific Reports	0.01 元, 0.25 元

因此, 鉴于本研究的目的、研究对象和前人相关研究基础, 本研究尚未进一步操纵奖赏(如进一步加大奖赏力度)。然而, 我们非常赞同专家您的意见: “当奖赏够强时, 可能会出现稀缺心态效应的反转, 即稀缺心态下个体可能表现出铤而走险的行为。” 根据您的宝贵建议, 我们也将未考虑高奖赏幅度这一条件作为本研究的不足之处及未来研究的方向添加到正文的讨论部分中。具体描述如下: “本研究仅关注低至中等奖赏幅度下稀缺心态对个体风险决策的影响, 尚未触及高额奖赏幅度下稀缺心态对风险决策的影响。未来研究可以进一步考察高额奖赏幅度下稀缺心态效应是否出现反转现象, 即表现出高额奖赏幅度下稀缺心态导致个体倾向于更加风险寻求。” (见“4 讨论”最后一段)”

参考文献

徐四华, 方卓, 饶恒毅. (2013). 真实和虚拟金钱奖赏影响风险决策行为. *心理学报*, 45(8), 874–886.

杨玲, 王斌强, 耿银凤, 姚东伟, 曹华, 张建勋, 许琼英. (2019). 虚拟和真实金钱奖赏幅度对海洛因戒断者风险决策的影响. *心理学报*, 51(4), 507–516.

- Bornovalova, M. A., Cashman-Rolls, A., O'Donnell, J. M., Ettinger, K., Richards, J. B., deWit, H., & Lejuez, C. W. (2009). Risk taking differences on a behavioral task as a function of potential reward/loss magnitude and individual differences in impulsivity and sensation seeking. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 93(3), 258–262.
- Cosenza, M., Griffiths, M. D., Nigro, G., & Ciccarelli, M. (2017). Risk-taking, delay discounting, and time perspective in adolescent gamblers: An experimental study. *Journal of Gambling Studies*, 33(2), 383–395.
- Hüpen, P., Habel, U., Schneider, F., Kable, J. W., & Wagels, L. (2019). Impulsivity moderates skin conductance activity during decision making in a modified version of the balloon analog risk task. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 345.
- Mishra, S., Gregson, M., & Lalumière, M. L. (2012). Framing effects and risk-sensitive decision making. *British Journal of Psychology*, 103(1), 83–97.
- Sebri, V., Triberti, S., Granic, G. D., & Pravettoni, G. (2023). Reward-dependent dynamics and changes in risk taking in the Balloon Analogue Risk Task. *Journal of Cognitive Psychology*, 35(3), 340–354.
- Xu, S., Pan, Y., Qu, Z., Fang, Z., Yang, Z., Yang, F., Wang, F., & Rao, H. (2018). Differential effects of real versus hypothetical monetary reward magnitude on risk-taking behavior and brain activity. *Scientific Reports*, 8(1), 3712.

审稿专家 2:

本文基于稀缺理论、不确定性管理理论，探究了稀缺心态对风险决策的影响，并检验了奖赏幅度和反馈结果类型的调节作用。研究选题具有较强的创新性，研究设计较为合理，研究过程严谨，得到了一些较为有意义的发现，但是，仍存在如下问题需要仔细斟酌和完善：

意见 1. 引言部分，关于“奖赏幅度和反馈结果类型（即正、负反馈）的调节作用”的论述不够清晰；此外，为什么同时选择奖赏幅度和反馈结果类型作为本文的两个调节变量？请进一步阐释上述问题。

回应：非常感谢专家的宝贵建议，您提的问题非常重要。本研究在实验 1（行为实验）中考察了奖赏幅度（高、低）在稀缺心态对风险决策影响中的调节作用；在实验 2（脑电实验）中考察了反馈结果（正、负）的调节作用，原因如下：

- （1）将奖赏幅度作为调节变量：

基于以往研究有关“稀缺心态影响风险决策”不一致的结论，本研究从决策情境视角出发，关注二者间的潜在调节变量。由于决策过程通常伴随着一定的金钱奖赏，因此近年研究逐渐将奖赏属性纳入风险决策的研究中。例如，Xu 等（2018）发现，奖赏类型可调节金钱对风险决策的影响，即当采用真实奖赏时，金钱损失可导致风险规避；但当采用虚拟奖赏时，上述影响消失。类似地，杨玲等（2019）发现当采用真实金钱奖赏时，海洛因成瘾者和正常被试的风险偏好均随奖赏幅度的增加而降低。因此，本研究提出奖赏幅度可能是稀缺心态影响风险决策的关键变量。然而，现有研究尚未考察奖赏幅度在稀缺心态与风险决策关系中的作用，本研究拟对此进行补充。**这是因为风险决策涉及对不确定情境下收益和损失的评估，而稀缺可改变个体的奖赏敏感性（Huijsmans et al., 2019），使个体对不确定的资源（如金钱）更为敏感（Mullainathan & Shafir, 2013）。**因此，本研究将奖赏幅度作为调节变量，旨在整合以往研究，拓展稀缺心态影响风险决策的边界条件。

（2）将反馈结果作为调节变量：

首先，**反馈结果是触发大脑“结果评估”的核心变量，直接关联到决策后的强化学习过程。**ERP 研究显示，FRN 和 P300 成分反馈相关负波（FRN）作为关键脑电指标，本身就对结果类型高度敏感。例如，负面反馈（气球爆炸）会引发更显著的 FRN（信号更“负”），和更大的 P300，正面反馈（获得收益）则不会（Leng & Zhou, 2010; Wu & Zhou, 2009），这是因为大脑会优先加工损失以调整后续行为，而对收益的反应则相对稳定。根据以往研究，稀缺心态个体因认知资源受限，对负性结果更敏感，从而在神经层面表现出更强的反馈加工调整（Huang et al., 2023）。因此，本研究将反馈结果作为调节变量，旨在揭示稀缺心态影响风险决策的认知神经机制，即检验稀缺者更风险规避是否缘于其强化学习能力受损（更难利用负反馈调整后续决策）。

（3）同时选择奖赏幅度和反馈结果类型作为本文的两个调节变量：

奖赏幅度与反馈结果分别作用于决策的不同阶段。**奖赏幅度反映决策前的激励强度，主要影响个体对潜在收益和损失的权衡与期望评估；而反馈结果类型反映决策后的结果加工过程，决定个体如何利用奖赏或惩罚信息进行学习与策略调整（Kuhnen & Knutson, 2005），**二者共同构成风险决策的动态过程。因而，我们同时考察奖赏幅度及反馈结果的调节作用，从而系统呈现稀缺心态对风险决策的阶段性影响。

我们已将上述内容在正文中补充（见“前言”第 3~5 段）。

意见 2. 实验 1，因变量指标为未爆炸气球平均充气次数，这样会不会低估个体的风险偏好水平？请澄清为什么不考虑每个气球的平均充气次数。

回应：非常感谢专家的宝贵建议。正如您指出，未爆炸气球平均充气次数和每个气球的平均充气次数均可作为 BART 中风险偏好的测量指标（e.g., Rodrigues et al., 2023）。然而，本研究中更关注“未爆炸气球平均充气次数”，这是因为该指标更符合研究的任务逻辑，可更为有效地反映个体的风险偏好。

首先，“未爆炸气球的平均充气次数”可排除任务中气球爆炸这一**随机外部因素**的干扰，单纯反映个体主动的风险决策意愿（Lejuez et al., 2002）。根据 BART 的任务逻辑，每个气球有隐藏的爆炸阈值，充气次数越多，爆炸概率越大；若气球爆炸，个体损失该轮收益，试次强制终止。因此，气球爆炸在一定程度上是外部随机事件导致的强制结果，而非个体主动选择，无法准确反映个体原本的风险意愿（也就是说，气球爆炸可能是因为个体更冒险，也可能是因为运气不好）。而在未爆炸试次中，个体在无外部强制终止的情况下，自主决定停止充气并锁定收益，其充气次数代表个体为追求特定收益而愿意承担的最大风险，与风险偏好的核心定义（主动权衡风险与收益的倾向）更匹配。

其次，以往研究发现，未爆炸气球的平均充气次数与现实风险行为显著相关（Canning et al., 2022; Rose et al., 2014），进一步表明该指标有效反映了个体的风险偏好。正因如此，以往研究中也更常采用“未爆炸气球平均充气次数”而非“每个气球的平均充气次数”作为风险偏好的测量指标（e.g., Hüpen et al., 2019; Lejuez et al., 2002; Li et al., 2020; Rose et al., 2014; Sebri et al., 2023）

综合以上原因，本研究采用“未爆炸气球平均充气次数”作为因变量的测量指标。相关说明已在正文“2.3.2 BART”中进行补充。

参考文献

- Canning, J. R., Schallert, M. R., & Larimer, M. E. (2022). A systematic review of the Balloon Analogue Risk Task (BART) in alcohol research. *Alcohol and Alcoholism*, 57(1), 85–103.
- Hüpen, P., Habel, U., Schneider, F., Kable, J. W., & Wagels, L. (2019). Impulsivity moderates skin conductance activity during decision making in a modified version of the balloon analog risk task. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 345.

- Lejuez, C. W., Read, J. P., Kahler, C. W., Richards, J. B., Ramsey, S. E., Stuart, G. L., Strong, D. R., & Brown, R. A. (2002). Evaluation of a behavioral measure of risk taking: The Balloon Analogue Risk Task (BART). *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8(2), 75–84.
- Li, X., Pan, Y., Fang, Z., Lei, H., Zhang, X., Shi, H., Ma, N., Raine, P., Wetherill, R., Kim, J. J., Wan, Y., & Rao, H. (2020). Test-retest reliability of brain responses to risk-taking during the balloon analogue risk task. *NeuroImage*, 209, 116495.
- Rodrigues, J., Ruthenberg, P., Mussel, P., & Hewig, J. (2023). Never mind losing the pound... still got the penny! The influence of trait greed on risky decision behavior in a mixed and gain only BART. *Current Psychology*, 42(28), 24399–24409.
- Rose, A. K., Jones, A., Clarke, N., & Christiansen, P. (2014). Alcohol-induced risk taking on the BART mediates alcohol priming. *Psychopharmacology*, 231(11), 2273–2280.
- Sebri, V., Triberti, S., Granic, G. D., & Pravettoni, G. (2023). Reward-dependent dynamics and changes in risk taking in the Balloon Analogue Risk Task. *Journal of Cognitive Psychology*, 35(3), 340–354.

意见 3. 实验 2，“反馈结果”这一自变量是如何操纵的？请添加相关描述或实验流程示意图。在“3.5.2 行为结果”部分，是否应采用重复测量的方差分析，并同时看稀缺心态、反馈结果类型的主效应，及两者的交互作用？

回应：非常感谢专家的宝贵建议和耐心指正。

（1）“反馈结果”是通过气球模拟风险任务随机操纵的：被试每次充气后，气球可能爆炸（负反馈）或成功充气（正反馈）。负反馈指气球爆炸导致本次收益清零，正反馈指成功充气获得收益。此外，我们添加了流程图以直观展示实验流程（见下图）。上述内容均已在正文中进行补充（见“3.3 实验流程”）。

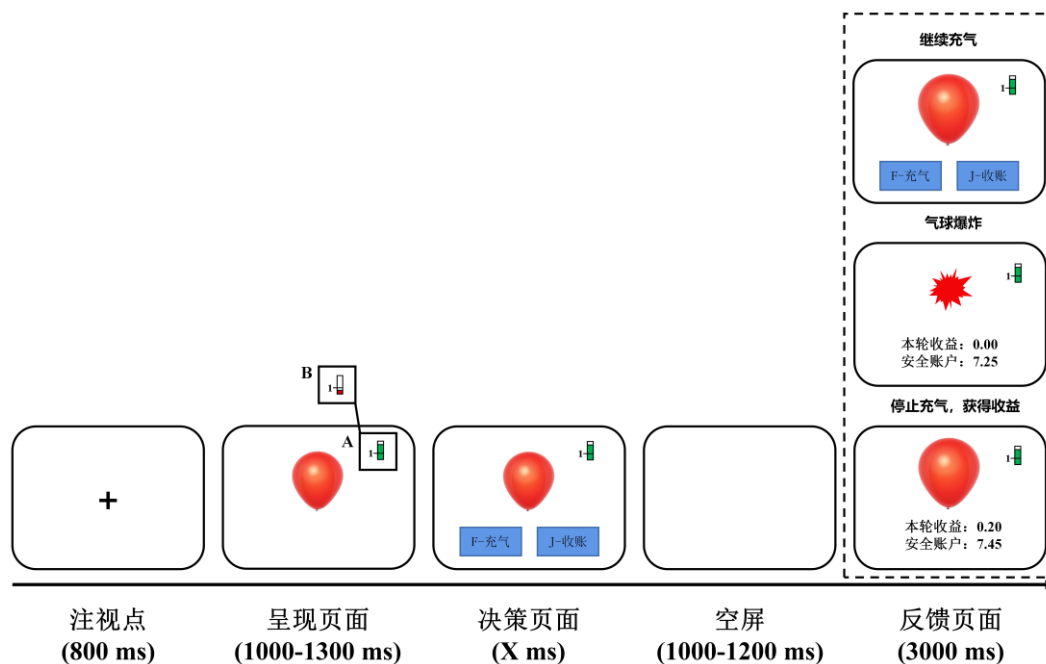


图 实验流程（实验 2）

（2）关于“3.5.2 行为结果”部分的统计分析，我们对未爆炸气球平均充气次数进行 2（心态：稀缺，富裕） $\times$ 2（反馈类型：正反馈，负反馈）的重复测量方差分析，结果发现，心态的主效应显著， $F(1, 25) = 4.50$, $p = 0.035$, $\eta_p^2 = 0.17$ ，被试在稀缺心态下的充气次数（ $M = 4.33$, $SD = 1.47$ ）显著低于富裕心态条件（ $M = 4.68$, $SD = 1.34$ ）。反馈类型的主效应显著， $F(1, 25) = 6.65$, $p = 0.016$, $\eta_p^2 = 0.21$ ，负反馈条件的充气次数（ $M = 4.35$, $SD = 1.41$ ）显著低于正反馈条件（ $M = 4.66$, $SD = 1.41$ ）。心态和反馈类型的交互作用不显著， $F(1, 25) = 0.05$, $p = 0.82$, $\eta_p^2 = 0.00$ 。上述内容已在正文中进行了修改（见“3.5.2 行为结果”）。

意见 4. 讨论的第 6 段与第 4、5 段内容部分重复，可考虑精简、或填补至其他段落，以增强讨论部分的整体逻辑。另外，讨论部分需要进一步加强本研究的理论贡献和现实意义的讨论。

回应：感谢您对本文的细致评审和宝贵建议，根据您的建议，我们对文章讨论部分的整体逻辑进行了优化，其中，第 3、4 段为对本研究 ERPs 结果的解释；第 5 段为研究的理论意义；第 6 段为研究的现实意义。

我们对讨论第 3、4 段进行了删减，并加强了对本研究的理论贡献和现实意义的讨论，具体内容如下（见讨论第 5、6 段）：

“本研究具有重要的**理论意义**。首先，本研究基于稀缺理论及不确定管理理论（Amir et al., 2018; Shah et al., 2012），拓展了稀缺心态的心理后效。其次，本研究从决策情境层面拓展了稀缺心态影响决策偏好的边界条件，有助于理解稀缺效应的情境特异性，有助于整合以往研究中有关稀缺与风险偏好的不一致结论。再次，以往研究从情绪、信息框架及人格特质视角探究风险偏好的心理成因（Mishra et al., 2012; Wang et al., 2019; Zhang et al., 2020），本研究则进一步发现，个体拥有资源的感知匮乏程度（稀缺心态）及风险决策中的奖赏水平可共同影响风险决策，拓展了个体风险偏好的前因；最后，本研究揭示了稀缺心态影响风险决策的时序动态特征，即稀缺状态增强了个体对负反馈的敏感性与注意资源分配，进而影响其决策过程，丰富了稀缺理论的实证依据。

本研究也具有重要的**实践意义**。首先，本研究揭示了有限资源如何塑造个体的决策机制，为社会治理与政策制定提供了心理学依据。稀缺个体难以有效利用强化学习调整后续决策，更倾向于采取以规避损失为主的决策模式。这提示政策制定者在面向低收入群体时，应通过提供稳定的资源预期与心理安全感（如普惠金融保障、小额信贷支持、风险共担机制）减少个体的稀缺感知，提升其理性风险评估与长远规划能力。其次，本研究发现奖赏幅度及反馈类型对稀缺效应具有调节作用，这一结果提示可通过合理设计奖赏结构与反馈机制，改善资源稀缺个体的决策质量。以往研究显示，针对稀缺群体的行为干预（如提供储蓄账户、储蓄提醒）能有效减少认知资源损耗，促进合理经济决策，从而帮助他们摆脱“稀缺思维”的陷阱，打破相对贫困的代际传递（Carvalho et al., 2016）。本研究则为稀缺群体提供了新的干预思路，例如，在教育、金融与创业支持中，设置小额、即时的正性反馈或可增强个体的控制感与探索意愿。本研究不仅深化了对资源稀缺对非适应性决策影响的理解，对推进“提低”、“扩中”，促进社会公平与共同富裕亦具有重要的现实意义。”

除此之外，我们对文章内容进行了进一步的仔细校对与补充，主要问题有以下几个方面：
（1）补充了实验 2 中 BART 的奖赏金额说明（气球每成功吹气一次收益为 0.05 元）；（2）补充了新的参考文献。

非常感谢两位审稿专家为本研究提出的宝贵意见！你们的建议不仅对完善本研究至关重要，而且为我们未来的研究指明了方向。再次致以最诚挚的感谢！

第二轮修改

(稿件编号: JPS2025-444)

非常感谢《心理科学》审稿专家对《稀缺心态对风险决策的影响: 来自行为与 ERPs 的证据》一文做出评审。作者已对审稿专家提出的问题进行了仔细梳理, 并按照专家的意见对论文做出了详细修改(正文中修改的内容已用蓝色进行标识)。下面根据专家建议逐一说明。

审稿专家 1:

作者针对审稿人提出的问题进行了较为全面和细致的修改, 基本回答了相关问题, 但仍有以下几个问题需要进一步阐释。

意见 1. 请在引言中进一步补充关于 FRN 波幅与反馈敏感性及其后续决策倾向关系的相关内容, 并注意保持全文论述的一致性, 避免出现矛盾的论述。

回应: 非常感谢您的宝贵建议。我们在引言中进一步阐述 FRN 波幅、反馈敏感性与后续决策调整之间的关联:

根据强化学习理论 (reinforcement learning theory) 与相关 ERP 研究, FRN 是反映结果评价阶段中奖赏预测误差 (reward prediction error) 的神经指标, 其波幅大小反映个体对反馈结果 (尤其是负性反馈) 的敏感程度以及用于更新行为策略的学习信号强度 (Holroyd & Coles, 2002; Xu et al., 2018)。已有研究表明, 更大的 FRN 波幅 (即更负的偏转) 通常意味着个体对结果偏差更为敏感, 从而更可能根据负反馈调整后续决策行为; 相反, FRN 波幅减小则提示个体对负反馈的神经反应减弱, 强化学习信号不足, 进而削弱其基于反馈进行策略修正的能力 (Walsh & Anderson, 2012)。在风险决策任务中, 这种反馈学习能力的差异可能进一步影响个体是维持既有风险偏好, 还是根据失败经验调整为更加谨慎或保守的决策策略 (Chandrakumar et al., 2018)。因此, 考察不同心态条件下 FRN 对正、负反馈的反应模式, 有助于揭示个体在风险决策中如何加工反馈信息并据此更新行为策略, 从而为理解稀缺心态影响风险决策的动态机制提供神经层面的证据。

相关内容已在前言中补充。

补充参考文献:

Walsh, M. M., & Anderson, J. R. (2011). Learning from delayed feedback: Neural responses in temporal credit

意见 2. 请阐述实验 2 奖赏幅度的设定是 0.05 元的原因。

回应: 非常感谢您的宝贵建议。实验 2 中将单次成功充气的奖赏幅度设定为 0.05 元，主要基于以下考虑：

第一，脑电实验需要叠加的试次数量较多。本研究共设 180 个试次，若单次收益设定过高，会导致最终奖励金额过大；而若设定过低，则可能降低被试动机。将单次成功充气奖励设置为 0.05 元，可使每名被试最终收益在一个相对合理的区间内（平均 54 元），可在保证参与动机的同时避免激励过强干扰任务执行。

第二，在 BART 任务中，0.05 元的中等奖赏幅度是前人研究常采用的一个设定值，有助于保持实验操作的有效性和结果的可比性（e.g., Cosenza et al., 2016; Sebri et al., 2023）。

综上，实验 2 中 0.05 元的奖赏幅度是在兼顾实验目的、奖赏合理性及与既有文献一致性的前提下确定的。根据审稿专家的建议，我们已在正文部分补充了上述说明（见“3.3 实验流程”）。

补充参考文献:

Cosenza, M., Griffiths, M. D., Nigro, G., & Ciccarelli, M. (2017). Risk-taking, delay discounting, and time perspective in adolescent gamblers: An experimental study. *Journal of Gambling Studies*, 33(2), 383–395.

Sebri, V., Triberti, S., Granic, G. D., & Pravettoni, G. (2023). Reward-dependent dynamics and changes in risk taking in the Balloon Analogue Risk Task. *Journal of Cognitive Psychology*, 35(3), 340–354.

意见 3. 对于脑电结果的相关阐释。FRN 信号越强，表明个体对某种反馈的敏感性更强 (邓尧等 2022; Xu et al., 2018)。在实验 2 中，FRN 的脑电结果显示，心态和反馈结果的交互作用显著，正反馈条件下，不同心态下个体的 FRN 波幅不存在显著差异，但在负反馈条件下，稀缺心态下诱发的 FRN 波幅显著小于富裕心态条件。这表明，不同心态的个体对正反馈的敏感性不存在显著差异；但与富裕心态相比，稀缺心态下的个体对负反馈的敏感性降低。这可能导致个体更难利用负反馈调整后续决策，表现为强化学习能力降低。但这种强化能力降低对后续决策倾向影响是使个体继续保持高风险偏好，还是形成固定的风险回避模式需要参考文献支撑。

回应：非常感谢您的宝贵建议。

FRN 反映的是个体对反馈结果的敏感性及其在强化学习中的权重，FRN 波幅降低并不必然导致风险偏好或规避。在强化学习框架下，负反馈敏感性降低既可能表现为对损失惩罚的不敏感，从而维持甚至增强风险寻求；也可能导致个体难以根据反馈灵活调整策略，进而固守既有反应模式，其具体行为后果取决于个体初始风险偏好及决策情境特征。正如以往研究发现，FRN 与风险偏好的关系并非稳定一致：在恐惧情绪条件下 FRN 波幅与风险偏好呈正相关，而在愉悦条件下 FRN 波幅与风险偏好则呈负相关（Yang et al., 2018）。

结合本研究的具体任务情境，可以对上述神经结果作进一步解释。首先，BART 任务为个体提供了明确且稳定的安全选项，使得在经历负反馈后，通过减少充气次数即可有效规避进一步损失；其次，稀缺心态下个体对资源损失的主观重要性被显著放大（Mullainathan & Shafir, 2013），在负反馈学习信号减弱的情况下，其更可能采取保守策略以维持最低资源水平，而非通过持续冒险追求潜在高收益；再次，相关研究表明，在资源受限或高不确定性情境中，反馈学习能力受损往往与策略僵化及风险回避模式的固化相关，而非风险寻求（Amir et al., 2018; Haushofer & Fehr, 2014）。

因此，综合脑电结果与行为表现，我们认为：稀缺心态下负反馈相关 FRN 波幅减小，更可能反映个体难以有效利用负反馈进行灵活的策略更新，从而逐渐形成以规避损失为核心的稳定风险回避模式。我们已在讨论部分补充上述解释（见讨论第 3 段），以避免对 FRN 结果作出过度或单向的行为推断。

补充参考文献：

Yang, Q., Zhao, D., Wu, Y., Tang, P., Gu, R., & Luo, Y. (2018). Differentiating the influence of incidental anger and fear on risk decision-making. *Physiology & Behavior*, 184, 179–188.
<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.11.028>

意见 4. FRN 成分与 P300 成分分别在反馈出现后的 200–300ms 和 300–600ms 出现，作者在讨论中是否可以考虑讨论两者如何共同作用于个体的风险决策倾向。

回应：非常感谢您的宝贵建议。

FRN 与 P300 分别反映反馈加工的早期评价阶段与后期情境更新阶段，二者共同参与了反馈驱动的决策调整过程（Schuermann et al., 2012）。具体而言，FRN 通常出现在反馈呈现后的 200~300 ms，主要反映个体对反馈正负性及奖赏预测误差的快速评估，是一种相对自

动化的反馈敏感性与强化学习信号（Holroyd & Coles, 2002; Sambrook & Goslin, 2015）。而 P300 出现在 300~600 ms 的较晚阶段，更多体现个体对反馈结果的注意资源投入、结果显著性评估以及对当前决策情境的整体更新（Polich, 2007）。

本研究发现，在负反馈条件下，稀缺心态个体呈现出 FRN 减弱与 P300 增强的分离：一方面，认知资源因稀缺而受限，削弱了对负反馈的预测误差编码效率，表现为 FRN 波幅降低，意味着早期强化学习信号的减弱（Holroyd & Coles, 2002）；另一方面，稀缺增强了个体对损失的动机性关注与情绪显著性，使其在晚期反馈加工中投入更多注意资源，表现为 P300 波幅升高（Polich, 2007; Hajcak & Foti, 2020）。个体虽对负反馈有更强的情绪与注意反应，却难以将其有效转化为行为调整的学习资源，从而更倾向于维持原有的风险规避策略，而非灵活适应环境变化。这种稀缺心态下“高动机反应”与“低学习更新”并存的特征，可能共同固化了其在风险决策中的保守倾向。上述内容已在讨论部分第 5 段补充。

补充参考文献：

Schuermann, B., Endrass, T., & Kathmann, N. (2012). Neural correlates of feedback processing in decision-making under risk. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, Article 204. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00204>

审稿专家 2：

意见：作者吸纳本人意见，界定了研究的边界，在文章相关部分讨论了极端奖励条件下可能的反转问题，对增加实验研究的建议也作出了很好的解释。请再对全文的文字加以润色。

回应：非常感谢您的宝贵建议。我们对全文进行润色，修订之处均已在正文标注。

再次感谢两位审稿专家为本研究提出的宝贵意见！