

认知反思风格对存流量关系判断中S-F错误的影响及脑活动特征

盛盼盼¹, 赵彤², 孟鸿兴³, 王晓庄^{3,4,5*}

¹天津仁爱学院学工部, 天津

²天津市医学考试中心, 天津

³天津师范大学心理学部, 天津

⁴天津师范大学心理与行为研究院, 天津

⁵学生心理发展与学习天津市高校社会科学实验室, 天津

收稿日期: 2023年2月7日; 录用日期: 2023年3月10日; 发布日期: 2023年3月22日

摘要

本研究通过两个研究, 考察直觉型思维倾向与分析型思维倾向个体在存流量关系判断中S-F错误的差异及脑活动特征。研究一比较认知反思测验高分组和低分组(即直觉型思维倾向组和分析型思维倾向组)存流量关系判断中发生S-F错误的差异, 研究二比较认知反思测验高分组和低分组在存流量关系判断中的脑活动特征。结果发现: 在存流量关系问题判断中, 相对于分析型思维倾向组, 直觉型思维倾向组出现更高比例的S-F错误; 分析型思维倾向组的右侧额下回(IFC)、背外侧前额叶(dIPFC)和额极(FPC)激活程度显著高于直觉型思维倾向组, 对启发式系统的使用起到了抑制作用, 从而减少了S-F错误的出现。

关键词

累积变量判断偏差, S-F错误, fNIRS, 关联启发式

Effects of Cognitive Reflective Style on S-F Failure in Stock-Flow Relationship Judgments and Characteristics of Brain Activity

Panpan Sheng¹, Tong Zhao², Hongxing Meng³, Xiaozhuang Wang^{3,4,5*}

¹Academic Work Department, Tianjin Renai College, Tianjin

²Tianjin Medical Examination Center, Tianjin

*通讯作者。

文章引用: 盛盼盼, 赵彤, 孟鸿兴, 王晓庄(2023). 认知反思风格对存流量关系判断中 S-F 错误的影响及脑活动特征. 心理学进展, 13(3), 923-938. DOI: 10.12677/ap.2023.133111

³Faculty of Psychology, Tianjin Normal University, Tianjin

⁴Academy of Psychology and Behavior, Tianjin Normal University, Tianjin

⁵Tianjin Social Science Laboratory of Students' Mental Development and Learning, Tianjin

Received: Feb. 7th, 2023; accepted: Mar. 10th, 2023; published: Mar. 22nd, 2023

Abstract

In this study, two studies were conducted to examine the differences in S-F failure and brain activity characteristics between individuals with intuitive and analytical thinking tendencies in stock-flow relationship judgments. Study 1 compared the differences in the occurrence of S-F failure in stock-flow relationship judgments between the high and low subgroups of the Cognitive Reflection Test (*i.e.*, the Intuitive Thinking Tendency and Analytical Thinking Tendency groups). Study 2 compared the brain activity characteristics of high and low subgroups of the Cognitive Reflection Test in stock flow relationship judgments. It was found that a higher percentage of S-F failure was found in the intuitive thinking group compared to the analytical thinking group in the stock-flow failure. The right inferior frontal gyrus (IFC), dorsolateral prefrontal (dlPFC) and frontopolar (FPC) activation was significantly higher in the analytic thinking tendency group than in the intuitive thinking tendency group, which inhibited the use of the heuristic system and thus reduced the occurrence of S-F failure.

Keywords

Cumulative Variable Judgment Bias, S-F Failure, fNIRS, Correlation Heuristic

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

累积变量(accumulation variable)是指随时间推移而积累或减少的事物,包括流量和存量两种状态。流量是事物在单位时间内量的变化速率,包括流入量和流出量。存量是累积变量在某一时间点上的累计状态,如库存量、CO₂聚积量等,为决策和行动提供信息基础。产能规划、环境治理、废气废水等动态系统的有效管理,均有赖于对累积变量的正确判断。其中,对碳排放及环境污染等动态系统的管理,本质上是对废气、污水、气温等累积变量进行评估和治理的过程。只有对危害环境生态的这些动态累积量进行准确估计,才能有效控制排放与治理的动态平衡。但是,此前的研究多采用静态的实验或测试情境考察影响累积变量判断偏差的因素,对于动态系统中影响累积变量判断偏差的个体心理因素还需进一步探索。

公众对存量和流量理解不足,导致人们在累积变量判断过程中常出现“存-流量错误”(Stock-Flow Failure,简称“S-F错误”)(Aşık & Doğanca, 2021; Sterman, 2008)。将流量判断为存量、将净流量判断为存量、将存量判断为流量是S-F错误主要表现(Gonzalez et al., 2017; Strohhecker & Leyer, 2019)。Sterman (2008)通过画图任务实验证明,人们对大气层中的二氧化碳存流量判断也同样存在S-F错误,当二氧化碳排放量(流量)逐年减少,人们会认为二氧化碳在大气层中的含量(存量)也在逐年减少,而实际上二氧化碳

排放量还是高于吸收量的,即二氧化碳在大气层中的含量(存量)仍然是在上升的。正是由于这种错误导致关于气候风险的社会沟通效果不佳,不利于人们认识生态环境治理的紧迫性。许多研究证明了 S-F 错误具有普遍性和顽固性,即使是在受过高等教育的群体中(Kapmeier et al., 2017; Ossimitz, 2002),或是经过关于“累积”原理培训的被试, S-F 错误依然会发生(Newell et al., 2016; Pala & Vennix, 2005)。

坐标图四问任务在 S-F 错误研究中被研究者广泛采用(如图 1)。折线图呈现 30 分钟内进入和离开的顾客数,被试依次回答问题 Q1~Q4。其中,进入量和离开量的最大值是流量的“极值点”,某个时间点上净流量的最大值(进入和离开人数差值最大)为“Gap 区”。研究发现,58.3%被试认为第 8 分钟商场内人数最多,即将最大净流量作为存量值;56.5%被试认为第 21 分钟商场人数最少,即将离开人数最多的极值点即流量值作为存量值。被试将某一时间点上流入量最大值、流出量最大值或净流量最大值作为存量累积值,是 S-F 错误的典型表现(Cronin et al., 2009; Fischer & Gonzalez, 2016)。

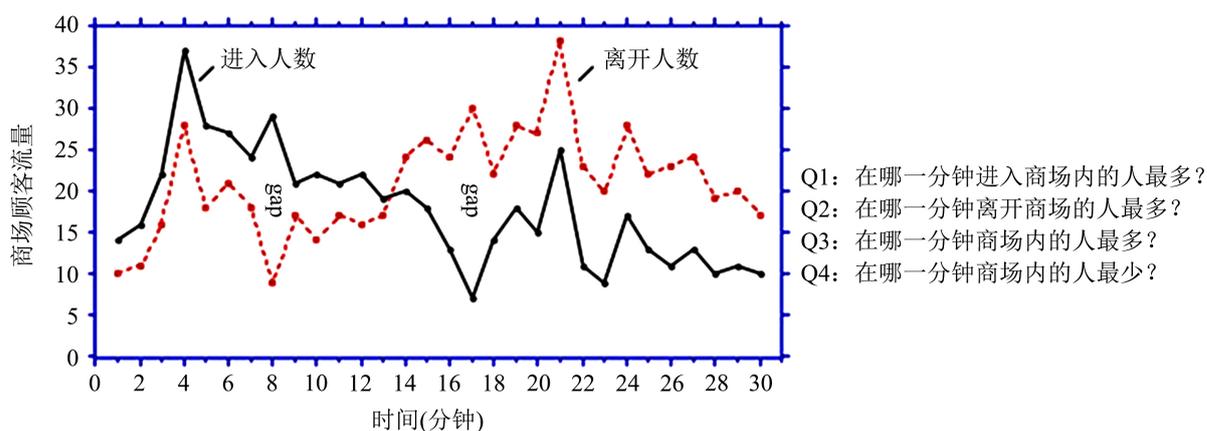


Figure 1. Mall customer flow scenario

图 1. 商场顾客流量情境

画图任务也是 S-F 错误研究的常用范式。有研究采用画图任务考察人们存流量关系判断中的 S-F 错误,取得了同样的研究发现(Brunstein et al., 2010; Kainz & Ossimitz, 2002; Dutt & Gonzalez, 2012)。如,Stocker 和 Funke (2019)的研究表征了被试对二氧化碳排放量判断的画图错误,请被试根据两百年间大气层中二氧化碳含量曲线图(图 2(a)),画出排放量变化曲线。假定二氧化碳吸收量是恒定的(绿色线),那么,图 2(b)中蓝色的曲线是排放量的正确轨迹,但是有许多被试画出的是红色断点线的轨迹,表明他们错误地将排放量的轨迹与大气层中二氧化碳含量轨迹混淆,即将存量判断成了流量。

有研究认为, S-F 错误的产生是由于人们采用了一种将存量与流量简单匹配的心理模式所致,这种心理模式称为关联启发式(Cronin et al., 2009)。关联启发式是指在累积变量判断中,将存量与流量建立正相关关系,认为存量变化与流量变化特征具有相似性而导致判断偏差的思维模式。正是由于人心理的内生性思维模式而产生了基于“相关”视角下的决策偏差,因此关联启发式是一种稳固的(robust)的心理模式(王晓庄等, 2018)。关联启发式会加速个体在存流量变量判断时出现基本原则性的错误,从而使用不恰当的启发式进行推理。有研究从双加工理论出发(Weinhardt et al., 2015),认为关联启发式更多地依赖于直觉,并行加工且加工速度较快,不占用或占用很少的心理资源,反应自动化,是造成偏差的根源。基于这一视角,研究者考察了直觉性-分析型思维个体的思维特征(Stanovich, 2009),对于两种思维倾向的个体在存流量判断任务中的绩效进行比较发现,倾向于直觉型的人更容易发生 S-F 错误,从而证明了关联启发式的自动化特征(Frederick, 2005)。

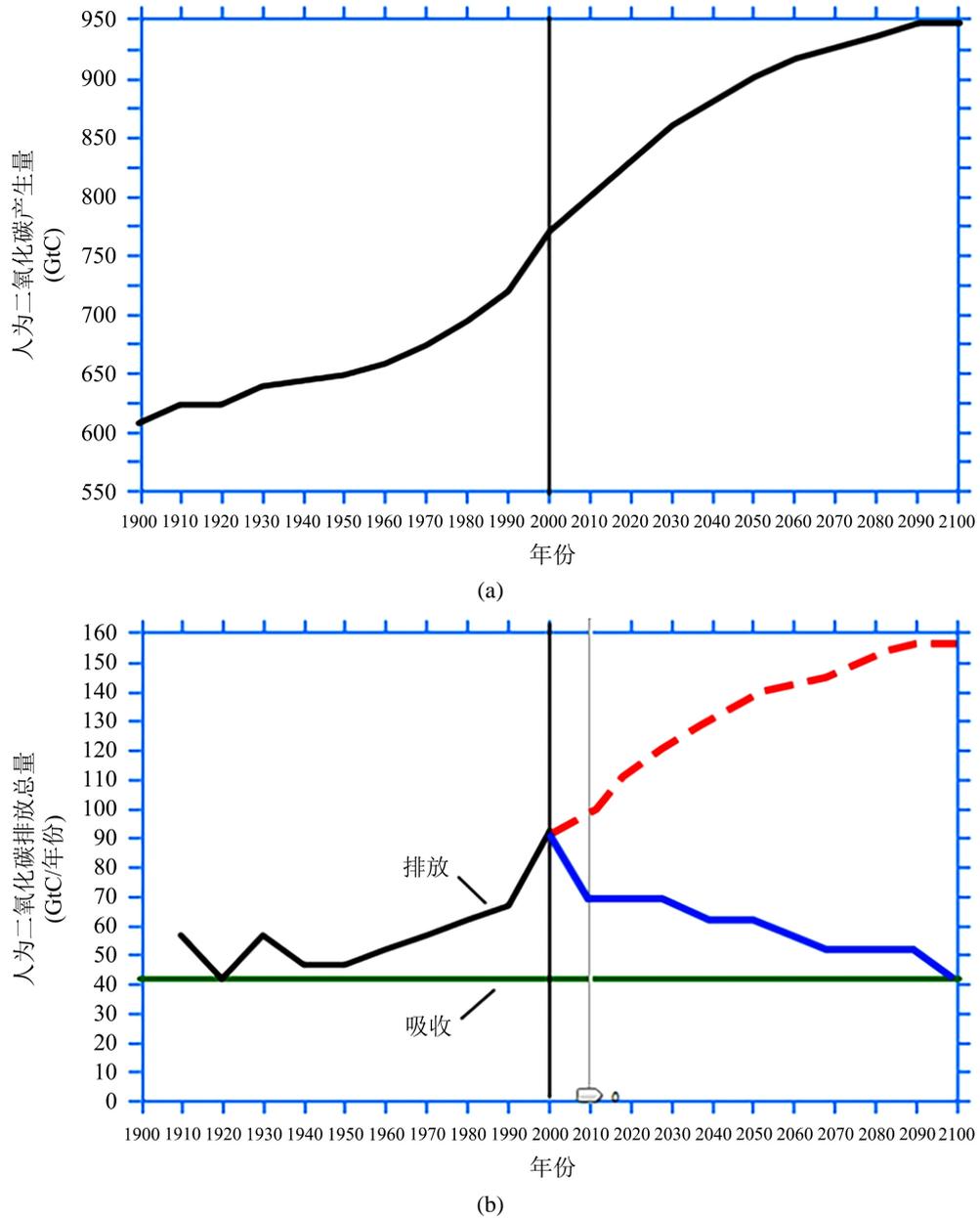


Figure 2. (a) Atmospheric CO₂; (b) Drawing error for emissions judgment (red break line)
图 2. (a) 大气层中的二氧化碳含量; (b) 排放量判断的画图错误(红色断点线)

然而，回顾以往研究发现，第一，S-F 错误与直觉型思维倾向存在密切关系，但这一结果是在四问任务范式下得出的，要想获得更加稳定的结论，还需其他范式下进一步检验。第二，关联启发式导致 S-F 错误的心理加工过程还缺少来自实证研究的证据。如果直觉型思维倾向相对于分析型思维倾向的被试更容易出现 S-F 错误，那么二者在进行存 - 流量关系判断过程中的脑活动特征有什么差异，这种差异是否能为关联启发式思维提供相应的证据？综上，本研究开展两个研究，考察直觉型思维倾向及分析型思维倾向被试的在存流量判断 S-F 错误上的差异性及其背后的脑活动特征。研究一检验认知反思测验高分组和低分组(即倾向于直觉型思维和倾向于分析型思维)在 S-F 错误上的差异，研究二探讨认知反思测验高分组和低分组存流量关系判断中 S-F 错误的脑活动特征。进而对 S-F 错误背后的启发式心理模式进行检验。

2. 研究 1a 四问任务下认知反思风格对累积变量判断偏差的影响

2.1. 被试

招募天津师范大学在校生 173 名(男生 100 名, 女生 73 名), 平均年龄 21.36 岁。根据 CRT 得分的中位数将被试分为倾向直觉型风格与倾向分析型风格(Corgnet et al., 2015), CRT 得分高于中位数为倾向于分析型风格组, CRT 得分低于中位数为倾向于直觉型风格组。所有被试均自愿参加实验, 并在结束后获得一定的报酬。

2.2. 材料

1) 存量判断四问任务。用于测试 S-F 错误情况。实验选择经典的商店人流量四问任务(Sterman, 2002), 共包含 4 个填空题(图 3), Q1 与 Q2 考察个体对图形的识别与理解, Q3 与 Q4 考察个体对存量与流量关系的理解。如果被试出现错误, 则认为其没有理解所呈现的折线图信息(Cronin et al., 2009; Sterman, 2002), 该被试 Q3 与 Q4 数据不进入后续统计分析。

2) 认知反思测试(CRT)。用于对直觉型思维倾向、分析型思维倾向被试分组。采用 Toplak 等人(2013)编制的认知反思测试七道题版本, 每道题回答正确记 1 分, 回答错误记 0 分, 总分为 0 至 7 分。

2.3. 实验设计

采用单因素两水平(认知反思风格: CRT 低分组、CRT 高分组)的被试间设计, 因变量为四问任务 Q3、Q4 回答的正确与错误的频次和比例。

2.4. 实验程序

被试首先进行累积变量判断的四问任务, 接着进行认知反思风格测试, 答案写在答题纸上。任务完成之后向被试表示感谢并发放试验报酬。

2.5. 数据统计

Q1 与 Q2 考察个体对图形的识别与理解, 为筛选性题目, 如果被试出现错误, 则认为其没有理解所呈现的折线图信息, 删去此数据。Q3 与 Q4 考察个体对存量与流量关系的理解, 被试最容易出现 S-F 错误(将流量或净流量作为存量)。如果选择不正确但既不是最大值点也不是 S-F 错误, 则为其他错误。

2.6. 结果

2.6.1. 描述性统计结果

1) 认知反思测试(CRT)结果及被试分组

全部被试 CRT 平均得分为 4.53 ± 1.62 分, 中位数为 5 分, Cronbach's $\alpha = 0.71$ 。根据中位数将被试进行筛选与分组, CRT 高分组共 72 人, 占 41.62%, CRT 低分组风格组共 51 人, 占 29.48%。将两种分组被试的 CRT 得分进行独立样本 t 检验, 结果发现 CRT 低分组和 CRT 高分组存在差异显著($t = -20.63, p < 0.001$)。

2) 四问任务的描述性统计结果

删除 Q1 和 Q2 发生错误的被试 59 人, Q1 与 Q2 均正确回答的被试共 114 人(倾向于直觉型风格组共 64 人, 倾向于分析型风格组共 50 人), 占 92.68%。Q3 和 Q4 的正确率在 50% 左右, 被试发生错误的主要类型是将净流量作为存量(第 8 分钟和第 17 分钟), 占 57%。

2.6.2. CRT 高分 - 低分组与 S-F 错误频次

不同认知反思风格的被试答题正误分布见表 1。

对 Q3 和 Q4 分别进行卡方检验，结果发现无论 Q3 还是 Q4，两种类型组的被试均存在显著差异，CRT 低分组出现 S-F 错误的比例显著高于 CRT 高分组($\chi^2 = 20.90, df = 1, p < 0.001$; $\chi^2 = 20.32, df = 1, p < 0.001$)。可见，CRT 高分组即直觉性思维倾向的被试 S-F 错误率更高。

Table 1. Distribution of responses in the cumulative variable judgment task for subjects with different cognitive reflection styles

表 1. 不同认知反思风格的被试在累积变量判断任务中回答正误的分布

	直觉型风格		分析型风格	
	正确	S-F 错误	正确	S-F 错误
Q3	24	40	41	9
Q4	19	45	37	13

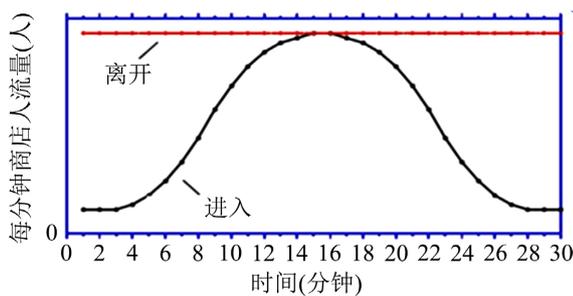
3. 研究 1b 画图任务下认知反思风格对累积变量判断偏差的影响

3.1. 被试

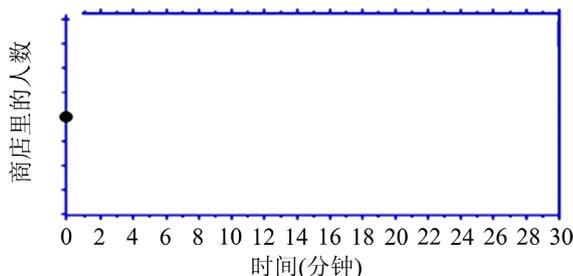
招募天津师范大学在校生 217 名(男生 119 名, 女生 98 名), 平均年龄 21.71 岁。所有被试均自愿参加实验, 并在结束后获得一定的试验报酬。根据 CRT 得分的中位数将被试分为倾向于分析型风格与倾向于直觉型风格(Corgnet, Espin et al., 2015), CRT 得分高于中位数为分析型风格倾向组, CRT 得分低于中位数为直觉型风格倾向组。所有被试均自愿参加实验, 并在结束后获得一定的报酬。

3.2. 材料

1) 累积变量判断的画图任务



4. 请在下图空白处绘制这30分钟商店顾客总数的变化情况, 你不需要画出确切的数值。第“零”分钟的黑点代表了商店中的初始顾客数。



如果无法根据提供的信息确定答案, 请勾选方框选择无法确定。 无法确定

Figure 3. Drawing task

图 3. 画图任务

选取商店人流量画图任务作为实验材料(Cronin et al., 2009), 如图 3 所示: 材料由三部分构成, 对流量图理解的考察、让被试画的存量图以及 3 道鉴别性题目, 如“在第 1 分钟时, 进入商店和离开商店的人数关系是?”。

2) 认知反思测试(CRT)

同研究 1a。

3.3. 实验设计

采用单因素两水平(认知反思风格: 倾向于直觉型风格、倾向于分析型风格)的被试间设计, 因变量为画图任务出现 S-F 错误的频次和比例。

3.4. 实验程序

被试首先进行累积变量判断的画图任务测试, 接着进行认知反思风格测试, 答案写在答题纸上。任务完成之后向被试表示感谢并发放试验报酬。

3.5. 结果与分析

3.5.1. 描述性统计结果

1) 认知反思测试(CRT)的描述性统计结果

全部被试 CRT 平均得分为 4.76 ± 1.63 分, 根据中位数将被试进行筛选与分组, 直觉型风格组共 79 人, 占 36.41%, 分析型风格组共 81 人, 占 37.33%。将两种风格被试的 CRT 得分进行独立样本 t 检验, 结果发现直觉型风格和分析型风格得分存在差异显著($t = -22.8, p < 0.001$), 分组有效。

2) 画图任务的描述性统计结果

通过是否理解画图任务的标准, 删除了对图理解错误的 85 人, 有效被试 132 人, 倾向于直觉型思维风格的被试 54 人, 倾向于分析型思维倾向的被试 78 人。统计结果发现: 对于直觉型思维倾向的被试, 发生错误的类型主要是将流入量或流出量变化轨迹作为存量轨迹的占 15.52%, 将净流量变化轨迹作为存量轨迹的占 24.14%, 即出现 S-F 错误的共 52 人。

3.5.2. 认知反思风格对累积变量判断偏差的影响

不同认知反思风格的被试在画图任务中回答正误的分布见图 4。

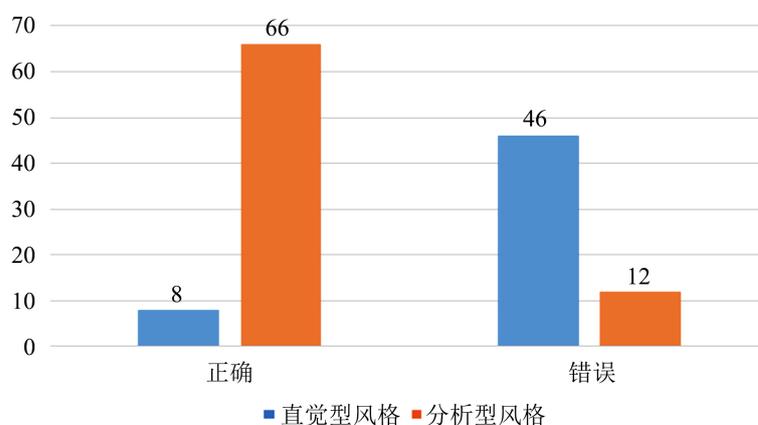


Figure 4. Bar graph distribution of right and wrong answers in cumulative variable judgment tasks for subjects with different cognitive reflective styles
图 4. 不同认知反思风格的被试在累积变量判断任务中回答正误的条形图

进行卡方检验结果发现两种认知反思风格的被试存在显著差异, 直觉型风格被试出现累积变量判断偏差的比例显著高于分析型风格被试($\chi^2 = 60.31, df = 1, p < 0.001$)。

研究 1a 结果表明四问任务中, 认知反思风格对累积变量判断偏差的影响显著。直觉型思维倾向的被试出现偏差的比例显著高于分析型思维倾向的被试。研究 1b 结果表明画图任务中, 认知反思风格对累积变量判断偏差的影响显著, 说明画图任务下认知反思风格倾向于直觉型的个体更容易出现累积变量判断偏差。本研究在 Weinhardt 等人(2015)与研究 1a 的基础上, 对画图任务进行了改进, 提升其与四问任务的同质性, 检验出认知反思风格对累积变量判断偏差稳定、常态的影响: 直觉型思维倾向的被试比分析型思维倾向的被试在累积变量判断中更容易出错。

双加工理论认为直觉型个体倾向使用系统 I 进行自动加工, 分析型个体倾向使用系统 II 进行非自动化加工, 因此前者更容易产生启发式错误。因此, 在画图任务中, 直觉型思维倾向的个体比分析型思维倾向的个体更可能使用启发式思维从而导致累积变量判断偏差。但是不同认识反思风格的个体在做累积变量判断任务时, 他们的脑活动是否有差异, 仍是个需要研究的问题。研究 2 对这个问题进行探究。

4. 研究 2 认知反思风格对累积变量判断偏差影响的 fNIRS 研究

4.1. 被试

招募未参加过研究一的天津在校大学生被试 65 人(男生 30 人, 女生 35 人)平均年龄 20.75 岁。所有被试均为右利手, 无精神病史, 均自愿参加实验, 实验正式开始前填写知情同意书, 实验结束后获得一定的试验报酬。

为了更好的比较 CRT 高分组与 CRT 低分组在判断过程中的脑活动特征, 选取 CRT 高分组答题正确率达到 90% 的被试及 CRT 低分组 S-F 错误率达到 90% 的被试, 比较 CRT 高分组答题正确试次与 CRT 低分组出现 S-F 错误试次的脑区激活的差异性。选取倾向于直觉型风格被试中的错误判断者(22 人)与倾向于分析型风格中的正确判断者(17 人)作为两种认知反思风格的典型被试进行脑成像的对比(共 39 人), 考察认知反思风格对累积变量判断影响的脑活动特征。

4.2. 试验设备

使用日本津岛公司生产的功能性近红外光学脑成像仪(LABNIRS 系统, Shimadzu Corporation, Kyoto, Japan)。该仪器通过 780 nm、805 nm、830 nm 三种波长的激光, 经过修订的 Beer-Lambert 吸收定律将大脑皮层血氧浓度的变化情况记录下来。在进行 fNIRS 测量时, 血液中的氧和血红蛋白和脱氧血红蛋白对不同波长的光的吸收和散射程度不同, 从而收集该区域氧和血红蛋白和脱氧血红蛋白的浓度, 同时可以实现对血氧总水平的记录。

4.3. 材料

4.3.1. 累积变量偏差的四问任务

为了简化试验程序, 适应 fNIRS 的成像特点, 对原始四问范式进行了修改, 设置两道筛选性题目, 看是否正理解折线图。设置了城市人口、停车场、超市、港口、机场等含有累积变量的动态系统情境。一共 11 组问题情境, 一组为练习, 其余 10 组正式问题情境随机呈现。所有情境的折线图特征与原始四问任务一致, 存在两组流量极大值与极小值、两组 Gap 区以及交叉点分割的面积左大右小的两个区域。

4.3.2. 认知反思测试(CRT)

同研究 1a。

4.4. 试验设计

本实验采用单因素两水平(认知反思风格: 直觉型风格、分析型风格)的被试间设计, 因变量为四问任务的正确率和 fNIRS 收集的各通道的氧合血红蛋白浓度。fNIRS 研究通常采用对任务刺激更加敏感的氧合血红蛋白(HbO)浓度作为分析指标, 相对于脱氧血红蛋白(HbR), HbO 具有较高的信噪比(Schaeffer et al., 2014), 所以本研究将 HbO 作为 fNIRS 的指标。

4.5. 试验程序

正式试验之前, 被试先进行练习, 练习结束后佩戴光极帽, 放置光极。

正式试验。被试先阅读指导语, 结束后按空格键进入 30 秒的基线测量阶段, 然后开始 10 组问题情境的正式答题阶段, 每组的试验程序见图 1。被试口头报告每道题答案, 一名主试用纸笔进行记录, 不作任何反馈, 试验结束后进行整理。由于大脑血氧信号的延迟性, 试次之间设置了 15 秒的时间间隔, 问题背景阅读和答题过程均无时间限制。

fNIRS 程序(累积变量判断任务)结束之后完成 CRT。具体实验流程见图 5。

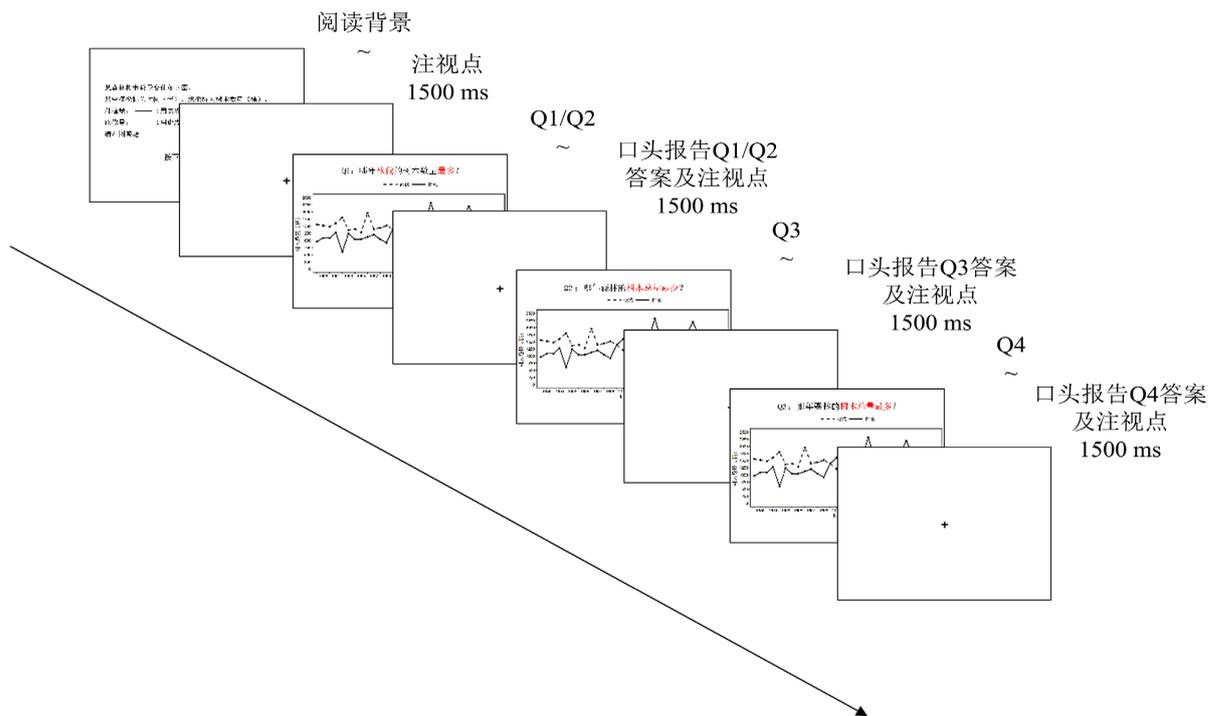


Figure 5. Flow chart of Study 2 experiment

图 5. 研究 2 实验流程图

4.6. 探头布置

探头呈 3×9 排布, 探头间距为 3 cm, 包括 14 个发射光源器(T), 13 个接收光源器(R), 形成 42 个通道。探头布置参照国际 10~20 系统, 将 T7 定位到被试的鼻根(Fpz)处(见图 6)。fNIRS 测试后, 使用 3D 定位仪(FASTRAK, Polhemus, Colchester, VT, USA)将 fNIRS 的通道位置与标准 MNI 空间坐标进行配准, 获得通道与大脑布鲁德曼分区(BA)和 AAL (Anatomical Automatic Labeling)分区之间的对应关系, 见表 2。配准后通道排布图见图 7。

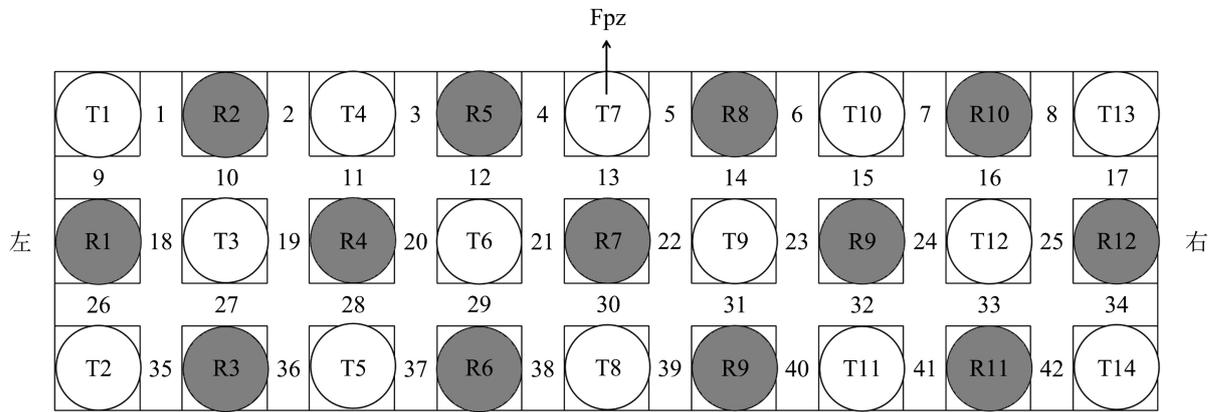


Figure 6. Probe and channel layout (top view)
图 6. 探头与通道排布图(俯视图)

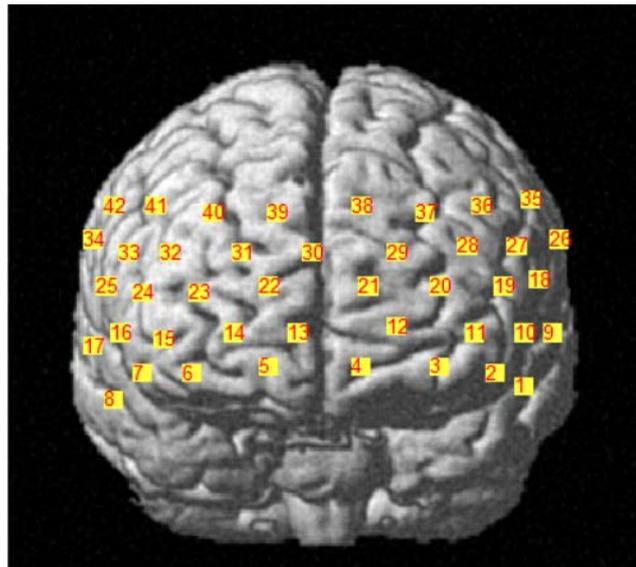


Figure 7. Aligned channel layout
图 7. 配准后通道排布图

Table 2. Correspondence of channel layout with BA partition and AAL partition
表 2. 通道布局与 BA 分区和 AAL 分区的对应关系

AAL 分区	BA 分区	对应通道
背外侧前额叶(dIPFC)	BA9	ch38, ch39
	BA46	ch2, ch7, ch15, ch28, ch32, ch37, ch40
额极(FPC)	BA10	ch11, ch12, ch13, ch14, ch20, ch21, ch22, ch23, ch29, ch30, ch31
前额下回(IFC)	BA44	ch18, ch25
	BA45	ch10, ch16, ch19, ch24, ch27, ch33, ch36, ch41
额上回	BA11	ch3, ch4, ch5, ch6

Continued

颞极	BA38	ch1
颞上回	BA48	ch9, ch17
颞中回	BA21	ch8
中央后回	BA43	ch26, ch34
楔前叶	BA6	ch35, ch42

4.7. 数据分析

基于 Matlab (2013b)环境下的 NIRS_SPM (Near infrared Spectroscopy-Statistical Parametric Mapping)软件包(Ye et al., 2009)来进行 fNIRS 数据分析。先对试验收集的原始数据进行预处理,以达到排除信号采集时的动作与生理伪迹的目的。再使用主成分分析的方法去除信号中的噪音,通过小波分析最小长度描述算法(Wavelet minimum description length, Wavelet-MDL)进行去漂移,使用血液动力反应函数(Haemodynamic Response Functions, HRF)进行低通滤波。

然后,对预处理后的数据进行个体水平分析(specify 1st level)。此步骤以采样点为单位,根据试验设计,输入试验任务各阶段的开始时间点(onset),任务情境、Q1/Q2、Q3 和 Q4、错误反应的试次共 4 个回归因子共同建立一般线性模型(general linear model, GLM),最终计算出两组被试在图形理(Q1/Q2)和累积变量判断(Q3 和 Q4)时的 β 值。

最后,使用 SPSS 26.0 对倾向直觉型风格错误作答者和倾向分析型风格正确作答两组被试的 β 值进行独立样本 t 检验。使用 FDR (false discovery rate)校正所有的 p 值,校正后 $p < 0.05$ (Singh & Dan, 2006)。检验两组在累积变量判断(Q3 和 Q4)的差异,考察完成任务时的脑活动特征。

5. 结果与分析

5.1. 行为结果

5.1.1. 认知反思测试(CRT)的描述性统计结果

所有被试 CRT 平均得分为 4.92 ± 1.83 分,中位数为 5 分,根据中位数将被试进行筛选和分组,直觉型风格组共 22 人,占 34%,分析型风格组共 17 人,占 26%。将两种风格被试的 CRT 得分进行独立样本 t 检验,结果发现直觉型和分析型风格存在显著差异($t = 18.726, p < 0.001$),分组有效。

5.1.2. 四问任务的描述性统计结果

与先前的研究一致,被试作答 Q3 和 Q4 的正确率在 46.07%左右,S-F 错误主要包括极值点错误和 Gap 区错误,Q3 总的 S-F 错误率为 47.82%,其中极值点错误率为 4.01%,Gap 区错误率为 45.38%。Q4 总的 S-F 错误率为 50.78%,其中极值点错误率为 1.57%,Gap 错误率为 49.21。Q3 和 Q4 总的 S-F 错误率为 98.25%,其中极值点错误率为 4.01%,发生 S-F 错误的类型主要是 Gap 区错误,即将净流量作为存量,错误率为 94.58%。

5.1.3. 认知反思风格对累积变量判断偏差的影响

不同认知反思风格的被试在画图任务中回答正误的分布见图 8。

卡方检验结果表明两种认知反思风格的被试累积变量判断存在显著差异,直觉型思维倾向的被试出现累积变量判断偏差的比例显著高于分析型思维倾向的被试($\chi^2 = 8.08, df = 1, p < 0.01$)。

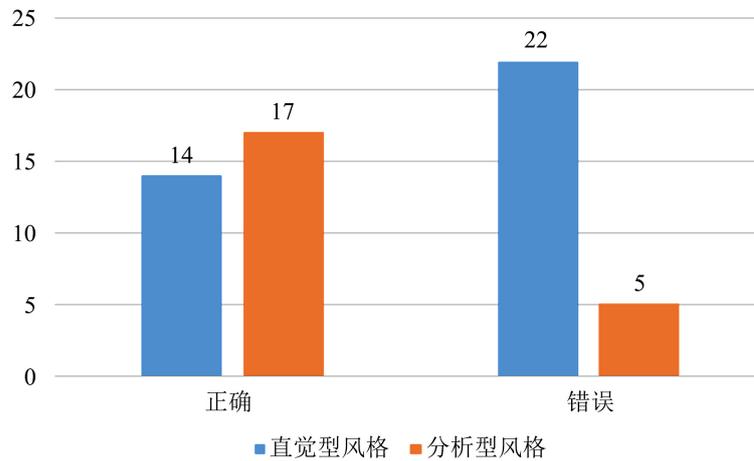


Figure 8. The distribution of right and wrong answers in cumulative variable judgment tasks for subjects with different cognitive reflective styles
图 8. 不同认知反思风格的被试在累积变量判断任务中回答正误的人数分布

5.2. 倾向于直觉型思维和倾向于分析型思维在累积变量判断(Q3 和 Q4)的差异

对不同认知反思风格的典型被试在作答 Q3 和 Q4 时的脑激活情况进行独立样本 T 检验, 结果发现在进行累积变量判断时, 两组被试在通道 22 ($p < 0.05$), 通道 23 ($p < 0.05$), 通道 24 ($p < 0.05$), 通道 39 ($p < 0.05$), 通道 13 ($p < 0.05$), 通道 40 ($p < 0.05$)上存在显著差异。即分析型风格组在右侧 IFC、额极 FPC 和 dlPFC 的激活水平显著高于直觉型风格组, 详见表 3 和图 9。

Table 3. Significantly different brain areas in the intuitive style group and the analytical style group in cumulative variable judgments

表 3. 累积变量判断中直觉型风格组和分析型风格组的显著差异性脑区

通道	坐标 MNI			AAL 分区	BA 分区	Overlap %	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
13	8	73	3	额极 FPC	BA10	86.22	3.25	37	0.021
22	16	72	15	额极 FPC	BA10		3.821	37	0.021
23	36	64	14	额极 FPC	BA10		3.443	37	0.015
24	52	45	14	右额下回 (右侧 IFC)	BA45	68.1	3.528	37	0.024
39	13	60	38	背外侧前额叶 dlPFC	BA46		3.471	37	0.019
40	31	51	37	背外侧前额叶 dlPFC	BA46		3.186	37	0.021

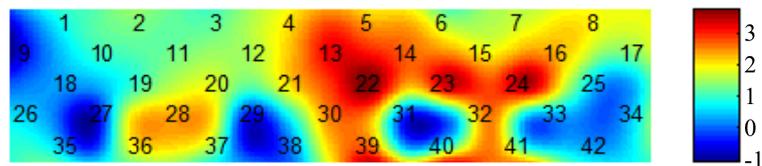


Figure 9. Heat map of the differences in t-values of activation across channels in the different cognitive reflection grid groups in cumulative variable judgments

图 9. 累积变量判断中不同认知反思格组各通道激活 t 值差异热图

研究 2 结果发现, 直觉型思维倾向的被试在右侧 IFC 上的激活水平显著低于分析型思维倾向的被试。而以往研究发现右侧 IFC 是实现对启发式系统抑制的核心脑区, 为减少信念偏差效应发挥了重要的功能 (Tsuji et al., 2011; Tsujii & Watanabe, 2009, 2010)。进一步说明右侧 IFC 是不同认知反思风格被试在累积变量判断上存在差异的主要神经机制, 验证了以往研究中发现的右侧 IFC 对启发式系统的抑制作用。

在脑激活情况分析中还发现了分析型风格的被试在额极(FPC)和背外侧前额叶(dIPFC)脑区也表现出了比直觉型风格更显著的激活情况。探索性决策的研究发现 FPC 的激活伴随更高的决策效率 (Laureiro-Martinez et al., 2014), 被认为是高级控制的重要脑区, FPC 的激活从另一个侧面也能体现累积变量判断作为一种困难的决策任务, 分析型风格的被试能正确做出判断是高级认知加工过程参与的表现之一。两组在脑活动上的差异体现了分析型风格被试在累积变量判断时能抑制启发式系统, 具备非自动化、逻辑性、控制性的特征。

6. 总讨论

本研究通过研究 1 和研究 2 探究了认知反思风格对累积变量判断偏差的影响及其神经机制。研究一通过四问任务和画图任务结果发现认知反思风格对累积变量判断偏差存在稳定的、常态的显著影响, 即相对于分析型思维倾向的被试, 直觉型思维倾向的被试更容易出现累积变量判断偏差。进一步确认了认知反思风格对 S-F 错误的影响。研究二脑成像结果发现: 直觉型思维倾向的被试在右侧额下回(IFC)的激活水平显著低于分析型思维倾向的被试。进一步总结证明了直觉型思维倾向的个体依靠启发式系统而分析型思维倾向的个体能抑制启发式系统进行累积变量判断的本质。

研究一采用两个研究范式深化了行为实验结果。四问任务是 S-F 错误中的经典范式之一 (Serman, 2002), 图形包含两组流量的极大值与极小值和 2 组 Gap 区。本研究发现, 大多数的 S-F 错误出现在极值点和 Gap 区。画图范式采取商店人流量画图任务 (Cronin et al., 2009), 分为根据流量判断存量和根据存量判断流量两种类型。根据图 3 来看, 画图任务的正确答案为一条呈上升趋势的直线。如果被试出现 S-F 错误, 就将画成一条呈下降趋势的直线。选择两种范式重复研究的行为表现得到的一致结果, 证明了结论的稳定性和适用性, 为揭开行为表现背后的神经机制提供了保障。

研究二结果表明: 分析型思维倾向的被试在做累积变量判断任务时, 右侧 IFC、FPC 和 dIPFC 的激活水平显著高于分析型思维倾向的被试, 进一步确认了 S-F 错误背后的启发式特征。双加工理论是认知反思风格的理论基础。提出人们的认知加工包含系统 I 和系统 II, 系统 I (直觉型系统) 是自动、轻松、快速、并行、借助联想和直觉的认知过程, 对工作记忆资源要求最低, 当遇到刺激时不依赖于高级控制系统而自动强制性执行。系统 II (分析型系统) 是受控、需要主观努力、缓慢、串行、有逻辑性的认知过程, 工作记忆参与其中。Kahneman 和 Frederick (2002) 基于双加工理论, 解释了人类的认知系统如何协同工作。在面对认知任务时, 系统 I 将自动生成有关如何解决问题的直接建议, 系统 II 可以有逻辑和条理的审查这些提议并决定是否拒绝、批准或修改它们。所以系统 II 必须中断系统 I 并抑制其继续响应的趋势, 所

以一种情况下,系统 II 通过的最终答案可能非常接近系统 I 提供的直观答案,在另一种情况下,系统 II 将极大地修改系统 I 的直观响应(Baghaei Lakeh & Ghaffarzadegan, 2016)。基于双加工理论的视角提出的认知反思风格与两个系统相对应(Frederick, 2005),直觉型风格反映了双加工理论的系统 I,分析型风格反映了双加工理论的系统 II。通过比较 CRT 高低分组在做累积变量判断任务的表现,表明 CRT 低分组由于使用了关联启发式思维更容易产生 S-F 错误,CRT 高分做正确是因为右侧 IFC 和 dIPFC 对启发式的抑制作用。

以往研究力图探索减少 S-F 错误的途径和方法,有的用系统动力学知识(Sterman, 1989),有的用反馈(Cronin et al., 2009; Sterman, 2002)和图示方法(Cronin & Gonzalez, 2007)。本研究的结果对于减少 S-F 错误的启示:不仅仅着眼于知识的学习、图的呈现,还应该从思维方法上加强干预和训练。对累积变量判断出现心理偏差的知识普及,让人们认识启发式思维模式的影响及带来偏差的过程,提示人们在思维过程中更好的去规避这种问题。避免基于事件简单的方法论(让他们容易出现思维的陷阱和问题)在进行累积变量判断时,对事物变化的趋势进行细致的加工,不要直接关注一些具备特殊特征的数据点,增加对流量和存量关系的关注与思考,探索存流量问题的内部规律。

尤其是对于直觉型思维倾向的被试,想要正确判断累积变量,就需要抑制这种将存流量进行模式匹配的心理模式,正确分析流入量和流出量的大小关系,建立起流入量大于流出量时存量会增加、流入量小于流出量时存量会减少的概念,形成对存量变化的正确判断。减少这类个体出现 S-F 错误,将有助于提升人们在动态系统中的决策绩效,能够在生态环境治理中提升解决问题的质量,避免出现失误。

7. 结论

直觉型思维倾向的被试比分析型思维倾向的被试出现更高的 S-F 错误率。

S-F 错误加工过程中,直觉型思维倾向的被试右侧 IFC 的激活水平显著低于分析型思维倾向的被试。

具有分析型思维倾向的被试在解决存流量问题时,右侧 IFC、dIPFC 和额极 FPC 激活水平显著高于直觉型思维倾向的被试,表明它们有抑制启发式,执行控制的脑活动特点。

基金项目

天津市哲学社会科学规划课题资助(TJJX18-012)。

参考文献

- 王晓庄,王思聪,牟伟莉,张建娥,尹文超(2018). 动态系统累积变量判断中的关联启发式. *心理科学进展*, 26(2), 344-357.
- Aşık, G., & Doğança Küçük, Z. (2021). Metacognition in Action as a Possible Explanation for Stock-Flow Failure. *System Dynamics Review*, 37, 253-282. <https://doi.org/10.1002/sdr.1692>
- Baghaei Lakeh, A., & Ghaffarzadegan, N. (2016). The Dual-Process Theory and Understanding of Stocks and Flows. *System Dynamics Review*, 32, 309-331. <https://doi.org/10.1002/sdr.1566>
- Brunstein, A., Gonzalez, C., & Kanter, S. (2010). Effects of Domain Experience in the Stock-Flow Failure. *System Dynamics Review*, 26, 347-354. <https://doi.org/10.1002/sdr.448>
- Corgnet, B., Espín, A. M., & Hernán-González, R. (2015). The Cognitive Basis of Social Behavior: Cognitive Reflection Overrides Antisocial but Not Always Prosocial Motives. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 9, 287. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2015.00287>
- Cronin, M. A., & Gonzalez, C. (2007). Understanding the Building Blocks of Dynamic Systems. *System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society*, 23, 1-17. <https://doi.org/10.1002/sdr.356>
- Cronin, M. A., Gonzalez, C., & Sterman, J. D. (2009). Why Don't Well-Educated Adults Understand Accumulation? A Challenge to Researchers, Educators, and Citizens. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 108, 116-130.

- <https://doi.org/10.1016/j.obhdp.2008.03.003>
- Dutt, V., & Gonzalez, C. (2012). Decisions from Experience Reduce Misconceptions about Climate Change. *Journal of Environmental Psychology*, 32, 19-29. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2011.10.003>
- Fischer, H., & Gonzalez, C. (2016). Making Sense of Dynamic Systems: How Our Understanding of Stocks and Flows Depends on a Global Perspective. *Cognitive Science*, 40, 496-512. <https://doi.org/10.1111/cogs.12239>
- Frederick, S. (2005). Cognitive Reflection and Decision Making. *Journal of Economic Perspectives*, 19, 25-42. <https://doi.org/10.1257/089533005775196732>
- Gonzalez, C., Qi, L., Sriwattanakomen, N., & Chrabaszcz, J. (2017). Graphical Features of Flow Behavior and the Stock and Flow Failure. *System Dynamics Review*, 33, 59-70. <https://doi.org/10.1002/sdr.1570>
- Kahneman, D., & Frederick, S. (2002). Representativeness Revisited: Attribute Substitution in Intuitive Judgment. *Heuristics and Biases: The Psychology of Intuitive Judgment*, 49, 74. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511808098.004>
- Kainz, D., & Ossimitz, G. (2002). Can Students Learn Stock-Flow-Thinking? An Empirical Investigation. In *The 2002 System Dynamics Conference* (pp. 1-34). System Dynamics Society.
- Kapmeier, F., Happach, R. M., & Tilebein, M. (2017). Bathtub Dynamics Revisited: An Examination of Déformation Professionnelle in Higher Education. *Systems Research and Behavioral Science*, 34, 227-249. <https://doi.org/10.1002/sres.2407>
- Laureiro-Martinez, D., Canessa, N., Brusoni, S., Zollo, M., Hare, T., Alemanno, F., & Cappa, S. F. (2014). Frontopolar Cortex and Decision-Making Efficiency: Comparing Brain Activity of Experts with Different Professional Background during an Exploration-Exploitation Task. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 927. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00927>
- Newell, B. R., Kary, A., Moore, C., & Gonzalez, C. (2016). Managing the Budget: Stock-Flow Reasoning and the CO₂ Accumulation Problem. *Topics in Cognitive Science*, 8, 138-159. <https://doi.org/10.1111/tops.12176>
- Ossimitz, G. (2002). Stock-Flow-Thinking and Reading Stock-Flow-Related Graphs: An Empirical Investigation in Dynamic Thinking Abilities. In *The International System Dynamics Conference*.
- Pala, Ö., & Vennix, J. A. (2005). Effect of System Dynamics Education on Systems Thinking Inventory Task Performance. *System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society*, 21, 147-172. <https://doi.org/10.1002/sdr.310>
- Schaeffer, D. J., Krafft, C. E., Schwarz, N. F., Chi, L., Rodrigue, A. L., Pierce, J. E. et al. (2014). An 8-Month Exercise Intervention Alters Frontotemporal White Matter Integrity in Overweight Children. *Psychophysiology*, 51, 728-733. <https://doi.org/10.1111/psyp.12227>
- Singh, A. K., & Dan, I. (2006). Exploring the False Discovery Rate in Multichannel NIRS. *NeuroImage*, 33, 542-549. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.06.047>
- Stanovich, K. E. (2009). Matthew Effects in Reading: Some Consequences of Individual Differences in the Acquisition of Literacy. *Journal of Education*, 189, 23-55. <https://doi.org/10.1177/0022057409189001-204>
- Sterman, J. D. (1989). Misperceptions of Feedback in Dynamic Decision Making. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 43, 301-335. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(89\)90041-1](https://doi.org/10.1016/0749-5978(89)90041-1)
- Sterman, J. D. (2002). All Models Are Wrong: Reflections on Becoming a Systems Scientist. *System Dynamics Review*, 18, 501-531. <https://doi.org/10.1002/sdr.261>
- Sterman, J. D. (2008). Risk Communication on Climate: Mental Models and Mass Balance. *Science*, 322, 532-533. <https://doi.org/10.1126/science.1162574>
- Stocker, K., & Funke, J. (2019). How We Conceptualize Climate Change: Revealing the Force-Dynamic Structure Underlying Stock-Flow Reasoning. *Journal of Dynamic Decision Making*, 5, 1-10.
- Strohhecker, J., & Leyer, M. (2019). How Stock-Flow Failure and General Cognitive Ability Impact Performance in Operational Dynamic Control Tasks. *European Journal of Operational Research*, 276, 1044-1055. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.01.048>
- Toplak, M. E., West, R. F., & Stanovich, K. E. (2013). Practitioner Review: Do Performance-Based Measures and Ratings of Executive Function Assess the Same Construct? *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 54, 131-143. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12001>
- Tsujii, T., & Watanabe, S. (2009). Neural Correlates of Dual-Task Effect on Belief-Bias Syllogistic Reasoning: A Near-Infrared Spectroscopy Study. *Brain Research*, 1287, 118-125. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.06.080>
- Tsujii, T., & Watanabe, S. (2010). Neural Correlates of Belief-Bias Reasoning under Time Pressure: A Near-Infrared Spectroscopy Study. *Neuroimage*, 50, 1320-1326. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.01.026>
- Tsujii, T., Sakatani, K., Masuda, S., Akiyama, T., & Watanabe, S. (2011). Evaluating the Roles of the Inferior Frontal Gyrus and Superior Parietal Lobule in Deductive Reasoning: An rTMS Study. *NeuroImage*, 58, 640-646. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.06.076>
- Weinhardt, J. M., Hendijani, R., Harman, J. L., Steel, P., & Gonzalez, C. (2015). How Analytic Reasoning Style and Global

Thinking Relate to Understanding Stocks and Flows. *Journal of Operations Management*, 39-40, 23-30.
<https://doi.org/10.1016/j.jom.2015.07.003>

Ye, J. C., Tak, S., Jang, K. E., Jung, J., & Jang, J. (2009). NIRS-SPM: Statistical Parametric Mapping for Near-Infrared Spectroscopy. *Neuroimage*, 44, 428-447. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.08.036>