

数字字母混合情境中数字空间表征的 在线建构不具自动性



张琦*

湖州师范学院教师教育学院,浙江湖州 313000

摘要: SNARC 效应全称为空间数字反应编码联合效应,是数字与空间联结的凭证。其主要有理论解释有长时记忆的心理数字线解释,短时记忆的工作记忆解释,双路径模式解释等。最近的研究证明 SNARC 效应是任务执行时数字在工作记忆中在线建构的,并且在数字字母混合情境中数字 SNARC 效应的在线建构受到字母加工的干扰,此研究结果进一步支持了工作记忆假设。虽已证明 SNARC 效应的在线编码,但目前尚不清楚数字字母混合情境下数字空间表征的在线编码是否具有自动性,若具有自动性会否受到字母加工的干扰。研究通过三个数字颜色判断实验,分别在数字与字母比例为 1:1; 1:6; 6:1 的混合干扰情境下探究数字字母混合情境中数字空间表征的在线建构是否具自动性。考察字母加工对数字 SNARC 效应的干扰,探究这种干扰是否受到数字字母比例调节,进一步探讨字母加工对数字空间编码干扰的自动化机制。结果表明在不同比例水平下的数字与字母混合情境中,数字和字母都没有表现出 SNARC 效应。说明数字字母混合情境中数字空间表征的在线建构不具有自动性。在任务不直接激活数字字母的大小顺序信息时,字母会干扰数字 SNARC 效应的在线建构,且不受比例调节。

关键词: SNARC 效应; 数字; 字母; 自动性

DOI: [10.57237/j.ssrf.2022.02.004](https://doi.org/10.57237/j.ssrf.2022.02.004)

The Online Construction of Digital Spatial Representation in Alphanumeric Mixed Situations Is Not Automaticity

Zhang Qi*

School of Teacher Education, Huzhou Normal University, Huzhou 313000, China

Abstract: SNARC effect is called the joint effect of spatial digital response coding, which is the proof of the connection between number and space. There are mainly theoretical explanations, such as the mental number line explanation of long-term memory, the working memory explanation of short-term memory, and the dual path pattern explanation. Recent studies have demonstrated that SNARC effect is the online construction of digits in working memory during task execution, and the online construction of digits SNARC effect is interfered by letter processing in the mixed situation of digits and letters, which further supports the hypothesis of working memory. Although online encoding of SNARC effect has been proved, it is not clear whether online encoding of digital spatial representation in the mixed alphanumeric context has automaticity, and if so, whether it will be interfered by letter processing. In this study, three digit color judgment

*通信作者: 张琦, 2896336347@qq.com

experiments were conducted, and the ratio of digits to letters was 1:1, 1:6. The paper explores whether the online construction of digital space representation is automaticity in the mixed interference situation of 6:1. To investigate the interference of letter processing on digital SNARC effect, explore whether the interference is regulated by the proportion of number letters, and further explore the automatic mechanism of the interference of letter processing on digital space coding. The results showed that SNARC effect was not observed in the mixed numbers and letters at different proportions. It shows that the online construction of digital space representation in the mixed alphanumeric situation does not have automaticity. When the task does not directly activate the size order information of the number letters, the letters will interfere with the online construction of the number SNARC effect, which is not proportional adjustment.

Keywords: SNARC Effect; Numbers; Letters; Automaticity

1 引言

空间能力与科学、数学、技术、工程、STEM 领域等的教育都有关联, 研究表明儿童空间能力会影响到她们有关这些领域的学习。Frick (2019) 发现具有较强空间技能的儿童在数学方面的得分也较高。[1]数字与空间信息紧密联系, 对数字-空间联结的表征进行研究能够帮助人们了解数字的加工过程, 明确数字-空间联结的认知机制, 有利于培养人的空间想象能力和思维能力。[2]数字空间表征是将数字映射到空间的能力, 与数概念、数学概念、数学问题紧密相关。Gunderson 等人 (2012) 研究表明数字空间表征能预测儿童数字知识增长。[3]数字空间编码作为数字空间表征的一个重要指标, 不仅与空间能力有关, 也与数学能力、数学教育息息相关。一些研究支持水平方向上 SNARC 效应的强度与儿童数学技能如算术任务、算术能力之间存在正相关关系 (Georges, Hoffmann, & Schiltz, 2017; He et al., 2020)。[4, 5]赵平 (2015) 发现 SNARC 效应与三年级及以上小学生的数学成绩相关, 并随年级的增加而增强。[6]世界经合组织 (OECD) 研究指出, 早期认知能力 (早期阅读、数学) 比其他能力更能预测儿童未来 (Phair R, 2021)。[7]数字空间编码属于数字空间认知能力的一个指标, 由此可知对 SNARC 效应的研究尤为重要。

一直以来人类对数学认知及发展表现出浓厚兴趣, 积极探索数学认知的各种表征及其工作机制。Galton (1880) 在《Nature》上表明数字具有空间特性, 正式提出数字编码与空间信息间的关联。随着认知科学的不断发展, 对于数字加工的研究也越来越多。Dehaene 等人在 1993 年的数字大小和奇偶判断实验中, 首次发现按左侧键时小数的反应快于大数, 按右侧键时大数的反应快于小数。这种现象被称为空间-数字反应编码

联合效应 (Saptial-Numerical Association of Response Code Effect), 简称 SNARC 效应。[8] 在数字材料及携带大小、顺序信息的非数字材料如字母、音符、时间等中都存在此效应。(Gevers, Reynvoet, & Fias, 2003; Prpic et al., 2016; He et al., 2020) [9-11] Gevers 等人 (2003) 在元辅音判断实验中首次发现字母中存在 SNARC 效应。[9]

数字以空间编码的方式进行表征, 各种形式的数字、非数字符号在进入人脑内都要先进行空间表征, 再进行认知加工。[12]目前对数字-空间联结有心理数字线解释、极性编码解释、双路径模型解释、工作记忆假设等多种解释, 其中最主要的有两种解释, 一种是源于长时记忆的心理数字线假设, 一种是源于短时记忆的工作记忆假设。心理数字线假设认为数字在大脑中以自左向右的一条数字线进行表征, 小数在左侧, 大数在右侧。当个体看到数字时, 该数字在心理空间的位置被激活。若数字的左/右空间属性与个体的左/右空间一致时反应更快; 若二者不一致反应较慢。工作记忆假设认为数字-空间联结是执行任务时暂时的工作记忆表征。[13]工作记忆中数字序列位置的空间编码诱发了 SNARC 效应, 当数字序列的前后位置与空间的左右位置联结时, 形成了强于长时记忆中心理数字线的新的短时心理数字线, 于是人们只能观察到与短时心理数字线对应的 SNARC 效应。[14]

数字在工作记忆中的空间表征容易受到任务转换、干扰刺激等情境因素的影响, 具有一定的情境依赖性。[15]王强强 (2022) 研究发现在数字与字母比例为 1: 1 的混合材料中, 当任务与数字大小及字母顺序相关时, 两种材料中都没有表现出 SNARC 效应; 但当二者配比达到一定差异时, 数字和字母中都表现出 SNARC 效应。

[16]该实验结果证明了数字和顺序符号空间表征的在线建构及字母加工对数字 SNARC 效应的干扰。SNARC 效应具有自动性，在数字、字母单独呈现时，无论实验任务是否直接唤起数字大小或字母顺序信息，SNARC 效应都会出现；但当数字字母混合呈现时，数字空间联结的这种自动表征消失了。王强强等人（2016）使用数字字母 1:1 的混合材料进行材料性质、颜色判断实验，结果表明数字字母均无 SNARC 效应。[17]按照双路径模型解释，针对此现象的一种猜测是，双路径中数字任务相关的映射规则与长时记忆的数字空间联结不一致，无条件路径和条件路径相互竞争，抑制了数字 SNARC 的表征。[14]数字和字母混合呈现未影响长时记忆中心理数字线的表征，但影响了数字在工作记忆中的在线编码与建构。那么在数字与字母不同比例的混合情境中，数字字母大小顺序信息自动加工时，会否出现数字 SNARC 效应？本研究采用三个数字颜色分类任务，分别在数字与字母比例为“1:1”“6:1”和“1:6”的混合干扰情境中考察字母加工对数字 SNARC 效应的干扰，探究数字 SNARC 效应会否在大小顺序信息不被直接激活的情境下自动产生，探究数字字母混合情境中数字空间表征的在线建构是否具有自动性。进一步探讨字母加工对数字空间编码干扰的自动化机制。我们设想，字母加工会干扰数字 SNARC 效应，数字字母放在一起时数字空间表征的在线建构不具有自动性，字母加工会干扰数字 SNARC 效应，这种干扰不受数字字母比例调节，不同比例水平下数字、字母中均不表现出 SNARC 效应。

2 实验一

2.1 被试

本实验召集 30 名大学生参加，其中女生 26 人，男生 4 人。平均年龄为 18.97 (SD=1.59) 岁，被试年龄在 17-25 岁。被试视力正常自愿参与本实验。实验完成后均有报酬。

2.2 材料和仪器

实验材料为阿拉伯数字和字母。数字为 1、2、3、5、6、7 字母为 A、B、C、E、F、G 字体为 Times New Roman，所有数字和字母颜色均被涂成黑色或绿色，呈现在 70×70 像素的白底图片上。实验刺激呈现在 19 寸显示器上，实验程序运行在台式 Dell 计算机上。

2.3 实验设计

采用 2 (一致性：一致，不一致) × 2 (刺激类型：数字，字母) 被试内设计。因变量是反应时。把小数字 (1、2、3) 和 D 以前字母 (A、B、C) 用左手操作，大数字 (5、6、7) 和 D 以后字母 (E、F、G) 用右手操作的模式定为一致性反应；反之为不一致反应。

2.4 实验程序

实验程序用 E-prime 编写。所有刺激呈现在显示器中央。被试与屏幕距离 60cm 首先呈现注视点“+”500ms，然后注视点消失，随机呈现一个绿色或黑色的数字或字母（数字字母配比为“1:1”），按键结束后空屏 1500ms 后注视点处呈现新的目标刺激。实验要求参与者判断出现的数字或字母的颜色是黑色还是绿色。指导语要强调速度与准确性。整个实验分为两个 block，字母数字在同一个 block 中 1:1 混合呈现。block1 中当目标刺激为黑色时，被试用左手按 F 键，当目标刺激为绿色时，用右手按 J 键；block2 反之，当目标刺激为黑色时用右手按 J 键，目标刺激为绿色时用左手按 F 键。被试内平衡两个 block 呈现的先后顺序。每个 block 正式开始前练习 12 次，正确率达 80% 方可进入实验。正式实验中，每个数字和字母都重复出现 16 次（黑色和绿色各 8 次），共 192 试次。整个实验约需 15 分钟。实验流程图如图 1 所示。

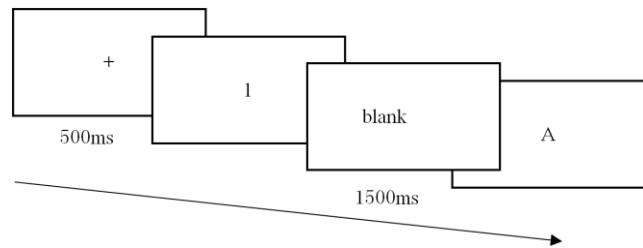


图 1 数字颜色判断任务示意图

2.5 结果分析

剔除错误反应和每个处理水平上 3 个标准差以外的反应时数据（占总数的 6.92%），对剩下的反应时数据进行重复测量方差分析。结果发现一致性主效应不显著， $F(1, 29)=1.62, p=0.69, \eta^2=0.006$ ，这表明实验一在数字和字母加工中可能都没有表现出 SNARC 效应。刺激类型主效应不显著， $F(1, 29)=0.30, p=0.587, \eta^2=0.01$ 。一致性和刺激类型交互作用不显著， $F(1, 29)=0.43, p=0.516, \eta^2=0.015$ 。虽然刺激类型与一致性交互作用不显著，但为了确定实验一中 SNARC 效应的

缺失不是因数字和字母混合分析所致，我们还是对数字和字母加工中的 SNARC 效应进行了进一步的分析。分析结果表明数字分类任务中的一致性简单主效应不显著， $F(1, 29)=0.04, p=0.852, \eta^2=0.001$ 。字母分类任务中的一致性简单主效应也不显著， $F(1, 29)=0.55, p=0.465, \eta^2=0.019$ ，结果确定实验一在数字和字母加工中均未出现 SNARC 效应，详情如图 2 所示。

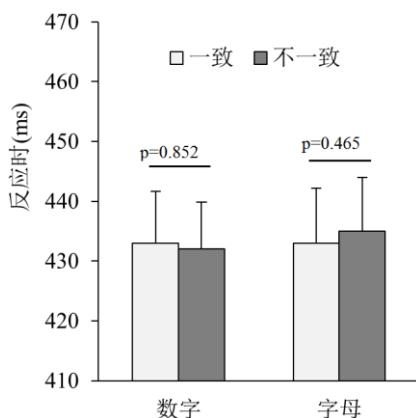


图 2 颜色分类中数字字母比例为 1:1 时一致和不一致的反应时及标准误

3 实验二

3.1 被试

本实验召集 32 名大学生参加，其中女生 25 人，男生 7 人。平均年龄为 20.28 (SD=2.64) 岁，被试年龄在 18-29 岁。被试视力正常自愿参与本实验。实验完成后均有报酬。

3.2 材料和仪器

实验的材料和仪器与实验一相同

3.3 实验设计

采用 2 (一致性: 一致, 不一致) \times 2 (刺激类型: 数字, 字母) 被试内设计。因变量是反应时。

3.4 实验程序

和实验一基本相同，不同之处为实验二中数字与字母的混合配比为“6:1”。正式实验中，每个数字重复出现的次数为 48 次（黑绿各半），每个字母重复出现的次数为 8 次（黑绿各半），共 336 试次。整个实验约需 25 分钟。

3.5 结果分析

剔除错误反应和每个处理水平上 3 个标准差以外的反应时数据（占总数的 4.42%），对剩余反应时数据进行重复测量方差分析。结果表示一致性主效应不显著， $F(1, 31)=0.63, p=0.435, \eta^2=0.02$ ，这意味着实验二在数字和字母加工中可能都没有出现 SNARC 效应。刺激类型主效应显著， $F(1, 31)=5.09, p=0.03, \eta^2=0.141$ ，数字反应 (424 ± 6.78 ms) 快于字母反应 (430 ± 7.57 ms)。一致性和刺激类型交互作用不显著， $F(1, 31)=0.002, p=0.964, \eta^2=0.000$ 。因为被试对数字和字母反应有显著差异，我们想要考察数字和字母加工中的 SNARC 效应，尽管刺激类型与一致性交互作用不显著，我们还是对数字和字母加工中的 SNARC 效应进行了进一步的分析。分析的结果表明数字颜色分类中一致性简单主效应不显著， $F(1, 31)=1.13, p=0.296, \eta^2=0.035$ 。字母颜色分类中一致性简单主效应也不显著， $F(1, 31)=0.164, p=0.689, \eta^2=0.005$ ，结果确定实验二在数字和字母加工中均都没有出现 SNARC 效应，详情见图 3。

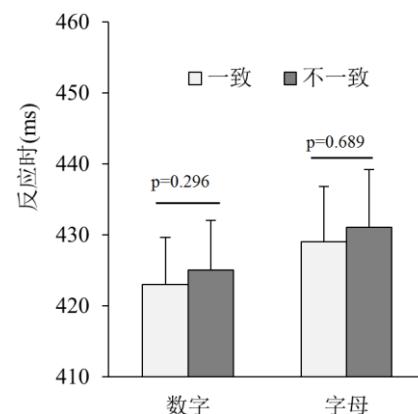


图 3 颜色分类中数字字母比例为 6:1 时一致和不一致的反应时及标准误

4 实验三

4.1 被试

本实验召集 32 名大学生参加，其中女生 46 人，男生 8 人。平均年龄为 19.25 (SD=1.59) 岁，被试年龄在 18-24 岁。被试视力正常自愿参与本实验。实验完成后均有报酬。

4.2 材料和仪器

实验的材料和仪器与实验一相同

4.3 实验设计

采用 2 (一致性: 一致, 不一致) \times 2 (刺激类型: 数字, 字母) 被试内设计。因变量为反应时。

4.4 实验程序

实验程序与实验一基本相同, 不同之处在于实验三中数字与字母的混合比例为“1:6”, 正式实验中, 每个数字重复出现 8 次 (黑绿各半), 每个字母重复出现 48 次 (黑绿各半), 共 336 试次。整个实验约需 25 分钟。

4.5 结果分析

剔除错误反应和每个处理水平上 3 个标准差以外的反应时数据 (占总数的 6.92%), 对剩余反应时数据进行重复测量方差分析。结果发现一致性主效应不显著, $F(1, 31)=2.63, p=0.612, \eta^2=0.008$, 说明实验三在数字和字母加工中的 SNARC 效应都没有表征出来。刺激类型主效应显著, $F(1, 31)=15.69, p<0.001, \eta^2=0.336$, 对字母反应 ($435 \pm 7.25\text{ms}$) 快于对数字反应 ($447 \pm 7.86\text{ms}$)。一致性和刺激类型交互作用不显著, $F(1, 31)=0.003, p=0.954, \eta^2=0.000$ 。尽管刺激类型与一致性交互作用不显著, 为了确保实验三中 SNARC 效应的缺失不是由数字字母混合分析所致, 我们还是分析了数字和字母加工中的 SNARC 效应。结果发现数字颜色分类中一致性简单主效应不显著, $F(1, 31)=0.10, p=0.753, \eta^2=0.003$ 。字母颜色分类中一致性简单主效应也不显著, $F(1, 31)=0.22, p=0.643, \eta^2=0.007$, 结果确定实验三在数字和字母加工中均未表征 SNARC 效应, 见图 4。

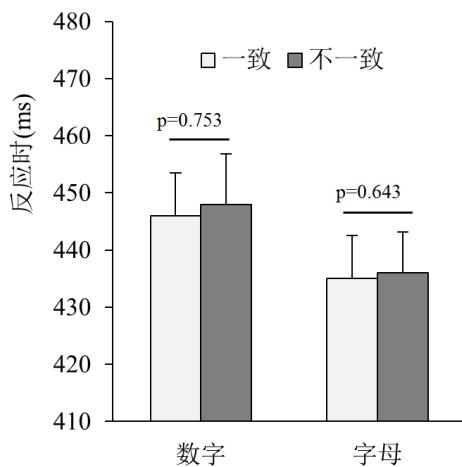


图 4 颜色分类中数字字母比例为 1:6 时一致和不一致的反应时及标准误

5 讨论

空间数字关联支持数字数学的发展和理解, 更强的空间数字关联将与更高级的数学发展相关联。[18] 脑科学表明顶叶皮层与空间能力、数字空间表征能力有关。人们加强了对数字与空间的关系、工作机制的关注, 此领域的研究也越来越多。已有研究表明数字加工与空间联结的表征是数字在工作记忆中在线建构的, 而这种在线建构编码有着较强的情境依赖性, 会受到其他刺激的干扰。以往研究证实了字母数字混合情境中字母加工成为数字空间表征的干扰刺激, 抑制了数字 SNARC 效应的产生, 字母的加工行为对数字 SNARC 效应的影响受到数字与字母混合时的比例调节, 但这种干扰能否自动产生尚不清楚。数字 SNARC 效应在数字字母混合情境中的在线建构是否具有自动性有待研究, 任务与大小和顺序信息无关时, 不同比例条件下字母加工如何干扰数字空间表征的在线建构有待探索。

本研究实验一将数字与字母以 1:1 的比例混合在一起, 考察数字在字母干扰情境下的 SNARC 效应。结果说明, 在任务不直接激活数字大小、字母顺序信息时, 字母加工会干扰数字 SNARC 效应的在线建构, 与我们的设想一致, 再次证明了数字空间表征在线建构的情境依赖性。结合前人实验, 可说明数字字母混合呈现时, 字母加工抑制数字 SNARC 效应的表征。为了探究字母加工对数字 SNARC 效应的干扰是否会受到数字字母比例调节, 实验二、三分别将数字字母比例调整为 6:1 和 1:6 然后对三个实验中的数字字母 SNARC 效应进行结果比较。结果显示三个实验中的所有比例水平下数字字母中均未诱发出 SNARC 效应。这表明不直接激起数字与字母的大小顺序信息时, 字母的加工行为对数字 SNARC 效应的干扰不会受到数字与字母的比例影响。本研究实验结果表明: (1) 数字字母混合情境中数字空间表征的在线建构不具有自动性。(2) 字母加工对数字 SNARC 效应的干扰不具有自动性。产生这种结果的一种原因可能是数字字母混合情境下的颜色判断任务中, 大脑对刺激颜色、材料类型、顺序大小信息进行加工, 相互竞争注意资源, 数字大小与字母顺序的注意资源相互干扰, 进而影响到工作记忆中数字大小、字母顺序与空间表征的在线建构, 也有可能数字字母的大小顺序信息没有被激活。

之前实验中当数字大小、字母顺序信息被直接激活时, 在数字与字母以 1:1 的配比混合出现时, 数字字

母均未诱发出 SNARC 效应, 当比例为 1:6, 6:1 时数字字母中都表征出了 SNARC 效应。本实验中未直接激活数字字母的大小顺序信息, 数字字母在比例为 1:1, 1:6, 6:1 时均未出现 SNARC 效应, 数字的 SNARC 效应不能在数字字母混合情境中自动表征。产生不同结果的原因可能是因为字母加工的干扰、刺激本身性质(颜色)的干扰及任务执行时认知资源的抢夺。数字字母的不同比例未对数字字母混合情境中的数字 SNARC 效应的表征产生影响。本研究中实验一的结果复制了之前实验的结果, 在数字材料单独呈现时数字 SNARC 效应能自动表征, 数字字母材料放在一起呈现时数字 SNARC 效应无法自动表征, 再次证明了字母的加工对数字 SNARC 效应表征的干扰。

目前, 字母加工对数字 SNARC 效应干扰的工作机制还有待进一步探究。现在已被证实不携带空间属性的其他刺激加工也会干扰数字-空间联结的在线建构、编码, 下一步可针对这种不携带大小顺序信息的干扰刺激能否自动影响数字 SNARC 效应进行实验, 探究混合材料情境下, 没有顺序信息与数字大小信息抢夺加工资源时, 数字 SNARC 效应能否自动表征。

6 结论

本研究得出以下结论: (1) 数字字母混合情境中数字空间表征的在线建构不具有自动性。(2) 在任务不直接激活数字字母的大小顺序信息时, 字母会干扰数字 SNARC 效应的在线建构, 且不受比例调节。

参考文献

- [1] Frick A. Spatial transformation abilities and their relation to later mathematics performance [J]. Psychological Research. 2019, 83 (7): 1465-1484.
- [2] 徐晓东, 刘昌. 数字的空间特性 [J]. 心理科学进展, 2006, 14 (6): 851-858.
- [3] Gunderson, E. A., Ramirez, G., Beilock, S. L., & Levine, S. C. (2012). The relation between spatial skill and early number knowledge: The role of the linear number line. *Developmental Psychology*, 48, 1229-1241.
- [4] Georges, C., Hoffmann, D., & Schiltz, C. (2017). Mathematical abilities in elementary school: Do they relate to number-space associations? *Journal of Experimental Child Psychology*, 161, 126-147.
- [5] He, Y., Nuerk, H. C., Derkse, A., Shi, J., Zhou, X., & Cipora, K. (2020). A gifted SNARC? Directional spatial-numerical associations in gifted children with high-level math skills do not differ from controls. *Psychological Research*.
- [6] 赵平. 儿童数字空间表征发展及其与数学学业能力的关系研究 [D]. 河北师范大学, 2015.
- [7] Phair R. International early learning and child well-being study assessment framework [J]. directorate for Education ardskills, 2021 (3).
- [8] Dehaene S, Bossini S, Giraux P. The mental representation of parity and number magnitude [J]. *Journal of experimental psychology: General*, 1993, 122 (3): 371-396.
- [9] Gevers W, Reynvoet B, Fias W. The mental representation of ordinal sequences is spatially organized [J]. *Cognition*, 2003, 87 (3): B87-B95.
- [10] Prpic, V., Fumarola, A., De Tommaso, M., Luccio, R., Murgia, M., & Agostini, T. (2016). Separate mechanisms for magnitude and order processing in the spatial-numerical association of response codes (SNARC) effect: The strange case of musical note values. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 42 (8), 1241-1251.
- [11] He, D. X., He, X. Y., Zhao, T. T., Wang, J., Li, L. Z., & Louwerse, M. (2020). Does Number Perception Cause Automatic Shifts of Spatial Attention? A Study of the Att-SNARC Effect in Numbers and Chinese Months. *Frontiers in Psychology*, 11, 680.
- [12] Nuerk H-C, Weger, Willmes U, et al. Decade breaks in the mental number line? Putting the tens and units back in different bins. *Cognition*, 2001, 82 (1): 25-33.
- [13] 戴隆农, 潘运. 数字-空间联结的内在机制: 基于工作记忆的视角 [J]. 心理科学, 2021 (4): 793-799.
- [14] 颜丽珠, 陈妍秀, 刘勋, 等. 数字空间联结的灵活性及其内在机制 [J]. 心理科学进展, 2022, 30 (1): 51-64.
- [15] 潘运, 戴隆农, 赵竹君, 等. 正负数混合呈现对负数 SNARC 效应的影响 [J]. 心理科学, 2019, 42 (5): 1083-1090.
- [16] 王强强, 张琦, 石文典, 等. 数字空间表征的在线建构: 来自干扰情境中数字 SNARC 效应的证据 [J]. 心理学报, 2022, 54 (07): 761-771.
- [17] 王强强, 宝霞, 吴彦文, 兰继军. 不同类型材料混合呈现对 SNARC 效应的影响 [J]. 应用心理学, 2016, 22 (4): 352-363.
- [18] Fischer M H, Shaki S. Spatial associations in numerical cognition—From single digits to arithmetic [J]. *Quarterly journal of experimental psychology*, 2014, 67 (8): 1461-1483.