

存 - 流量关系判断中的S-F错误： 年龄差异的视角

王晓庄^{1,2,3}, 尤芊淳^{1*}, 梅志玲¹, 戴天琦¹, 孟鸿兴¹

¹天津师范大学心理学部, 天津

²天津师范大学心理与行为研究院, 天津

³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4月6日; 录用日期: 2023年5月23日; 发布日期: 2023年5月30日

摘要

存 - 流量关系判断中的S-F错误(Stock-Flow Failure, 简称S-F错误)是人们在累积问题理解上所存在的典型错误。正确理解和管理存量与流量, 对社会、企业和个人来说有着极为重要的意义。本研究中, 实验一使用商场顾客量任务, 选取五年级、初中、高中、大学及老年组被试, 考察不同年龄组存 - 流量错误及类型的差异性; 实验二和实验三使用画图任务, 选取初、高中及大学三个年龄组, 分别考察不同年龄组在关联启发式使用上的差异性, 以及不同年龄组在将存量与流量简单匹配联系上的差异性。结果表明: 1) 随年龄增长, 被试出现存 - 流量错误和选择极值点的比例下降, 选择Gap点的比例上升, 但老年组分别出现回升和降低。2) 随年龄增长, 被试使用关联启发式的比例下降。3) 随年龄增长, 被试将存量轨迹与流入(出)量轨迹进行简答匹配的百分比降低, 与净流量轨迹进行简单匹配的百分比增加。

关键词

存 - 流量关系判断, S-F错误, 关联启发式, 简单匹配

S-F Failure in the Judgment of Stock-Flow Relationships: Perspective of Age Difference

Xiaozhuang Wang^{1,2,3}, Qianchun You^{1*}, Zhiling Mei¹, Tianqi Dai¹, Hongxing Meng¹

¹Faculty of Psychology, Tianjin Normal University, Tianjin

²Academy of Psychology and Behavior, Tianjin Normal University, Tianjin

³Tianjin Social Science Laboratory of Students' Mental Development and Learning, Tianjin

Received: Apr. 6th, 2023; accepted: May 23rd, 2023; published: May 30th, 2023

*通讯作者。

文章引用: 王晓庄, 尤芊淳, 梅志玲, 戴天琦, 孟鸿兴(2023). 存-流量关系判断中的 S-F 错误: 年龄差异的视角. *心理学进展*, 13(5), 2048-2058. DOI: 10.12677/ap.2023.135252

Abstract

Stock-flow (S-F) failure in the judgment of stock-flow relationships is a typical failure in people's understanding of accumulation problems. The correct understanding and management of stock and flow are of great importance to society, enterprises, and individuals. In this study, experiment I used the shopping mall customer volume task to select the fifth grade, middle school, high school, college and the elderly group to investigate the differences of deposit-traffic errors and types in different age groups. In experiments II and III, drawing task was used to select three age groups, namely junior, senior high and university, to investigate the differences in the use of correlation heuristics among different age groups, as well as the differences in the simple matching between stock and flow. The results show that: 1) With the increase of age, the proportion of stock-flow failure and maximum value point selection decreased, and the proportion of Gap point selection increased, but the old group showed a rise and a decrease respectively. 2) With the increase of age, the proportion of subjects using correlation heuristics decreased. 3) With the increase of age, the percentage of short answer matching between the stock trajectory and the inflow (outflow) trajectory decreases, while the percentage of simple matching between the stock trajectory and the net flow trajectory increases.

Keywords

Stock and Flow Relationship Judgment, Stock-Flow Failure, Correlation Heuristic, Simple Match

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. 引言

随着人口、城市化和气候变化等问题不断加剧，经济和生态环境可持续发展成为全世界关注的热点。我国提出了“五位一体”总体布局、“四个全面”战略布局以及创新、协调、绿色、开放、共享五大发展理念，是对可持续发展内涵的丰富和完善，形成了新发展理念的可持续发展观。通过对气候变化、环境治理等动态系统中的废水、污水、气温等存流量及之间的关系进行正确感知，才能促进可持续发展(王晓庄等, 2018)。实现可持续发展需要进行可持续性决策，破解动态系统中影响可持续性决策的因素，特别是造成错误判断的心理原因尤为重要。

当人们对动态系统中累积量进行判断时，即使是受过高等教育的人，也容易对存量、流量数值间的关系产生错误估计(Kapmeier et al., 2016)。这种现象称为“存-流量错误”(Stock-Flow Failure, 简称“S-F 错误”)(Diehl & Sterman, 1995)。其中流量是指事物在单位时间内量的变化速率，如二氧化碳排放量、污水排放量等，流量包括流入量、流出量和净流量等形式。存量是指累积变量在某一时间点上的累计状态，它是一种状态变量，如，大气层二氧化碳含量、生产库存等，为决策和行动提供信息基础(Forrester, 1961)。存量和流量的概念是系统思维的基础，发展系统思维对于解决需要有效决策战略的问题至关重要(Asik & Kucuk, 2021)。S-F 错误主要包含有三种形式：将流入(出)量值(轨迹)判断为存量值(轨迹)、将存量值(轨迹)判断为流入(出)量值(轨迹)、将净流量(轨迹)判断为存量值(轨迹)(Sterman, 2008 & 2012; Ranney et al., 2012)。以往研究表明，S-F 错误在各种任务情境中得到反复验证，严重影响判断且难以克服(Gonzalez et al., 2017)。Sterman (1989)设计啤酒产销实验，要求被试通过控制订单和库存实现成本最小

化,但最终成本损失量是最佳水平的十倍。Sterman (2002)提出商场顾客量任务,用折线图呈现出入商场的顾客数,并要求被试回答问题,有 58.3%被试将净流量作为存量值,56.5%被试将极值点作为存量值。Jensen 和 Brehmer (2003)通过向被试展示狐狸与兔子每年的繁衍数量和消长情况,让被试对这两种动物生态平衡的理想数量进行估计,62.5%的被试估计错误。此外,被试在浴缸水流、油箱流量、公司资金流、财政赤字与国债量、医院患者流量、停车场流量、人体体液与骨组织细胞量等多种任务情境中也出现了 S-F 错误(Brunstein et al., 2010; Kainz & Ossimitz, 2002; Ossimitz, 2002; Dutt & Gonzalez, 2012)。S-F 错误可能是由于对 S-F 任务使用了不恰当的心理表征,而不是对累积原理的理解不到位(Sterner et al., 2019)。

Cronin 等人(2009)认为,存流量关系判断中的 S-F 错误是由关联启发式(Correlation Heuristics)导致的,关联启发式是对动态系统存流量关系判断时采用错误的、自动化的思维模式。在这一思维模式下,人们将存量与流量的数值进行简单匹配,导致判断错误(Dutt & Gonzalez, 2012; Fischer & Gonzalez, 2016)。目前,一些研究者用客体偏差理论解释关联启发式的心理机制。Chen (2011)认为“客体”和“过程”是事物的两种存在形式,客体具有形状、重量、大小等特征;过程随时间的变化而变化。过程不占据独立的某个空间,两个过程可以同时占用相同空间,例如,商场顾客进入和离开可以同时发生。即商场客流量的变化虽然是事物的存量,但其核心特征在不断变化。这就意味着在理解存流量时,不能只关注某一时间点的流量值,而应关注整体时间跨度。关联启发式思维的本质就是将“过程”与“客体”混淆,产生“客体偏差(Object Bias)”。

受认知水平的影响,个体常常会出现认识到的事物与事实本身产生某种差别和偏离,例如客体偏差的产生过程(郑雨明, 2007)。早期客体知识系统对个体的影响深远而持久,它虽然会随着个体认知水平的发展不断降低,但不会完全消失(Chen, 2007)。同时,个体在出现客体偏差时,存在两种将“过程”与“客体”混淆的情况,即将存量与流入(出)量或是净流量相对应。当存量与流入(出)量相对应时,被试只注意流入量或流出量上的某个时间点,并将它定义为过程;而当存量与净流量相对应时,被试注意到某个时间点上流入量与流出量之间的差值,并将它定义为过程。由此可见,将存量与净流量相对应需要更复杂的认知加工过程。

因此,本研究提出,不同认知水平的个体在完成存流量关系判断时,是否会因产生客体偏差程度的不同造成使用关联启发式的频次出现差异,进而引发出 S-F 错误的频次产生差异?不同认知水平的个体在使用关联启发式时,是否会在将存量与流入(出)量或净流量相关联的时候出现差异,进而导致产生不同类型的 S-F 错误?

综上,本研究使用商场顾客量任务和画图任务对以上问题进行考察。实验一使用商场顾客量任务,采用单因素被试间设计,以年龄为自变量,设置小学五年级、初中、高中、大学、老年(联合国规定发展中国家 60 岁以上者为老年人)五个年龄组,并提出假设 1:解决存流量关系判断问题时,不同年龄组 S-F 错误出现频次差异显著。假设 2:解决存流量关系判断问题时,不同年龄组 S-F 错误类型差异显著。实验二使用画图任务,采用单因素被试间设计,以年龄为自变量,设置初中、高中、大学三个年龄组,并提出假设 3:解决存流量关系判断问题时,不同年龄组使用关联启发式思维的频次差异显著。实验三使用画图任务,采用单因素被试间设计,以年龄为自变量,设置初中、高中、大学三个年龄组并提出假设 4:使用关联启发式时,将存量与流入(出)量相关联或与净流量相关联的两种思维,在不同年龄组之间差异显著。

2. 实验一:存-流量错误频次及类型的年龄差异

2.1. 被试

在天津市选取小学生 97 名、初二年级学生 81 名、高二年级学生 72 名,大学生 70 名、60 岁以上老年人 115 名。被试分布情况如表 1 所示。

Table 1. Age and sex of subjects ($M \pm SD$)

表 1. 被试年龄和性别($M \pm SD$)

组别	年龄	性别		总计
		男	女	
五年级	11.21 \pm 0.34	47	50	97
初中	14.37 \pm 0.57	41	40	81
高中	17.32 \pm 0.51	35	37	72
大学	21.56 \pm 2.11	34	36	70
老年	64.45 \pm 3.78	53	62	115

2.2. 实验材料

采用 Serman (2002)的商场顾客量任务,使用坐标折线图呈现某商场 30 分钟内的进入人数和离开人数(如图 1 所示)。被试需要回答四个问题,即哪分钟进入商场的人数最多(Q1 = 3);哪分钟离开商场的人数最多(Q2 = 20);哪分钟商场内的总人数最多(Q3 = 14);哪分钟商场内的总人数最少(Q4 = 30)。Q1、Q2 检验了被试是否能够理解图表, Q3、Q4 检验了被试对累积变量问题的理解情况。

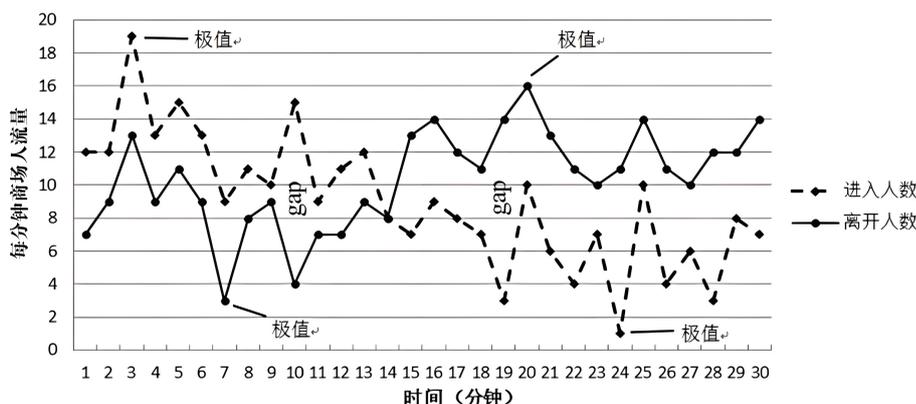


Figure 1. Materials used in shopping malls for customer volume tasks

图 1. 商场顾客量任务所使用材料

确定哪分钟商场内的总人数最多(Q3)时,被试需注意总人数在进入人数较多时累积,在离开人数较多时减少。第 14 分钟之前,进入人数多于离开人数,之后离开人数多于进入人数,因此选择第 14 分钟作为答案。确定哪分钟商场内的总人数最少(Q4)时,被试需注意总人数在第 14 分钟之前持续增加,之后持续减少。而在第 14 分钟后,图中两条曲线之间的面积是第 14 分钟前的两倍,因此选择第 30 分钟。

判定 Q1、Q2 均回答正确的被试可以理解折线图,统计这些被试中出现 S-F 错误的数量。其中,进入量和离开量的最大和最小值为流量的“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”,分别统计这些被试中选择极值点和 Gap 区的数量。

2.3. 实验程序

采用纸笔测试法,主试向被试发放实验材料,然后宣读指导语:“请首先填写个人信息,然后阅读材料中的折线图,这张折线图显示了某商场 30 分钟内的客流量。纵坐标轴代表每分钟商场内的人流量,横坐标轴代表分钟,虚线代表进入人数,实线代表离开人数。在充分理解折线图中信息之后,填写下面的四个问题。”

2.4. 实验结果

2.4.1. S-F 错误的分布

Q1 和 Q2 均回答正确的人数共 322 人, 正确率为 74%。在这 322 人中, 分别有 55.9% 和 42.5% 的被试在 Q3 和 Q4 中出现 S-F 错误, 具体情况如表 2 所示。在 Q3 和 Q4 中, 随着年龄的增长, 被试出现 S-F 错误的频次和百分比均出现不同程度的下降, 而在老年组中又均出现回升。对不同年龄组在 Q3、Q4 中出现 S-F 错误的频次分别进行卡方检验, 结果均显著($\chi^2 = 18.093, p < 0.001$)。

Table 2. Five age groups appear in Q3 and Q4 S-F frequency and percentage of the error
表 2. 五个年龄组在 Q3、Q4 中出现 S-F 错误的频次和百分比

组别	Q3		Q4		总数
	频次	百分比	频次	百分比	
五年级	41	68.3	43	71.7	60
初中	37	55.2	28	41.8	67
高中	32	52.5	23	37.7	61
大学	24	36.4	15	22.7	66
老年	46	67.6	28	41.2	68

2.4.2. Q3 中选择极值点和 Gap 区的分布

对五个年龄组的被试在 Q3 中选择极值点和 Gap 区的情况进行分析, 结果如表 3 所示。各年龄组被试均出现选择极值点和 Gap 区的情况。卡方检验结果表明, 不同年龄组对极值点和 Gap 区的选择差异显著($\chi^2 = 48.861, p < 0.001$)。五年级组选择极值点的百分比(78%)在五个年龄组中最高, 随着年龄增长, 选择极值点的百分比逐渐降低, 大学生被试中仅有 4.2% 选择极值点, 而老年组选择极值点的百分比(30.4%)回升, 仅低于五年级。相反的, 选择 Gap 区的比例随年龄增长逐渐增加, 95.8% 的大学被试选择 Gap 区。老年被试选择 Gap 区的百分比(69.6%)下降, 仅略高于初中年龄组的百分比(67.6%)。

Table 3. Frequency and percentage of subjects selecting maximum value points and Gap area in Q3
表 3. Q3 中被试选择极值点和 Gap 区的频次和百分比

组别	极值点		Gap 区		总数
	频次	百分比	频次	百分比	
五年级	32	78	9	22	41
初中	12	32.4	25	67.6	37
高中	5	15.6	27	84.4	32
大学	1	4.2	23	95.8	24
老年	14	30.4	32	69.6	46

2.4.3. Q4 中选择极值点和 Gap 区的分布

对五个年龄组的被试在 Q4 中选择极值点和 Gap 区的情况进行分析, 结果如表 4 所示。各年龄组的被试均出现选择极值点和 Gap 区的情况, 卡方检验结果表明, 不同年龄组对极值点和 Gap 区的选择差异显著($\chi^2 = 37.808, p < 0.001$)。五个年龄组选择极值点人数的百分比变化趋势和 Q3 相同, 即随年龄增长,

选择该点的人数百分比降低,老年被试选择极值点的百分比(71.4%)回升,仅低于五年级组的 95.3%。选择 Gap 区人数的百分比变化趋势与 Q3 基本相同,即随年龄增长,选择 Gap 点的百分比持续上升,老年被试选择 Gap 区的比例下降至 28.6%,仅高于五年级组选择 Gap 区的百分比(4.7%)。

Table 4. Frequency and percentage of subjects selecting maximum value points and Gap area in Q4
表 4. Q4 中被试选择极值点和 Gap 区的频次和百分比

组别	极值点		Gap 区		总数
	频次	百分比	频次	百分比	
五年级	41	95.3	2	4.7	43
初中	15	53.6	13	46.4	28
高中	7	30.4	16	69.6	23
大学	5	33.3	10	66.7	15
老年	20	71.4	8	28.6	28

3. 实验二：存 - 流量判断中关联启发式使用的年龄差异

3.1. 被试

选取初二年级被试 99 名、高二年级被试 173 名、大学生被试 95 名。被试情况如表 5 所示。

Table 5. Age and sex of subjects ($M \pm SD$)
表 5. 被试年龄和性别($M \pm SD$)

组别	年龄	性别		总计
		男	女	
初中	14.67 \pm 0.43	45	44	99
高中	17.53 \pm 0.53	96	77	173
大学	20.72 \pm 1.89	35	60	95

3.2. 实验材料

采用 Cronin 等人(2009)所用的“画图任务”,被试被随机地分配到三个难度中去,主试向被试呈现一张 30 分钟内某商场的进入人数(流入量)和离开人数(流出量)的图片(如图 2 所示)。被试被要求在下方的空白图表中画出这 30 分钟内商场内顾客总数(存量)的变化情况。在主试呈现的流量数据图中和用于绘画的空白图表中都没有给出具体的数值。用于绘画存量的空白图表中含有一个代表商场内起始人数的点。为避免引起偏见,该点被放置在纵坐标轴的中心点。这种情况下,被试即使没有学习过微积分知识,也不进行任何计算,依旧可以正确地回答所有的问题(Cronin et al., 2009)。实验被分为简单、中等、困难三种难度。简单难度中被试只需要判断净流量的正负即可。中等难度中被试需要确定净流量的正负,以及净流量在增加还是减少。困难难度中被试需要确定净流量的正负,以及每一分钟图中的净流量在增加的还是在减少。

若被试画出的顾客总数(存量)的变化趋势与存 - 流量原则相一致,则被判定为正确。存 - 流量原则包含如下内容: 1) 当净流量分别为正、零或负时,存量是上升的、平直的或下降的。2) 当净流量增加(减

少)时, 存量的变化率(斜率)会随之增加(减少)。被试不会因为所画存量线没有与精确的数值相对应, 或因为没有从图中给定的起始人数点开始绘画而被判定为错误。错误答案将会被继续判定是否与流量的轨迹相一致。

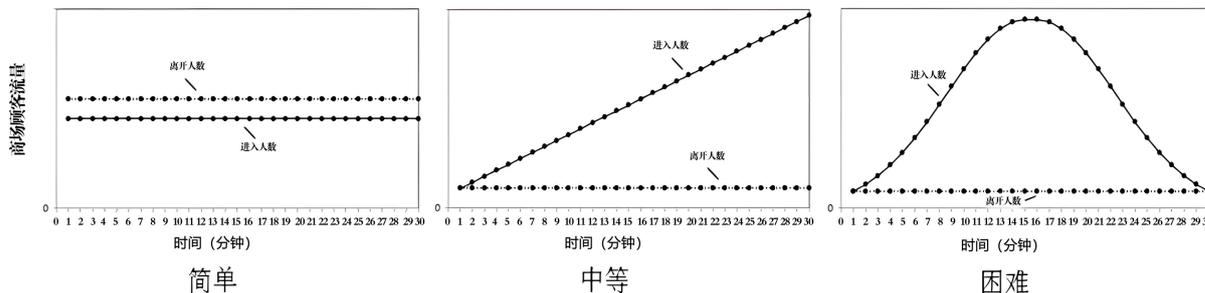


Figure 2. The materials used for the three difficulties
图 2. 三种难度所使用材料

3.3. 实验过程

采用纸笔测试法, 主试向被试发放实验材料, 然后宣读指导语: “请首先填写个人信息, 然后阅读材料中的折线图, 这张折线图显示了 30 分钟之内进入和离开某商场的人数。纵坐标轴代表商场顾客的流量, 横坐标代表时间(分钟), 实线代表进入人数, 虚线代表离开人数。在充分理解折线图中信息之后, 请在下图空白处, 绘制这 30 分钟内商场内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。”

3.4. 实验结果

大量被试所画的存量轨迹与流量轨迹相一致, 与流量轨迹一致的答案占有所有答案的 42%。对不同年龄组所画的存量轨迹与流量轨迹一致的情况进行卡方检验, 结果显著($\chi^2 = 6.367, p = 0.041$)。初中年龄组所画存量轨迹与流量轨迹相一致的比例最高(50.5%), 随着年龄增长, 被试所画的存量轨迹与流量轨迹相一致的情况逐渐减少, 大学组中仅有 32.6%相一致。具体情况如表 6 所示。

Table 6. The frequency and percentage that the inventory trajectory drawn by the subject is consistent with the flow trajectory
表 6. 被试所画存量轨迹与流量轨迹一致的频次和百分比

组别	频次	百分比	被试总数
初中	50	50.5	99
高中	73	42.2	173
大学	31	32.6	95

4. 实验三: 将存量和流量进行简单匹配的年龄差异

4.1. 被试

选取初二年级被试 42 名、高二年被试 37 名、大学生被试 45 名。被试情况如表 7 所示。

4.2. 实验材料

采用 Cronin 等人(2009)所用的“画图任务”, 主试向被试呈现一张 30 分钟内某商场的进入人数和离

开人数的图片(如图 3 所示)。被试被要求在下方的空白图表内画出这 30 分钟内商场内顾客总数的变化情况。本实验的计分方式与实验二相同。由于在本实验中净流量为正,但同时是下降的,因此净流量的轨迹与流入量不同,在实验二的基础上本实验增加对与净流量轨迹一致的存量答案的统计。

Table 7. Age and sex of subjects (M ± SD)

表 7. 被试年龄和性别(M ± SD)

组别	年龄	性别		总计
		男	女	
初中	14.54 ± 0.27	22	20	42
高中	17.49 ± 0.48	19	18	37
大学	21.03 ± 0.62	15	30	45

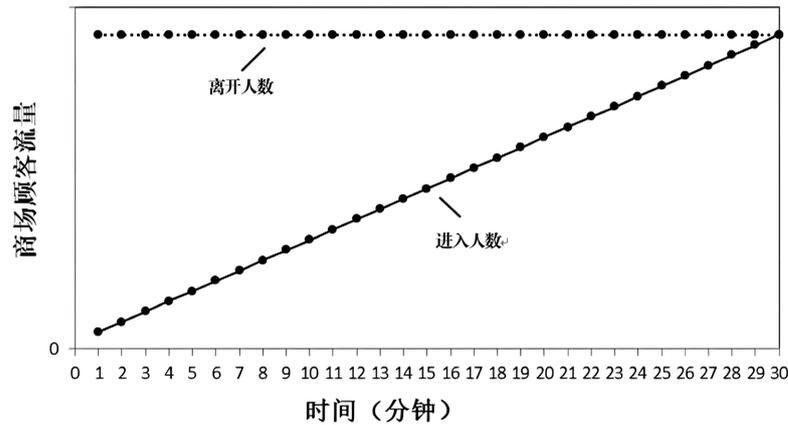


Figure 3. Materials used in experiment 3

图 3. 实验三所使用材料

4.3. 实验过程

本实验的实验过程与实验二相同。

4.4. 实验结果

43.5%的被试在本实验中所画存量轨迹与流量轨迹相一致,对这些被试所画存量轨迹与流入(出)量一致或是与净流量一致的两种情况进行进一步分析,具体情况如表 8 所示。47%的被试所画存量轨迹与流入(出)量轨迹相一致,53%与净流量相一致。对三个年龄组所画存量轨迹与流量轨迹相一致还是与净流量

Table 8. Consistent frequency of the inventory track and flow track drawn by each age group

表 8. 各年龄组所画存量轨迹与流量轨迹一致频数

组别	与流入(出)量轨迹一致		与净流量轨迹一致		与流量轨迹一致
	频次	百分比	频次	百分比	
初中	15	68.2	7	31.8	22
高中	8	42.1	11	57.9	19
大学	7	30.4	16	69.6	23

轨迹相一致进行卡方检验, 结果显著($\chi^2 = 6.681, p = 0.035$)。随年龄增长, 被试所画存量轨迹与流入(出)量轨迹相一致的情况逐渐减少, 从初中年龄组的 68.2%降低到大学组的 30.4%; 而与净流量轨迹一致的情况逐渐增加, 从 31.8%上升至 69.6%。

5. 讨论

5.1. 不同年龄组均出现存流量关系判断中的 S-F 错误

实验一中, 五个年龄组的被试均会在不同程度上出现错误, 即存流量关系判断中的 S-F 错误。实验二和实验三也都验证, 不同年龄组的被试均会使用关联启发式解决存流量问题, 而正是由于这种关联启发式思维导致被试将存量与流量相互联系, 进而产生 S-F 错误。以往的实验也从不同方面证明, 关联启发式是一种内生性的、顽固的心理模式(Cronin et al., 2009)。

这种顽固性可以用客体偏差的影响来进行解释。婴儿从四个月起就具有客体永久性知觉, 并逐步发展形成客体知识的核心系统, 客体知识体系内在的一致性、持续性和相关性成为人们认识客体运动的重要原则。直到 7 岁时才能将过程从客体中分开, 这种知识系统的一部分在成年后仍会作为“常识”被保留下来, 并对个体的认知产生根深蒂固的影响。以至于在本研究中, 即使成年被试中也仍有一部分会将“过程”与“客体”相混淆, 使用关联启发式思维对问题进行解答, 进而产生 S-F 错误。

5.2. 存流量关系判断中 S-F 错误存在年龄差异

5.2.1. S-F 错误率呈现年龄差异

本研究首次发现, 年龄对被试是否会产生 S-F 错误、是否会使用关联启发式产生显著影响。实验一中, 五年级到大学年龄组随年龄增长被试出现 S-F 错误的比例不断下降, 但老年组出现 S-F 错误的比例又出现明显回升。这种变化趋势和实验二中三个年龄组使用关联启发式的变化趋势正好吻合。说明随着个体的不断成熟, 直到成年时, 个人对关联启发式的应用会持续减少。但当个体开始衰老时, 对关联启发式的应用又会增加。即在人的一生中, 个体对存流量关系问题进行正确解答的能力是一个先增长而后开始衰退的过程。智力可以分为流体智力(Fluid Intelligence)和晶体智力(Crystallized Intelligence)。流体智力指信息加工和问题解决能力等有助于学习新事物的能力, 随年龄增长而加强, 到成年以后开始衰退。晶体智力指后天习得的能力, 与经验积累、文化知识有关, 同样随年龄增长而加强, 然而成年以后仍然呈现平缓上升的趋势(韩布新, 朱莉琪, 2012)。而流体智力发展变化的趋势与本实验中不同年龄段的被试对存流量关系问题正确解答的情况刚好吻合, 即正确率在个体成年之前不断增长, 随后开始衰退。这说明, 个体使用流体智力解决存流量关系问题。从小学五年级到大学的过程中, 流体智力不断增强, 因而出现 S-F 错误的人数比例不断减少, 而老年组的认知加工速度出现衰退, 因而出现 S-F 错误的比例再次出现回升(Park & Lorenz, 2009)。

5.2.2. S-F 错误类型呈现年龄差异

本实验中五年级到大学年龄组随年龄增长被试选择极值点的比例下降, 选择 Gap 区的比例上升。老年组选择极值点的比例上升, 选择 Gap 区的比例下降。这种变化趋势与实验三中, 三个年龄组所画存量轨迹与流入(出)量一致的比例或与净流量轨迹一致的比例的变化趋势相一致。即随着年龄增长, 直到成年时, 被试在使用关联启发式的时候, 选择将存量与流入(出)量建立正相关关系的比例减少, 而与净流量建立关系的比例增加, 当个体开始衰老, 老年被试的实验结果显示被试将存量与流入(出)量建立正相关关系的比例出现回升。

各年龄组选择极值点和选择 Gap 区的变化趋势完全相反。这可能是由于随着年龄的增长, 个体的归纳推理能力不断发展, 对客体的定义不断产生变化。个体只需要注意流入量或流出量上的某个时间点,

即关注到实验范式中进入人数或离开人数的一条曲线,即可将存量与流入(出)量相对应。然而,个体需要注意到某个时间点上流入量与流出量之间的差值,即将进入人数和离开人数两条曲线相联系,并注意到某时间点上二者之间的距离,才能够将存量与净流量对应起来。显然,后者需要拥有更高级的归纳推理能力,因此,选择 Gap 区个体的百分比会随年龄增长而增加,并由于老年人的信息加工速度开始下降,在老年组中出现降低(Nilsson et al., 2009)。

6. 结论

本研究通过三项实验研究得出以下结论:

- 1) 随年龄增长,被试出现 S-F 错误和选择极值点的比例下降,选择 Gap 区的比例上升,但老年组分别出现回升和降低。不同年龄组间差异显著。
- 2) 随年龄增长,被试使用关联启发式比例下降,不同年龄组间差异显著。
- 3) 随年龄增长,被试将存量轨迹与流入(出)量轨迹进行简单匹配的百分比降低,与净流量轨迹进行简单匹配的百分比增加。不同年龄组间差异显著。

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

- 韩布新,朱莉琪(2012). 人类心理毕生发展理论. *中国科学院院刊*, 27(S1), 78-87.
- 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.
- 郑雨明(2007). 决策判断中认知偏差及其干预策略. *统计与决策*, 238(10), 48-51.
- Asik, G., & Kucuk, Z. D. (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>
- 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>
- Chen, X. (2007). The Object Bias and the Study of Scientific Revolutions: Lessons from Developmental Psychology. *Philosophical Psychology*, 20, 479-503. <https://doi.org/10.1080/09515080701441744>
- Chen, X. (2011). Why Do People Misunderstand Climate Change? Heuristics, Mental Models and Ontological Assumptions. *Climatic Change*, 108, 31-46. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-0013-5>
- Cronin, M. A., Gonzalez, C., & Serman, 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>
- Diehl, D., & Serman, J. D. (1995). Effects of Feedback Complexity on Dynamic Decisionmaking. *Organizational Behavior & Human Decision Processes*, 62, 198-215. <https://doi.org/10.1006/obhd.1995.1043>
- 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>
- Forrester, J. W. (1961). *Industrial Dynamics*. MIT Press.
- 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>
- Jensen, E., & Brehmer, B. (2003). Understanding and Control of a Simple Dynamic System. *System Dynamics Review*, 19, 119-137. <https://doi.org/10.1002/sdr.267>
- Kainz, D., & Ossimitz, G. (2002). Can Students Learn Stock-Flow-Thinking? An Empirical Investigation. In *The 20th International Conference of the System Dynamics Society* (pp. 1-34). System Dynamics Society.
- Kapmeier, F., Happach, R. M., & Tilebein, M. (2016). Bathtub Dynamics Revisited: An Examination of Deformation Pro-

- professionelle in Higher Education. *Systems Research & Behavioral Science*, 34, 227-249. <https://doi.org/10.1002/sres.2407>
- Nilsson, L. G., Sternäng, O., Rönnlund, M., & Nyberg, L. (2009). Challenging the Notion of an Early-Onset of Cognitive Decline. *Neurobiology of Aging*, 30, 521-524. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2008.11.013>
- Ossimitz, G. (2002). Stock-Flow-Thinking and Reading Stock-Flow-Related Graphs: An Empirical Investigation in Dynamic-Thinking Abilities. *Proceedings of the 20th International Conference of the System Dynamics Society*. System Dynamics Society, Albany, NY.
- Park, D. C., & Reuter-Lorenz, P. (2009). The Adaptive Brain: Aging and Neurocognitive Scaffolding. *Annual Review of Psychology*, 60, 173-196. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.59.103006.093656>
- Ranney, M., Clark, D., Reinholz, D., & Cohen, S. (2012). Changing Global Warming Beliefs with Scientific Information: Knowledge, Attitudes, and RTMD (Reinforced Theistic Manifest Destiny Theory). *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 34, 2228-2233.
- Sterman, J. D. (1989). Modeling Managerial Behavior: Misperceptions of Feedback in a Dynamic Decision-Making Experiment. *Management Science*, 35, 321-339. <https://doi.org/10.1287/mnsc.35.3.321>
- 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>
- Sterman, J. D. (2012). Sustaining Sustainability: Creating a Systems Science in a Fragmented Academy and Polarized World. In M. P. Weinstein, & R. E. Turner (Eds.), *Sustainability Science: The Emerging Paradigm and the Urban Environment* (pp. 21-58). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3188-6_2
- Sterner, E. O., Adawi, T., Persson, U. M., & Lundqvist, U. (2019). Knowing How and Knowing When: Unpacking Public Understanding of Atmospheric CO₂ Accumulation. *Climatic Change*, 154, 49-67. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02423-8>