

阈下奖励调节认知控制的权衡^{*}

徐 雷 王丽君 赵远方 谭金凤 陈安涛

(西南大学心理学部, 认知与人格教育部重点实验室, 重庆 400715)

摘 要 本研究采用奖励版的 AX-CPT 任务, 通过控制奖励线索和反馈的呈现方式, 设置出基线、阈上奖励、阈下奖励三种条件, 考察习得的奖励联结和奖励动机能否以潜意识的方式影响认知任务的表现和认知控制的权衡。结果显示: 奖励线索只在阈上呈现时提高 AX 序列的任务表现; 与基线条件相比, 阈上和阈下奖励条件下认知控制的权衡均偏向主动性控制, 且这种偏向在两者间无显著差异。这表明习得的阈下奖励线索可以调节认知控制的权衡, 使被试像阈上奖励时那样偏向主动性控制。

关键词 阈上奖励; 阈下奖励; 认知控制的权衡; 主动性控制

分类号 B842

1 引言

奖励对认知的调节作用一直以来是研究者们所关注的重要问题。诸多研究显示, 奖励能够增强注意、工作记忆、认知控制等认知活动(Beck, Locke, Savine, Jimura, & Braver, 2010; Braem, Verguts, Roggeman, & Notebaert, 2012; Garavan & Weierstall, 2012; Padmala & Pessoa, 2011; Pessoa, 2009)。有关双重认知控制理论(Dual mechanisms of cognitive control account)的研究显示, 奖励能够使个体偏向主动性控制。该理论将认知控制分为主动性控制和反应性控制(Braver, 2012; Braver, Gray, & Burgess, 2007)。前者通过在反应前积极维持对目标相关信息的表征来预防可能发生的冲突, 而后者通过在反应时重新激活目标相关信息以解决冲突。个体能灵活地在两种认知控制间进行权衡(tradeoff/shift), 调节其权重(偏向主动性控制或偏向反应性控制), 以形成对任务操作最有利的认知控制模式(徐雷, 唐丹丹, 陈安涛, 2012)。而奖励能够影响这一认知控制的权衡, 使个体偏向主动性控制(Jimura, Locke, & Braver, 2010; Locke & Braver, 2008; Savine & Braver, 2010)。

处于感觉阈限之下的信息虽然不能为个体察觉, 但却能以潜意识的方式影响个体行为(Custers & Aarts, 2010)。近年来, 已有研究开始关注阈下呈现的奖励线索对认知的影响。研究者们通常采用高奖励和低奖励两种奖励线索, 并控制线索刺激和掩蔽刺激的呈现时间, 使部分线索刺激以阈下方式呈现, 通过对比高低奖励在阈下呈现时对任务表现的影响来考察阈下奖励的作用。研究表明, 对奖励的意识并非奖励影响行为的必要条件(Aarts, Custers, & Marien, 2008; Aarts, Custers, & Veltkamp, 2008; Bargh, Lee-Chai, Barndollar, Gollwitzer, & Trötschel, 2001)。

那么, 认知控制的权衡作为一种高级认知活动, 是否也会受到阈下奖励线索的调节? 换句话说, 奖励能否以潜意识的方式影响人们的认知控制策略? 如果能, 阈下奖励和阈上奖励的调节作用是一致的(偏向主动性控制)还是相反的(偏向反应性控制)? 尽管目前国外已有少量有关阈下奖励的研究, 但却还没有研究涉及到阈下奖励影响认知控制的权衡。

此外, 已有阈下奖励的研究均使用货币图案作为奖励线索, 它所引起的奖励动机较强较稳定。因

收稿日期: 2013-06-24

^{*} 国家自然科学基金项目(31170980、81271477), 全国优秀博士学位论文作者专项资金资助项目(201107)和教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-11-0698)资助。

通讯作者: 陈安涛, E-mail: xscat@swu.edu.cn

此, 货币奖励线索阈下呈现时仍能影响个体的行为并不奇怪。但需要通过练习和个人经验才能习得的奖励线索(如, 符号)所引起的奖励动机可能较弱, 当阈下呈现时还能起到奖励作用吗? 到目前为止, 研究者们并不清楚符号线索是否能以潜意识的方式影响认知和行为。

为回答上述两个问题并弥补已有研究的空白, 本研究采用奖励版的 AX-CPT 任务, 通过控制奖励线索和反馈的呈现方式, 设置出基线、阈上奖励、阈下奖励三种条件, 来考察习得的奖励联结和奖励动机能否以潜意识的方式影响认知任务的表现和认知控制的权衡。

2 实验方法

2.1 被试

24 名大学生被试均为右利手, 视力或矫正视

力正常, 身体健康且无神经系统疾病。所有被试均自愿参加实验, 实验完成后根据每名被试的任务表现给予相应的报酬(50~80 RMB)。在数据分析时, 有 2 名被试的数据记录不完整被剔除。最终有效被试 22 人(男生 11 人), 年龄从 18 岁到 25 岁($M = 21.68$ 岁, $SD = 1.59$)。

2.2 实验任务与材料

实验任务为奖励版的 AX-CPT 任务(见图 1), 具体为, 在 AX-CPT 任务前呈现一个奖励相关线索, 并在 AX-CPT 任务之后呈现奖励相关反馈。

AX-CPT 任务的刺激为 4 个黑色大写英文字母 A、B、X、Y (36 号 Times New Roman 字体), 这些字母在灰色屏幕中央逐个呈现。AX-CPT 任务包含线索刺激(A 或者 B)、延迟阶段(注视点空屏)和探测刺激(X 或者 Y)。在探测刺激呈现时, 要求被试又快又准地对线索 A 之后出现的探测 X 用右手食指

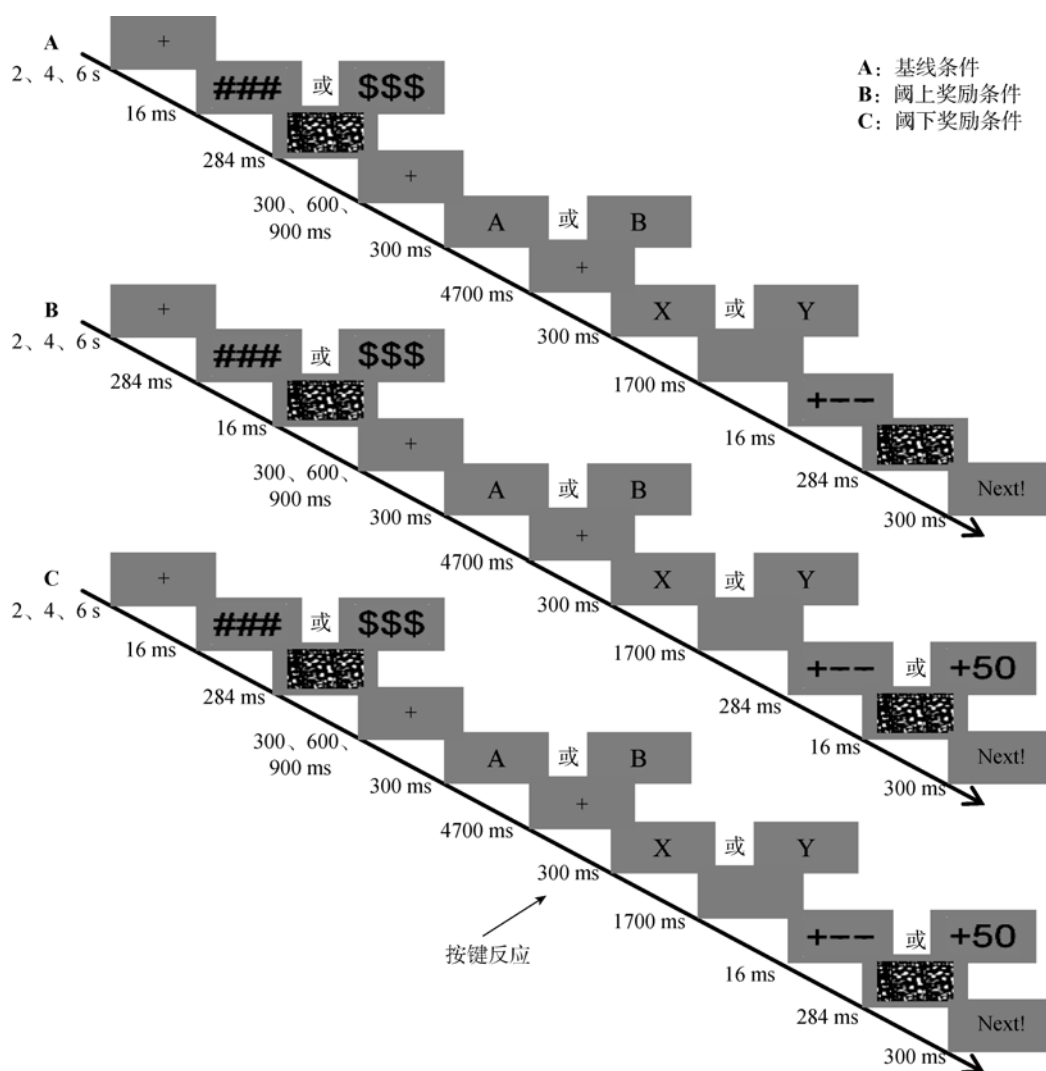


图 1 实验流程图

做靶反应(即, AX 序列), 对其他情况用左手食指做非靶反应(即, AY、BX 和 BY 序列)。其中 AX 序列占 70%, AY、BX 和 BY 序列各占 10%。

奖励相关的线索刺激为“\$\$\$”和“###”, “\$\$\$”意味着潜在的奖励、“###”意味着无奖励。奖励相关的反馈刺激为“+50”和“+--”, 前者意味着获得了 50 积分的奖励, 后者意味着没有获得奖励积分。奖励相关线索和反馈的呈现方式有两种: 阈上呈现(284 ms 后出现 16 ms 的掩蔽刺激)和阈下呈现(16 ms 后出现 284 ms 的掩蔽刺激)。奖励条件的设置及奖励标准详见“实验设计与程序”。

实验任务开始后, 首先呈现奖励相关线索和掩蔽(共 300 ms), 随后呈现十字注视点(在 300 ms、600 ms 或 900 ms 中随机), 紧接着呈现 AX-CPT 序列: 线索字母(300 ms)、十字注视点(4700 ms)、探测字母(300 ms)和反应空屏(1700 ms), 要求被试在探测字母呈现时开始反应, 因此反应时限为 2000 ms, 超过反应时限后呈现奖励相关反馈和掩蔽(共 300 ms)及试次结束屏(“Next!”, 300 ms)。一个试次的持续时间为 8.2~8.8 s, 下一个试次呈现前会有 2 s、4 s 或 6 s 的随机间隔(屏幕上仅呈现十字注视点)。

2.3 实验设计与程序

实验采用 3(奖励条件: 基线、阈上奖励、阈下奖励) × 2(奖励线索: “\$\$\$”、“###”) × 4(字母序列: AX、AY、BX、BY)三因素被试内设计。其中, 奖励线索和字母序列为 block 内设计, 奖励条件为 block 间设计。

因变量为 AX 序列的反应时和错误率、AY 和 BX 序列的反应时和错误率。在 AX-CPT 任务中, AX 序列占总试次数的 70%, 且是靶反应试次, 被试在 AX 序列上的行为表现反映了其一般认知能力。AX 序列的反应时越快、错误率越低, 说明被试的任务表现越好。而被试在 AY 和 BX 序列上的行为表现, 综合反映了主动性和反应性认知控制间的策略权衡。由于 AX 序列的高频率出现, 使得被试看到靶刺激(A 或 X)时有较强的靶反应倾向。在 AY 与 BX 序列上, 这种靶反应倾向与被试应该做出的非靶反应形成了冲突, 使得这两个序列的错误率提高。根据双重认知控制理论, 为降低 AY 序列的错误率, 被试需加强反应性控制, 增强对即时出现的探测 Y 的加工, 来抑制线索 A 引起的错误反应倾向; 为降低 BX 序列的错误率, 被试需加强主动性控制, 在诱发错误反应倾向的探测 X 出现前, 通过积极维持线索 B 的表征来预防冲突。反之, 则会增强靶反应

倾向引起的认知冲突。因此, 对主动性控制的偏向将促进 BX 序列的行为表现(错误率或反应时降低)、妨碍 AY 序列的行为表现(错误率或反应时提高); 而对反应性控制的偏向则表现为 AY 序列的行为表现的提高(错误率或反应时降低)和 BX 序列的行为表现的降低(错误率或反应时提高)。

在基线条件下, 奖励相关线索和反馈均阈下呈现, 在指导语中不透露任何与奖励有关的信息。因此, 被试在实验前没有获得与奖励有关的提示, 在实验中也意识不到奖励相关线索和反馈, 被试的任务只是完成 AX-CPT 任务。此条件下的行为表现为随后的阈上和阈下奖励条件提供奖励的标准和对比的基线。在阈上奖励条件下, 奖励相关线索和反馈均阈上呈现, 告知被试“\$\$\$”意味着潜在的积分奖励而“###”则意味着无奖励, 最终获得的积分将按一定比例兑换成被试费。奖励标准具体为, 被试在“\$\$\$”之后的反应按键正确并快于基线条件的平均反应时间, 将获得 50 积分的奖励(在反应屏结束后呈现反馈刺激“+50”); 在“###”之后的反应按键无论快慢正确与否, 均不会获得奖励(“+--”)。经过阈上奖励条件的练习, 被试将形成奖励线索“\$\$\$”与奖励动机之间的联结。在接下来的阈下奖励条件, 奖励相关线索和反馈均阈下呈现, 被试看不到奖励相关线索, 但依旧有奖励存在, 能够获得积分奖励, 并且奖励标准与阈上奖励条件相同。因此, 被试的 3 种奖励条件的实验顺序固定, 首先完成基线条件, 随后完成阈上奖励条件, 最后完成阈下奖励条件。基线条件与阈下奖励条件的唯一差别在于奖励线索“\$\$\$”被赋予了奖励意义, 这个意义来自于阈上奖励条件所形成的奖励联结。本研究着重关注奖励线索为“\$\$\$”时, 3 种奖励条件在 AX-CPT 任务上行为表现。

3 种奖励条件各 120 个试次。其中, 奖励相关线索“\$\$\$”为 90 次(AX 序列 63 次, 其他序列各 9 次), 奖励相关线索“###”为 30 次(AX 序列 21 次, 其他序列各 3 次)。总的 AX 序列为 84 次, AY、BX 和 BY 序列各 12 次。每个条件有 3 个 block, 每个 block (持续 9 min)有 40 个试次, 试次顺序随机。block 间休息 1 min, 正式实验总时长为 1.5 h。在正式实验前, 每个被试需完成练习实验(15 个试次), 正确率达到 90%以上才能进行正式实验。正式实验后, 被试需完成阈下信息迫选实验(其试次流程与正式实验的基线和阈下奖励条件一致, 被试的任务是对阈下呈现的线索和反馈刺激进行辨别并按相应的按

键)。整个实验的总时长为 2 h。

3 实验结果

错误率分析采用原始数据。反应时分析剔除了反应错误的试次(总数据的 6.18%), 以及反应时小于 100 ms 或大于 1500 ms 的数据(总数据的 0.67%)。

3.1 奖励有效性分析

在数据分析前, 为确保阈下信息的有效性, 需要对事后追选实验的正确率进行分析(伍姗姗, 谭金凤, 王丽君, 陈安涛, 2013)。结果显示, 阈下线索辨别的正确率为 50.91% ($SD = 4.26$), 阈下反馈辨别的正确率为 51.65% ($SD = 6.39$), 它们均与猜测概率(50%)无显著性差异(阈下线索, $t(21) = 1.00, p > 0.05$; 阈下反馈, $t(21) = 1.21, p > 0.05$)。这表明阈下信息的呈现方式是有效的。

在实验中, 获得奖励的标准为反应按键正确并快于基线条件的平均反应时间。那么若被试行为表现未提高, 其获得奖励的概率为 50%。阈上和阈下奖励条件获得奖励的概率分别为 $84.24 \pm 8.16\%$ 和 $73.54 \pm 13.92\%$, 均显著高于 50% 的基线概率水平(阈下线索, $t(21) = 19.68, p < 0.01$; 阈下反馈, $t(21) = 7.93, p < 0.01$), 且阈上和阈下奖励之间差异显著, $t(21) = 4.22, p < 0.01$ 。这表明, 阈上和阈下奖励线索均提高了被试的奖励动机。

3.2 阈上和阈下奖励对认知任务的影响

AX-CPT 任务中的 AX 序列占总试次数的 70%,

且是靶反应试次, 被试在该序列上的行为表现反映了其一般认知能力。因此, 首先分析 AX 序列上不同奖励条件和奖励线索的行为表现(见表 1), 来考察阈上和阈下奖励线索对一般认知任务的影响。

对反应时进行 3(奖励条件: 基线、阈上奖励、阈下奖励) $\times$ 2(奖励线索: “\$\$\$”、“###”)重复测量方差分析, 结果显示(见图 2A): 奖励条件的主效应显著, $F(2,42) = 21.59, p < 0.01$; 奖励线索的主效应不显著, $F(1,21) = 3.80, p > 0.05$; 两者的交互效应显著, $F(2,42) = 10.26, p < 0.01$ 。进一步简单效应分析显示: 在阈上奖励条件, 线索“\$\$\$”的反应时显著快于线索“###”, $F(1,21) = 11.04, p < 0.01$; 而在基线和阈下奖励条件, 两种奖励线索间没有显著差异(基线条件, $F(1,21) = 0.01, p > 0.05$; 阈下奖励条件, $F(1,21) = 2.46, p > 0.05$)。

对错误率进行 3(奖励条件: 基线、阈上奖励、阈下奖励) $\times$ 2(奖励线索: “\$\$\$”、“###”)重复测量方差分析, 结果显示(见图 2B): 奖励条件的主效应不显著, $F(2,42) = 2.63, p > 0.05$; 奖励线索的主效应显著, $F(1,21) = 13.75, p < 0.01$; 两者的交互效应显著, $F(2,42) = 8.96, p < 0.01$ 。进一步简单效应分析显示: 在阈上奖励条件, 线索“\$\$\$”的错误率显著低于线索“###”, $F(1,21) = 12.14, p < 0.01$; 而在基线和阈下奖励条件, 两种奖励线索间没有显著差异(基线条件, $F(1,21) = 0.14, p > 0.05$; 阈下奖励条件, $F(1,21) = 0.06, p > 0.05$)。

表 1 AX 序列各处理水平的反应时(ms)和错误率(%) ($M \pm SD$)

奖励线索	反应时(ms)			错误率(%)		
	基线条件	阈上奖励	阈下奖励	基线条件	阈上奖励	阈下奖励
\$\$\$	609 $\pm$ 131	474 $\pm$ 94	513 $\pm$ 94	4.55 $\pm$ 7.89	1.88 $\pm$ 2.06	3.03 $\pm$ 3.79
###	608 $\pm$ 133	532 $\pm$ 131	499 $\pm$ 98	4.98 $\pm$ 6.81	12.12 $\pm$ 13.29	3.25 $\pm$ 4.50

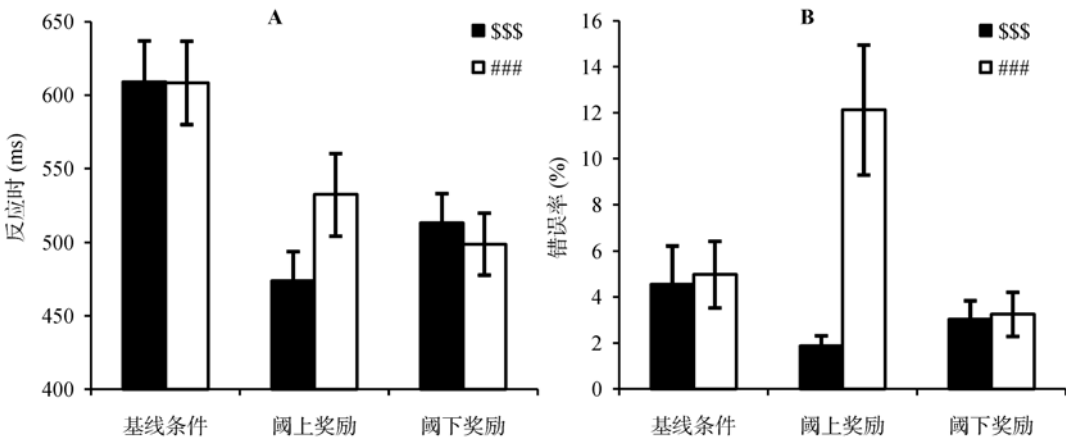


图 2 三种奖励条件下奖励线索“\$\$\$”和“###”的 AX 序列的行为表现

上述结果表明：在阈上奖励条件时，与奖励有关的线索“\$\$\$”促使被试对 AX 序列的靶反应更快更准确；但在阈下奖励条件时，线索“\$\$\$”并没有显著促进被试对 AX 序列的靶反应。这说明，只有阈上奖励促进了被试的任务表现和一般认知能力。

3.3 阈上和阈下奖励对认知控制的权衡的影响

在 AX-CPT 任务中, AY 和 BX 序列的行为表现反映了主动性和反应性认知控制间的策略权衡, 主动性控制会引起 BX 序列行为表现的提高或 AY 序列行为表现的降低, 反应性控制则表现为 AY 序列行为表现的提高或 BX 序列行为表现的降低。由于奖励线索“###”可供分析的 AY 和 BX 序列试次数量过少, 为考察阈上和阈下奖励对认知控制的权衡的影响, 我们将着重关注奖励线索为“\$\$\$”时, 3 种奖励条件在 AY 和 BX 序列上的行为表现(见表 2)。

对反应时进行 3(奖励条件: 基线、阈上奖励、阈下奖励) × 2(字母序列: AY、BX)重复测量方差分析, 结果显示(见图 3A): 奖励条件的主效应显著, $F(2,42) = 38.98, p < 0.01$; 字母序列的主效应显著, $F(1,21) = 164.25, p < 0.01$; 两者的交互效应不显著, $F(2,42) = 1.06, p > 0.05$ 。

对错误率进行 3(奖励条件: 基线、阈上奖励、阈下奖励) × 2(字母序列: AY、BX)重复测量方差分析, 结果显示(见图 3B): 奖励条件的主效应显著,

$F(2,42) = 4.59, p < 0.05$; 字母序列的主效应显著, $F(1,21) = 30.95, p < 0.01$; 两者的交互效应显著, $F(2,42) = 9.22, p < 0.01$ 。简单效应分析显示: 基线条件时, AY 和 BX 序列的错误率没有显著性差异, $F(1,21) = 1.51, p > 0.05$; 阈上奖励条件 AY 序列的错误率显著高于 BX 序列, $F(1,21) = 28.97, p < 0.01$; 阈下奖励条件 AY 序列的错误率同样显著高于 BX 序列, $F(1,21) = 21.50, p < 0.01$ 。

分别选取其中两种奖励条件的错误率进行两因素重复测量方差分析。结果显示: 奖励条件(基线、阈上奖励)与字母序列的交互效应显著, $F(1,21) = 16.20, p < 0.01$, 表明被试在阈上奖励条件比在基线条件时偏向主动性控制; 奖励条件(基线、阈下奖励)与字母序列的交互效应显著, $F(1,21) = 10.12, p < 0.01$, 表明被试在阈下奖励条件比在基线条件时偏向主动性控制; 奖励条件(阈上奖励、阈下奖励)与字母序列的交互效应不显著, $F(1,21) = 0.04, p > 0.05$, 表明被试在阈上和阈下奖励条件的认知控制没有发生权衡转变。

上述结果表明: 与基线条件相比, 被试在阈上和阈下奖励条件均偏向主动性控制(BX 序列行为表现的提高或 AY 序列行为表现的降低), 而且这种对主动性控制的偏向在阈上和阈下奖励间没有显著性差异。这说明阈上和阈下奖励均能调节认知控制的权衡, 使被试偏向主动性控制。

表 2 线索“\$\$\$”时各处理水平的反应时(ms)和错误率(%) ($M \pm SD$)

字母序列	反应时(ms)			错误率(%)		
	基线条件	阈上奖励	阈下奖励	基线条件	阈上奖励	阈下奖励
AY	793±148	609±104	684±133	13.13±19.59	28.28±22.67	33.84±25.77
BX	586±174	407±123	446±115	8.59±12.33	2.02±5.57	6.57±9.49

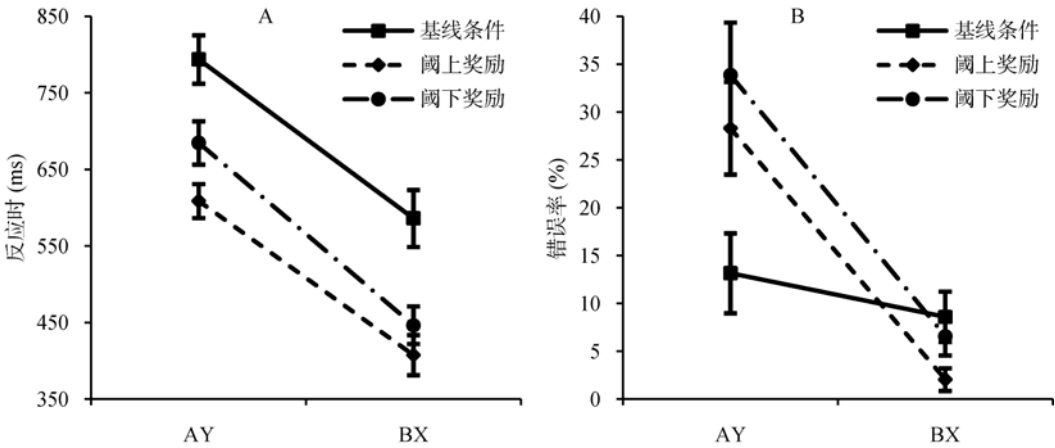


图 3 三种奖励条件下 AY 和 BX 序列的行为表现

4 讨论

本研究采用奖励版的 AX-CPT 任务, 通过控制奖励线索和反馈的呈现方式, 设置出基线、阈上奖励、阈下奖励三种条件, 来考察习得的奖励联结和奖励动机能否以潜意识的方式影响认知任务的表现和认知控制的权衡。结果显示: (1) 奖励线索只在阈上呈现时提高 AX 序列的任务表现, 而在阈下呈现时没有促进作用; (2) 与基线条件相比, 阈上和阈下奖励条件下认知控制的权衡均偏向主动性控制, 且这种偏向在两者间没有显著性差异。这说明, 只有阈上奖励促进了被试的任务表现和一般认知能力, 但阈上和阈下奖励均能调节认知控制的权衡(使被试偏向主动性控制)。

本研究部分重复了前人的研究结果: 阈上呈现的奖励线索能提高 AX 序列的任务表现。但习得的奖励线索在阈下呈现时却没有这种促进作用, 这一结果与前人研究有所不同。先前的研究采用货币作为奖励线索, 对数字保持任务、数字计算任务和注意瞬脱任务的研究, 均发现阈下呈现的奖励线索对任务表现有促进作用(Bijleveld, Custers, & Aarts, 2009, 2010, 2011; Zedelius, Veling, & Aarts, 2011b)。我们认为产生这种不一致结果的原因可能是实验设计的不同。先前的研究均采用货币作为奖励线索, 与本研究中的习得性的符号奖励线索相比, 货币与奖励动机的联结更强、更稳定。此外, 先前的研究均采用 block 内设计, 同一 block 中的奖励线索既有阈上呈现的也有阈下呈现的, 这就使得实验的奖励情境较强, 被试的内在奖励动机较大, 阈下呈现的奖励线索更有可能转化为外显行为上的提高。而本研究采用的是 block 间设计, 阈上和阈下奖励条件分属于不同的 block。在阈下奖励条件所有的奖励线索均是阈下呈现的, 此时的奖励情境就弱了很多, 被试的内在奖励动机也会降低, 阈下奖励引起的促进作用很可能没有达到可以被观测到的显著性水平。本研究中, 被试在阈下奖励条件获得奖励的概率($73.54 \pm 13.92\%$)显著低于阈上奖励条件($84.24 \pm 8.16\%$), $t(21) = 4.22, p < 0.01$ 。这表明阈下奖励条件的奖励情境和奖励动机的确弱于阈上奖励条件, 在一定程度上支持了上述解释。

在阈下奖励条件, 已经习得的奖励线索与奖励动机之间的联结能够调节认知控制的权衡; 并且阈下奖励的调节作用与阈上奖励一致, 均使被试偏向主动性控制。这一结果表明, 即使是习得的阈下奖

励线索也能够调节认知控制的权衡这一高级认知活动。这也进一步印证和发展了前人研究关于“对奖励线索的意识并不是奖励起作用的必要条件”这一结论。Pessiglione 等人(2007)考察了阈上和阈下奖励线索对握力反应的影响, 并记录了实验过程的脑成像数据和皮肤电反应(skin conductance response, SCR), 结果显示: 无论个体是否意识到奖励线索, 在高奖励时总会施展更多的力量, 并且这种奖励效应以基底前脑为神经基础。眼动研究显示: 在数字记忆保持任务(digit-retention task)中, 当需要记忆的数字较多时, 阈上和阈下高奖励均使被试的瞳孔放大(Bijleveld et al., 2009)。阈下奖励能像阈上奖励一样, 促进工作记忆再认任务中目标相关信息的维持(Zedelius, Veling, & Aarts, 2011a; Zedelius et al., 2011b)、提高执行控制能力(Capa, Bustin, Cleeremans, & Hansenne, 2011)。但也有研究表明, 阈下和阈上奖励对认知的影响存在些许差异: 在数字计算任务中, 阈下高奖励使操作更快(eager)、阈上高奖励使操作更慢更精确(cautious)(Bijleveld et al., 2010); 与阈上高奖励相比, 阈下高奖励时被试更不容易受到无关信息的干扰, 在注意瞬脱(attentional blink)任务中更能提高 T2 的辨别率(Bijleveld et al., 2011)。

本研究的结果和已有研究结果为阈下奖励的研究提供了行为研究的证据, 进一步研究需要采用功能磁共振(fMRI)或脑电(ERP)技术, 从神经生理层面上深入考察阈下奖励调节认知的神经机制。对阈上奖励的神经机制的研究表明, 大脑奖赏系统主要包括两条通路: 边缘通路(mesolimbic pathway)和脑皮层通路(mesocortical pathway)。边缘通路是从腹侧被盖区(ventral tegmental area)经内侧前脑束(medial forebrain bundle)到伏膈核(nucleus accumbens); 而脑皮层通路是连接腹侧被盖区和脑皮层(尤其是额叶)的通路(Chiew & Braver, 2011; 魏萍, 康冠兰, 2012)。阈下奖励调节认知的神经机制是否与阈上奖励相同, 将是接下来的研究重点。

由于本研究中奖励条件的顺序没有随机, 可能存在练习效应。在结果分析中确实发现, 被试在最后完成的阈下奖励条件时反应速度比最先完成的基线条件快。但进一步分析显示, 条件(基线、阈下奖励)与线索(\$\$\$、###)的交互效应不显著, $F(1, 21) = 1.28, p > 0.05$, 条件(基线、阈下奖励)与序列(AX、AY、BX、BY)的交互效应也不显著, $F(1, 21) = 1.05, p > 0.05$ 。这表明练习引起的反应时降低对两种线

索和所有序列的影响是一致的,而非选择性地影响某一奖励线索或某一字母序列。因此,练习效应在本实验中是一个相对稳定的额外变量,并不会影响本研究所关注的实验结果。本研究所关注的是不同序列或奖励线索与奖励条件间的交互效应,而研究结果“阈下奖励时被试偏向主动性控制”是根据错误率分析中条件(基线、阈下奖励)与序列(AY、BX)显著的交互效应得出的。当然为了排除练习效应对研究结果的影响,仍有必要进行控制实验。因此,我们另选 14 名被试完成本研究中的基线条件 3 次。统计结果显示,序列(AY、BX)与时间(第 1 次、第 3 次)的交互效应在反应时和错误率上均不显著(反应时: $F(1,13) = 1.45, p > 0.05$; 错误率: $F(1,13) = 0.64, p > 0.05$),表明单纯地重复 AX-CPT 任务,并不会导致认知控制权衡的转变,使被试偏向主动性控制。因此,在阈下奖励条件下被试偏向主动性控制这一结果的确是已经习得的奖励线索与奖励动机之间的联结以潜意识的方式调节了认知控制的权衡。

5 结论

(1)只有阈上奖励促进了 AX 序列的任务表现、提高了一般认知能力,阈下奖励没有这种促进作用。

(2)习得的阈下奖励线索能像阈上奖励那样调节认知控制的权衡,使被试偏向主动性控制,且这种偏向在两者间无显著差异。

参 考 文 献

- Aarts, H., Custers, R., & Marien, H. (2008). Preparing and motivating behavior outside of awareness. *Science*, 319(5870), 1639–1639.
- Aarts, H., Custers, R., & Veltkamp, M. (2008). Goal priming and the affective-motivational route to nonconscious goal pursuit. *Social Cognition*, 26(5), 555–577.
- Bargh, J. A., Gollwitzer, P. M., Lee-Chai, A., Barndollar, K., & Trötschel, R. (2001). The automated will: Nonconscious activation and pursuit of behavioral goals. *Journal of Personality and Social Psychology*, 81(6), 1014–1027.
- Beck, S. M., Locke, H. S., Savine, A. C., Jimura, K., & Braver, T. S. (2010). Primary and secondary rewards differentially modulate neural activity dynamics during working memory. *Plos One*, 5(2), e9251.
- Bijleveld, E., Custers, R., & Aarts, H. (2009). The unconscious eye opener: Pupil dilation reveals strategic recruitment of resources upon presentation of subliminal reward cues. *Psychological Science*, 20(11), 1313–1315.
- Bijleveld, E., Custers, R., & Aarts, H. (2010). Unconscious reward cues increase invested effort, but do not change speed-accuracy tradeoffs. *Cognition*, 115(2), 330–335.
- Bijleveld, E., Custers, R., & Aarts, H. (2011). Once the money is in sight: Distinctive effects of conscious and unconscious rewards on task performance. *Journal of Experimental Social Psychology*, 47(4), 865–869.
- Braem, S., Verguts, T., Roggeman, C., & Notebaert, W. (2012). Reward modulates adaptations to conflict. *Cognition*, 125(2), 324–332.
- Braver, T. S. (2012). The variable nature of cognitive control: A dual mechanisms framework. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(2), 106–113.
- Braver, T. S., Gray, J. R., & Burgess, G. C. (2007). Explaining the many varieties of working memory variation: Dual mechanisms of cognitive control. In A. R. A. Conway, C. Jarrold, M. J. Kane, A. Miyake, & J. N. Towse (Eds.), *Variation in working memory* (pp. 76–106). New York: Oxford University Press.
- Capa, R., Bustin, G., Cleeremans, A., & Hansenne, M. (2011). Conscious and unconscious reward cues can affect a critical component of executive control. *Experimental Psychology*, 58(5), 370–375.
- Chiew, K. S., & Braver, T. S. (2011). Positive affect versus reward: Emotional and motivational influences on cognitive control. *Frontiers in Psychology*, 2, 279.
- Custers, R., & Aarts, H. (2010). The unconscious will: How the pursuit of goals operates outside of conscious awareness. *Science*, 329(5987), 47–50.
- Garavan, H., & Weierstall, K. (2012). The neurobiology of reward and cognitive control systems and their role in incentivizing health behavior. *Preventive Medicine*, 55, S17–S23.
- Jimura, K., Locke, H. S., & Braver, T. S. (2010). Prefrontal cortex mediation of cognitive enhancement in rewarding motivational contexts. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(19), 8871–8876.
- Locke, H. S., & Braver, T. S. (2008). Motivational influences on cognitive control: Behavior, brain activation, and individual differences. *Cognitive Affective & Behavioral Neuroscience*, 8(1), 99–112.
- Padmala, S., & Pessoa, L. (2011). Reward reduces conflict by enhancing attentional control and biasing visual cortical processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(11), 3419–3432.
- Pessiglione, M., Schmidt, L., Draganski, B., Kalisch, R., Lau, H., Dolan, R. J., & Frith, C. D. (2007). How the brain translates money into force: A neuroimaging study of subliminal motivation. *Science*, 316(5826), 904–906.
- Pessoa, L. (2009). How do emotion and motivation direct executive control? *Trends in Cognitive Sciences*, 13(4), 160–166.
- Savine, A. C., & Braver, T. S. (2010). Motivated cognitive control: Reward incentives modulate preparatory neural activity during task-switching. *The Journal of Neuroscience*, 30(31), 10294–10305.
- Wei, P., & Kang, G. L. (2012). The brain mechanisms of reward cue in triggering and modulating fronto-parietal attentional network in visual search. *Advances in Psychological Science*, 20(6), 798–804.
- [魏萍, 康冠兰. (2012). 奖赏性线索启动和调控视觉搜索额顶网络的神经机制. *心理科学进展*, 20(6), 798–804.]
- Wu, S. S., Tan, J. F., Wang, L. J., & Chen, A. T. (2013). The influencing factors of subliminal semantic priming effects. *Advances in Psychological Science*, 21(4), 626–636.
- [伍姗姗, 谭金凤, 王丽君, 陈安涛. (2013). 阈下语义启动效应影响因素述评. *心理科学进展*, 21(4), 626–636.]

Xu, L., Tang, D. D., & Chen, A. T. (2012). The mechanisms and influential factors of the tradeoff between proactive and reactive cognitive control. *Advances in Psychological Science*, 20(7), 1012–1022.

[徐雷, 唐丹丹, 陈安涛. (2012). 主动性和反应性认知控制的权衡机制及影响因素. *心理科学进展*, 20(7), 1012–1022.]

Zedelius, C. M., Veling, H., & Aarts, H. (2011a). Beware the

reward – How conscious processing of rewards impairs active maintenance performance. *Consciousness and Cognition*, 20(2), 366–367.

Zedelius, C. M., Veling, H., & Aarts, H. (2011b). Boosting or choking – How conscious and unconscious reward processing modulate the active maintenance of goal-relevant information. *Consciousness and Cognition*, 20(2), 355–362.

Subliminal Reward Modulates the Tradeoff between Proactive and Reactive Cognitive Control

XU Lei; WANG Lijun; ZHAO Yuanfang; TAN Jinfeng; CHEN Antao

(School of Psychology, Key Laboratory of Cognition and Personality of Ministry of Education,

Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract

The Dual Mechanisms of Control (DMC) theory suggests that cognitive control consists of two modes: proactive control (anticipatory and sustained control during the cue encoding and maintenance periods) and reactive control (control is engaged after rather than before the probe and in a just-in-time manner rather than consistently). There is a tradeoff between these two kinds of control to optimize task performance. Several studies have shown that the reward context is associated with a shift towards proactive control. Recently, it is suggested that awareness of reward cue is not necessary for the cue to work. Reward cue can improve working memory and cognitive control even when it occurs beyond subjects' consciousness. However, it is still unclear how subliminal reward modulates the tradeoff between proactive and reactive control. The present study conducted an experiment to investigate this question by using the AX-CPT task.

In this study, participants were engaged in a reward version of AX-CPT task, in which some reward-related cues and feedbacks were introduced. These reward-related cues and feedbacks were presented supraliminally (284 ms followed by a mask for 16 ms) or subliminally (16 ms followed by a mask for 284 ms) before and after each cue-probe sequence of AX-CPT task. There were two kinds of reward-related cues (“\$\$\$” indicating a 50 scores potential reward, “###” indicating no potential reward) and two corresponding feedbacks (“+50” and “+--”). In AX-CPT task, letters (“A”, “B”, “X”, and “Y”) were individually and sequentially displayed on a computer screen. A target response was required only when an “X” probe is preceded by an “A” cue (AX trials). All other probe stimuli (AY, BX, and BY trials) required non-target responses. Participants were told to complete baseline condition, supraliminal reward condition and subliminal reward condition one by one. In baseline condition, the reward-related cues were presented subliminally and participants performed the AX-CPT task without any instruction on financial incentives. During the two subsequent conditions, participants would gain some money if they respond correctly and quickly. The only difference between supraliminal and subliminal reward conditions was the presentation of reward-related cues and feedbacks, the former was supraliminal while the latter subliminal.

Two-way analysis of variance (ANOVA) was used to analyze the error rate and RT. The behavioral results showed that supraliminal reward cues improved the performance of AX trials while subliminal reward cues had no effects. Nevertheless, the interactions between trial types (AY vs. BX) and reward conditions (baseline vs. supraliminal reward, or baseline vs. subliminal reward), which was thought to index the tradeoff between proactive and reactive control, was significant. It means that just like supraliminal reward cues, subliminal reward cues modulated the tradeoff between proactive and reactive control and led to a preference toward proactive control. In contrast to some recent results, the present study does develop the DMC theory and the research on subliminal reward.

Key words subliminal reward; supraliminal reward; tradeoff of cognitive control; proactive control