

# 知识整合的加工:来自小学高年级儿童的证据\*

赵笑梅<sup>1</sup>, 刘子涵<sup>2</sup>, 范彧然<sup>3</sup>

(1. 河北师范大学教育学院, 石家庄 050024; 2. 河北北方学院法政学院, 张家口 075000; 3. 唐山师范学院, 唐山 063009)

**摘要:**以小学高年级儿童(10~12岁)作为被试,通过三个实验探讨了该年龄阶段儿童知识整合的内部加工过程及加工性质。结果发现:(1)在成功整合的情况下,儿童对后获得的主干事实二的加工时间均显著长于先获得的主干事实一,对主干事实二更长的加工时间与主干事实的内容无关,而是受主干事实的顺序影响。(2)儿童对主干事实二更长的加工时间中包含了在编码主干事实二的同时重新激活主干事实一的过程。(3)小学高年级儿童(10~12岁)已能成功整合,且整合是自动发生的。这些结果说明,知识整合包含编码、重新激活和整合等内部加工过程,支持了ERISS模型,小学高年级儿童正处于自动整合发展的转折期。

**关键词:**知识整合;语义记忆;小学高年级儿童

**中图分类号:**B842.5

**文献标志码:**A

**文章编号:**1003-5184(2026)01-0040-10

## 1 引言

知识整合(Knowledge Integration),是指个体把从两个或多个分离但相关的情节中习得的信息结合起来生成新知识的过程,是扩展知识库的关键机制(Miller-Goldwater et al., 2021; Preston & Eichenbaum, 2013; Siegler, 1989; Varga et al., 2016)。例如,个体在一个情节中习得一个信息“《说文解字》是我国第一部字典”,在另一个情节中习得与之相关的另一信息“我国第一部字典的作者是许慎”,当个体将两个信息结合起来生成一个新知识“《说文解字》的作者是许慎”,就发生了知识整合。在这个过程中,先习得的信息称为主干事实一,后习得的信息称为主干事实二,生成的新知识称为整合事实。

在日常的生活和学习中,学习者经常需要重新组织已有的知识来满足新的提取要求(Salatas & Flavell, 1976)。整合已有知识、生成新知识的能力不仅可以有效预测一般智力(Hannon & Daneman, 2014),也是儿童认知发展的重要方面(Bauer, Esposito et al., 2020; Bauer et al., 2012)。此外,儿童的知识整合能力也与其学业成就显著相关(Esposito & Bauer, 2017; Varga et al., 2019),因此,为了促进儿童认知及学业成就的积极发展,有必要对知识整合的认知加工过程及其影响因素进行探究。

以往研究对影响知识整合的外部因素进行了探

讨,发现主要受到实验材料本身特征(Bauer & Larkina, 2017; Esposito & Bauer, 2019)、呈现方式(Bauer, Cronin-Golomb, et al., 2020; Bauer & Souci, 2010)、提示(Bauer et al., 2015; Varga & Bauer, 2013; Wilson & Bauer, 2021)和实验背景环境(Esposito & Bauer, 2017; Esposito et al., 2021)等客观因素的制约。

但是,对知识整合内部加工过程的探究还比较有限。Bauer等人(2016)分析7~10岁儿童阅读主干事实的加工时间和知识整合表现以考察认知资源分配,结果发现,对先习得的主干事实一更长的加工时间与整合生成的成绩并不相关,而对后习得的主干事实二更长的加工时间可能会影响整合表现;对主干事实二加工时间更长的儿童,知识整合成绩更好。更长的加工时间,表明学习者付出了更多的认知努力(Cornoldi & Oakhill, 1996),那么具体涉及到哪些认知加工呢?

对于知识整合的认知加工过程,Bauer和Varga(2017)提出了ERISS模型,认为主要包括五个环节:编码、重新激活、整合、选择和自我扩展。即对主干事实进行编码,后续学习到与之前编码的主干事实有关联的新主干事实时,重新激活原来编码的主干事实,将几个相关的主干事实整合生成整合事实,在有问题出现时选择回答问题对应的整合事实进行作答,并将这一整合事实纳入长时记忆库中。根据

\* 基金项目:河北省社科基金重点项目(HB25JY004)。

通信作者:赵笑梅, E-mail: zhaoxiaomei@hebtu.edu.cn。

ERISS模型结合Bauer等人(2016)的研究可以推测,成功整合时对后呈现的主干事实二的加工时间都会更长,因为在这一过程中除了编码主干事实二外还可能发生对主干事实一的重新激活,但是遗憾的是,Bauer等人(2016)的研究只是在自然观察条件下观测到了成功整合条件下后呈现的主干事实二加工时间更长这一事实,间接地支持了这一过程,尚缺乏严格控制的实验验证;因此,不能排除主干事实的内容对加工时间的影响。为了探究知识整合的内部加工,尤其是重新激活这一过程,本研究拟通过实验一首先考察主干事实内容和顺序对加工时间的影响,以两个主干事实的呈现顺序为自变量,考察儿童对主干事实二更长的加工时间究竟是与主干事实呈现的顺序有关,还是受主干事实的内容制约。而在实验二,通过控制主干事实二的加工时间来考察在对主干事实二更长的加工时间里是否进行了主干事实一的重新激活。上述两个实验,一方面可以验证ERISS模型所提出的编码、重新激活过程的合理性,有助于丰富和完善相关理论。另一方面,了解知识整合是如何发生的,对于提出促进知识整合的有效干预措施也具有重要的现实意义;考虑到在2022年最新出台的义务教育课程方案中(简称新课标)特别提出要强化知识整合,因此,这一探索更具实践指导价值。

如果实验二的设想得到了证实,初步了解了知识整合的内部加工过程,那么进一步的,有必要探究一下这一加工过程的性质和特点。即如果被试在编码主干事实二时激活了与之相联系的主干事实一,那么被试接下去是否会自动将主干事实一、二联系起来进行整合呢?换言之,在整合要求出现之前,整合是否已经自动发生?以往研究表明,不同年龄个体整合情况有所不同。对于成年人来说,整合这一环节是自动发生的。Bauer和Jackson(2015)采用ERP发现,大学生在整合问题出现前,整合生成的知识就会从新知识快速转换成熟知的知识并被纳入长时记忆知识库中,成年人在没有明确提示的情况下会自动整合(Bauer, Esposito et al., 2020)。而对于幼儿和小学低年级儿童而言,整合是在提示或要求形成一种新的联想时才可能发生的。4岁儿童甚至在整合问题出现时都不能给出答案(Bauer & Souci, 2010);6岁儿童只有在有整合需要时才有可能进行整合(Varga & Bauer, 2013);7~9岁儿童不

能像成年人一样自动整合(Bauer, Cronin - Colomb, et al., 2020)。对于青少年(12~13岁)而言,Shing等人(2019)发现他们已经和成年人有了类似的整合模式。显然,自小学低年级儿童到青少年,整合的情况已经发生了转变,从不能自动整合发展为自动整合,综合以往研究推测,这一转折应当发生在小学高年级时期(10~12岁)。

然而,以往研究尚缺乏这一年龄段的实证依据,故本研究以小学高年级儿童为被试,探讨其知识整合的表现。实验三拟通过比较儿童对匹配、不匹配整合事实的判断反应时差异,来检验小学高年级儿童有无自动整合(马红霞等, 2021; 王穗苹等, 2009; Chen & Hsuan - Chih, 1992; Mayo et al., 2004; Wang et al., 2008)。若自动整合生成整合事实,则匹配陈述-正确判断的反应时短于不匹配陈述-正确判断;若未自动整合,则没有显著性差异。这一探究有助于丰富知识整合发展年龄趋势的资料,更重要的是说明该年龄阶段整合这一加工过程的性质和特点。如果小学高年级是整合发展的转折期这一预测得到证实,这一结果将对小学高年级的教材的编制、教学的实施等产生相当的影响。

综上所述,以往研究虽然观察到了成功整合条件下对后呈现的主干事实二加工时间更长的事实,但未能通过实验控制探测出该现象究竟是由于主干事实二的内容还是主干事实的顺序所导致。因此在实验一中,通过操纵主干事实的呈现顺序进行了考察,实验假设成功整合条件下儿童对主干事实的加工时间不受主干事实的内容影响,而与主干事实呈现位置有关,只要是后呈现的主干事实二的加工时间都应显著长于主干事实一。在实验一的基础上,实验二进一步探究了对主干二更长时间的加工是否除了编码主干事实二外还涉及对主干事实一的重新激活。实验二通过控制主干事实二的加工时间来考察这一问题,实验预期对主干事实二提供更充分的加工时间时,不仅有助于编码主干事实二,还可以促进激活主干事实一,因此不仅会提高主干事实二的回忆正确率,还能提高主干事实一的回忆正确率以及整合事实的正确率。实验三考察了儿童能否将激活的主干事实一与编码的主干事实二主动联系起来,在没有要求的条件下发生整合。实验预期如果儿童在编码主干事实二时就主动将主干事实一、二联系起来进行整合并生成整合事实,那么他们对随

后呈现的匹配事实的反应时将明显短于不匹配事实;如果儿童尚未进行整合,则对匹配和不匹配事实的反应时没有显著性差异。

## 2 实验一

### 2.1 被试

随机选取小学高年级儿童 56 人(男生 29 名、女生 27 名,平均年龄为  $10.89 \pm 0.76$  岁)作为被试,随机分成两组,每组 28 人。一组男生 14 名、女生 14 名,平均年龄  $11.04 \pm 0.69$  岁;另一组男生 15 名、女生 13 名,平均年龄  $10.75 \pm 0.80$  岁。被试均视力或矫正视力正常,未参与过类似实验,实验结束后给予被试一定的物质奖励。鉴于被试为儿童群体,实验通过伦理委员会审核获得了伦理审查同意书,并获得了儿童及其家长和学校的知情同意。

### 2.2 材料

主干事实材料:参考 Bauer 等人(2016)编制的知识整合生成的测验材料,根据被试群体现阶段的知识储备量和认知能力,改编实验材料,共 24 个主

干事实,每个主干事实的长度均在 10~13 个汉字之间。(例如:主干事实:“最早的地铁出现在英国”、“大都会地铁是最早的地铁”,生成的整合事实:“大都会地铁位于英国”)。

测验材料:共 36 个问题组成,其中包括 12 个整合事实问题和 24 个主干事实问题。(例如,针对上面例子,与之对应的主干事实问题为“最早的地铁出现在哪里?”、“哪个地铁是最早的地铁?”,整合事实问题为“大都会地铁位于哪里?”)通过预实验验证,所有的主干事实和整合事实对于 10~12 岁儿童都是从未接触过的新知识。

### 2.3 实验设计和程序

采用单因素被试间实验设计。自变量是主干事实 a、b 的呈现位置先后。因变量是整合事实的正确率和主干事实的加工时间与回忆正确率。实验采用分离语句范式(Bauer & Jackson, 2015; Varga & Bauer, 2017),用 E-prime 2.0 编程,具体操作程序如图 1。

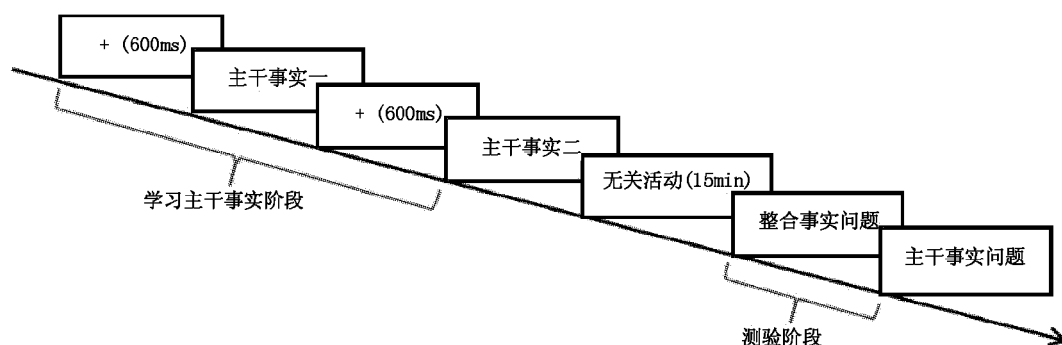


图 1 实验流程图

(1)学习主干事实阶段:指导语为“欢迎参加本次实验!首先会在屏幕中央呈现一个+字型的注视点,提醒你集中注视电脑屏幕中央。然后,你将在电脑屏幕上看到一个句子,请同学们认真阅读并记忆这个句子。在记忆完这个句子后按 J 键,这时阅读过的句子就会消失并出现下一个句子,直到完成所有句子的阅读。”正式实验前,被试先进行练习实验,确保熟悉按键反应和实验流程。实验过程中记录被试学习每个主干事实的加工时间。a-b 组:主干事实 a1-a12 为主干事实一(如:a1 最早的地铁出现在英国);主干事实 b1-b12 为主干事实二(如:b1 大都会地铁是最早的地铁)。b-a 组:主干事实 b1-b12 为主干事实一;主干事实 a1-a12 为主干事实二。主干事实 a 和主干事实 b 都是伪随机呈现,确保两两配对主干事实呈现的间距相当。学

习阶段完成后,进行 15min 无关活动。

(2)测验阶段:测试阶段指导语为:“接下来会呈现一些问题,你需要把问题的答案按照顺序填写在答题纸上,如果问题无法答出可不填。”先检验被试是否成功生成整合事实,再进行主干事实回忆测验,均采用问答形式。

### 2.4 结果与分析

为探讨主干事实 a、b 呈现顺序对整合事实和主干事实正确率的影响,以呈现顺序为自变量,整合事实正确率以及主干事实一、二回忆正确率为因变量(见表 1)进行方差分析,结果表明主干事实的呈现顺序对整合事实和主干事实的正确率均没有显著影响。在整合事实正确率上,  $F(1, 54) = 0.21, p = 0.645, \eta_p^2 = 0.04$ ; 主干事实一回忆正确率,  $F(1, 54) = 0.44, p = 0.509, \eta_p^2 = 0.08$ ; 主干事实二回

忆正确率,  $F(1, 54) = 0.89, p = 0.349, \eta_p^2 = 0.16$ 。

同样,以呈现顺序为自变量,主干事实一、二加工时间为因变量(见表1)进行方差分析,结果发现呈现顺序对主干事实加工时间没有显著影响。主干

事实一加工时间上,  $F(1, 54) = 1.53, p = 0.221, \eta_p^2 = 0.03$ ;主干事实二加工时间上,  $F(1, 54) = 1.30, p = 0.259, \eta_p^2 = 0.02$ 。

表1 不同顺序下整合事实和主干事实的正确率(%)和主干事实加工时间(ms)

|                     | 整合事实<br>正确率     | 主干事实一<br>正确率    | 主干事实二<br>正确率    | 主干事实一<br>加工时间         | 主干事实二<br>加工时间         |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| a - b 组( $n = 28$ ) | $0.58 \pm 0.19$ | $0.74 \pm 0.15$ | $0.64 \pm 0.20$ | $4408.39 \pm 1643.51$ | $4663.35 \pm 1672.59$ |
| b - a 组( $n = 28$ ) | $0.56 \pm 0.14$ | $0.71 \pm 0.15$ | $0.60 \pm 0.16$ | $4899.18 \pm 1304.84$ | $5121.63 \pm 1310.68$ |

鉴于研究更关注的是同组中主干事实一和主干事实二的加工时间是否有差异,因此,对两组分别进行主干事实一和主干事实二加工时间配对样本  $t$  检验,结果发现两组加工时间差异均不显著, a - b 组,  $t(27) = -1.34, p = 0.190, d = 0.25$ ; b - a 组,  $t(27) = -1.47, p = 0.150, d = 0.27$ 。

考虑到不论哪种呈现顺序都会出现两种情况:有些儿童整合生成了正确的新知识,有些儿童则没有,前一种称为成功整合,后一种称为失败整合。为了进一步探测主干事实加工与知识整合的关系,有必要把两种情况分开统计。两组各 28 名同学在 12 个整合生成问题总计 672 个 trail 上,成功整合 383 题,占 57%,失败整合 289 题,占 43%。进一步分析发现,在成功整合的情况下,主干事实二的加工时间均显著长于主干事实一, a - b 组,主干事实一、二的平均加工时间分别为  $4276.38 \pm 2397.60$  和  $5341.14 \pm 2688.36, t(194) = -7.13, p < 0.001, d = 0.51$ ; b - a 组,主干事实一、二的平均加工时间分别为  $4589.16 \pm 1732.79$  和  $5427.48 \pm 1984.10, t(187) = -6.52, p < 0.001, d = 0.48$ 。而在失败整合的情况下主干事实二的加工时间均显著短于主干事实一, a - b 组,主干事实一、二的平均加工时间分别为  $4590.96 \pm 2578.01$  和  $3725.98 \pm 2193.78, t(140) = 3.49, p < 0.001, d = 0.29$ ; b - a 组,主干事实一、二的平均加工时间分别为  $5292.99 \pm 2153.84$  和  $4733.12 \pm 2141.44, t(147) = 2.82, p = 0.005, d = 0.23$ 。结果表明,在成功整合的情况下,儿童对主干事实的加工时间不受主干事实的内容影响,而与主干事实呈现位置有关,对主干事实二的加工时间均显著长于主干事实一。

对主干事实二的加工时间与主干事实一、主干事实二和整合事实的正确率进一步分析,发现主干事实二的加工时间与主干事实一的回忆正确率呈显著相关, a - b 组,  $r = 0.23, p < 0.001$ ; b - a 组,  $r =$

$0.14, p = 0.013$ 。主干事实二的加工时间与主干事实二的回忆正确率呈显著相关, a - b 组,  $r = 0.33, p < 0.001$ ; b - a 组,  $r = 0.16, p = 0.004$ 。主干事实二的加工时间与生成整合事实的正确率呈显著相关, a - b 组,  $r = 0.31, p < 0.001$ ; b - a 组,  $r = 0.18, p = 0.001$ 。可以看出,主干事实二的加工时间与回忆两个主干事实的正确率和生成整合事实的正确率均呈显著正相关,对主干事实二的加工时间越长,回忆两个主干事实的正确率越高,生成整合事实的正确率也越高。

主干事实二的加工时间为什么与回忆成绩和整合成绩相关呢?对主干事实二更长的加工时间进行了哪些加工?是不是在编码了主干事实二的同时重新激活了主干事实一进而促进了知识整合?实验二通过控制对主干事实二的加工时间来探究这一问题。

3 实验二

3.1 被试和材料

随机选取小学高年级被试 52 人(男生 27 名,女生 25 名,平均年龄为  $11.02 \pm 0.61$  岁),随机分为两组,每组 26 人。一组男生 15 名、女生 11 名,平均年龄  $10.92 \pm 0.56$  岁;另一组男生 12 名、女生 14 名,平均年龄  $11.12 \pm 0.65$  岁。其他方面和材料同实验一。

3.2 实验设计和程序

根据 Bauer 等人的研究(Bauer, Esposito, et al., 2020; Bauer & Jackson, 2015)以及同质被试预试的结果,对主干事实二的加工时间主要通过学习阶段主干二的呈现时间来控制,学习阶段的呈现时间定为:主干事实一均呈现 4s;主干事实二非充分加工组呈现 4s,充分加工组呈现 8s。自变量是对主干事实二加工时间的控制(非充分加工组呈现 4s、充分加工组呈现 8s),因变量是整合事实的正确率和主干事实的回忆正确率。实验程序除呈现时间变化

外,其他同实验一。

### 3.3 结果与分析

由于本实验将加工时间作为自变量控制,因此重点考察在主干事实一加工时间相同,主干事实二加工时间不同的条件下,充分加工和非充分加工的两组被试在生成整合事实和回忆主干事实上的正确率差异(见表2)。方差分析结果发现,加工时间对

正确率的影响差异显著。在整合事实正确率上, $F(1,50) = 9.20, p = 0.004, \eta_p^2 = 0.16$ ;主干事实一回忆正确率, $F(1,50) = 5.53, p = 0.023, \eta_p^2 = 0.10$ ;主干事实二回忆正确率, $F(1,50) = 6.75, p = 0.012, \eta_p^2 = 0.12$ 。说明,对主干事实二投入更多的加工时间不仅提高了主干事实二的回忆正确率,还提高了主干事实一的回忆正确率和整合事实的正确率。

表2 不同加工时间下整合事实和主干事实的正确率(%)

|                    | 整合事实正确率         | 主干事实一正确率        | 主干事实二正确率        |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 充分加工组( $n = 26$ )  | $0.75 \pm 0.20$ | $0.86 \pm 0.15$ | $0.79 \pm 0.19$ |
| 非充分加工组( $n = 26$ ) | $0.59 \pm 0.19$ | $0.77 \pm 0.14$ | $0.66 \pm 0.18$ |

研究推测,对主干事实二更长的加工时间可能重新激活了与之相联系的主干事实一,因此充分加工组回忆主干事实一的表现好于另一组。同样,随着主干事实一被重新激活,主干事实一与主干事实二发生了联结,进而促成了整合生成,因此充分加工组整合生成整合事实的表现明显好于另一组。那么整合是在被试学习到主干事实一、二时自动就会发生的吗?实验三将对整合的性质进行进一步探究。

## 4 实验三

### 4.1 被试

随机选取小学高年级被试56人(男生30名、女生26名,平均年龄为 $10.93 \pm 0.73$ 岁),随机分为两组,每组28人。两组男、女生均为15名和13名,平均年龄分别为 $10.89 \pm 0.72$ 岁和 $10.97 \pm 0.73$ 岁。其他同实验一。

### 4.2 材料

主干事实材料与实验一相同,测验任务不同。实验一、二、的测验任务以问题的形式出现(例如,“大都会地铁位于哪里?”)。由于测试的材料为语句,实验三借鉴语句阅读中的匹配范式,将测试阶段的任务转变为对陈述句进行匹配、不匹配判断(例如,“大都会地铁位于英国”即为匹配陈述,“大都会地铁位于法国”即为不匹配陈述),通过记录对整合事实判断的反应时差异,来探测整合是否自动发生。

### 4.3 实验设计和程序

采用2(对主干事实二加工时间的控制:非充分

加工组4s、充分加工组8s) $\times$ 2(整合事实的类型:匹配、不匹配)两因素混合设计。前者为被试间变量,后者为被试内变量。主干事实一均呈现4s。因变量为被试判断的反应时和正确率。实验程序:在给被试呈现主干事实二后,紧接着就立即呈现对应的匹配或不匹配的整合事实,让被试尽快作出判断,匹配按F键,不匹配按J键,并记录被试进行整合事实判断的反应时,直到完成所有主干事实的学习和整合事实的判断。主干事实一、主干事实二和整合事实判断都是伪随机呈现,确保两配对主干事实呈现的间距相当。同时,控制整合事实陈述匹配与否的数量确保匹配平衡。其他同实验一。

### 4.4 结果与分析

以整合事实类型(匹配、不匹配)为被试内变量,以主干事实二加工时间的控制(充分加工、非充分加工)为被试间变量,对被试判断反应时(见表3)做2 $\times$ 2方差分析。结果发现,匹配条件主效应显著, $F(1,54) = 17.01, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.24$ ,匹配陈述的反应时显著快于不匹配陈述的反应时,说明整合这一过程是自动发生的。主干事实二加工时间的主效应不显著, $F(1,54) = 0.08, p = 0.775, \eta_p^2 = 0.02$ ,即是否充分加工对判断反应时并无显著影响。匹配条件和主干事实二加工时间的交互效应也不显著, $F(1,54) = 2.34, p = 0.132, \eta_p^2 = 0.04$ 。

表3 充分加工和非充分加工组在匹配和非匹配事实条件下判断反应时(ms)和正确率(%)

|                    | 判断反应时                 |                       | 判断正确率           |                 |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
|                    | 匹配陈述                  | 不匹配陈述                 | 匹配陈述            | 不匹配陈述           |
| 充分加工组( $n = 28$ )  | $3233.36 \pm 1305.39$ | $4341.69 \pm 1305.39$ | $0.73 \pm 0.20$ | $0.63 \pm 0.20$ |
| 非充分加工组( $n = 28$ ) | $3607.96 \pm 1088.72$ | $4117.06 \pm 1155.40$ | $0.67 \pm 0.19$ | $0.49 \pm 0.21$ |

以整合事实类型(匹配、不匹配)为被试内变量,以主干事实二加工时间的控制(充分加工、非充分加工)为被试间变量,对被试的判断正确率(见表3)做2x2方差分析。结果发现,匹配条件主效应显著, $F(1,54) = 15.49, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.22$ ,匹配条件下判断正确率显著高于不匹配条件。主干事实二加工时间的主效应显著, $F(1,54) = 958.69, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.95$ ,充分加工条件下判断正确率显著高于非充分条件,与实验二结果同样支持了充分加工的效应。匹配条件和主干事实二加工时间的交互效应不显著, $F(1,54) = 1.58, p = 0.215, \eta_p^2 = 0.03$ 。

## 5 讨论

通过三个实验对知识整合的内部加工以及知识整合与主干事实加工的关系进行研究,发现小学高年级儿童已经能够进行知识整合;当成功整合时,对后呈现的主干事实二的加工时间都会更长,这可能是由于这一更长的加工时间里进行了对主干事实一的重新激活;同时,发现对于小学高年级儿童而言,对两个主干事实的知识整合这一环节是自动发生的。

实验一具体探讨了“知识整合学习主干事实二时更长的加工时间是受内容的影响还是呈现顺序导致的”这一问题,实质上旨在揭示知识整合的认知加工过程。结果发现在知识整合成功的情况下,10~12岁儿童对主干事实的加工反应时不受主干事实的内容影响,而与主干事实的顺序有关,即对后呈现的主干事实二的加工反应时均显著长于先呈现的主干事实一。且同Bauer等人(2016)对7~9岁儿童的研究一样,主干事实二的加工反应时与回忆主干事实的正确率和生成整合事实的正确率均呈显著正相关。因此有理由推测:当儿童编码主干事实二后,主干事实二的内容使得儿童回忆起与之相联系的主干事实一,所以学习主干事实二的加工时间更长了(Bauer & Varga, 2017)。对于知识整合的认知加工过程,Bauer等人(2017)提出了ERISS理论模型设想,认为知识整合的认知加工过程包含了编码、重新激活、整合、选择和自我生成五个子过程,实验一的结果对重新激活这一加工环节的可能性给予了证明。

为了进一步确认这一推测,实验二接着通过控制对主干事实二的加工时间充分与否来考察重新激活环节。结果发现相较于对主干事实二加工时间不

充分而言,赋予主干事实二充分的加工时间,不仅导致主干事实二的回忆更好,主干事实一的回忆也会更好,证明在编码主干事实二的这段时间中会重新激活有共同因素的主干事实一,而这促成了被试将主干事实一、二联结起来,因此整合事实生成表现也更好。这一结果有力地支持了知识整合的ERISS模型(Bauer & Larkina, 2017; Bauer & Varga, 2017),说明重新激活是成功整合的重要环节,只有在加工主干事实二时,能有效激活与之相联系的主干事实一,进而建立二者的联系,才有可能整合生成新事实。结合实验一、二可以发现,有些被试对某些主干事实二加工很快,用时很短,往往是没有通过检索激活与之相联系的主干事实一,将主干事实二作为一个孤立的事实来学习,因此导致整合失败。

从知识整合的认知加工过程来看,已有研究发现整合这一环节具有明显年龄差异(Bauer, Esposito et al., 2020; Bauer, Cronin - Golomb et al., 2020; Bauer & Souci, 2010; Shing et al., 2019; Varga & Bauer, 2013),7~9岁之前的幼儿和小学低年级儿童需要在提示或要求下才有可能进行整合(Bauer, Cronin - Golomb et al., 2020; Varga & Bauer, 2013),到了12~13岁的青少年才能和成年人有类似的整合模式(Shing et al., 2019)。那么,作为整合的前一环节,重新激活是否也受到年龄的制约并影响着知识整合的发生呢?实验二中给予儿童更多的时间加工主干事实二,发现对主干事实二的回忆正确率提升的同时对主干事实一的回忆正确率也显著增加,这表明小学高年级儿童(10~12岁)已经能够在两主干事实条件下进行重新激活,表现出了与整合环节相似的发展趋势(Shing et al., 2019)。而且,从总体来看,成功整合已经超过了50%,占到了57%,意味着对小学高年级儿童而言,重新激活已经成为可能并逐渐占据主导,不再是阻碍其知识整合发生的瓶颈环节。小学高年级儿童在知识整合重新激活这一环节上的发展,与其整体认知发展水平特别是工作记忆的发展有着密切关系。重新激活需要在学习新事实的同时提取并保持原有事实的记忆痕迹,这对知识整合至关重要,研究表明,工作记忆对重新激活这一环节的加工表现出了明显的制约作用(Jia et al., 2025);具有高工作记忆广度的个体,不仅能通过更高效的语言回路(保持语言信息)和视觉空间模板(保持视觉表征)维持多个核心事实的激活,还能快速发现信

息片段间的联系通过情景缓冲器将独立编码的信息进行关联(Jia et al., 2025)。总之,更高的工作记忆容量,意味着个体能够更有效地保持和联结分离情节中获得的语义信息,更成功地对潜在有关联的相关概念和事实激活(Jia et al., 2025)。而对我国小学儿童的研究发现,儿童汉字及词组的工作记忆容量在小学阶段处在上升期,从二年级-四年级的平缓期到六年级经历了一个重要发展阶段,六年级接近了成人发展水平(朱翠银, 2018),这使得小学高年级在儿童加工以语句表达的知识整合材料时能够更好地胜任编码、保持并在适当条件下激活的认知加工。

在探究了知识整合加工的过程之后,实验又进一步探讨了这一整合加工的性质,即整合过程是不是自动发生的? 如果被试在加工编码主干事实二时,能有意识地将主干事实一、二联系起来,通过整合加工生成了整合事实,那么他们在随后的判断任务中,对与整合事实相匹配的事实的反应时就会更短。因为匹配陈述句更符合预期,而不匹配陈述句与整合事实冲突,对匹配陈述的反应时应短于不匹配陈述。实验三结果发现无论充分加工还是非充分加工条件下,对匹配陈述的反应时确实显著快于对不匹配陈述的反应时。这表明,小学高年级儿童(10~12岁)的知识整合是在学习与先前知识相联系的知识时就立即发生的,而不是在有整合问题或整合要求时才发生,他们同那些更成熟的12~13岁的儿童一样,表现出了与成年人相似的整合模式(Shing et al., 2019)。而在以往研究中,7~9岁儿童在编码时只能将两个主干分别表征进行记忆(Miller-Goldwater et al., 2021),不能在提示前进行整合(Bauer, Cronin-Golomb et al., 2020)。这一结果,支持了小学高年级是整合发展转折期这一设想。研究的这个发现,一方面证实了ERISS模型整合环节的发生,另一方面为整合的年龄发展趋势提供了相对比较缺失的小学高年级儿童的证据。从理论视角,这一发现对于ERISS模型是一个补充,研究认为整合加工可能并不是个简单的“全或无”的认知活动,而是一个连续体;有关整合的理论模型,除了关注能否整合,还有必要考虑整合的层次和水平,探究整合的边界条件,何时何种条件下个体更具自主性、能够自动整合,何时何种条件下更依赖外部提示等;再有,应当进一步勾勒整合的年龄发展轨迹,包

括关键期、转折点,以便更好地服务于教育实践。

目前,虽然关于整合的年龄发展证据尚不完备,但它是幼儿末期开始显现、青春期末至成年早期趋于成熟的认知加工,其效率受到工作记忆、执行功能等因素调节已经得到了证实(赵笑梅等, 2025; Jia et al., 2025)。小学高年级儿童能够自动整合这一现象,实质上是其心理活动有意性在知识整合加工上的体现,在小学儿童认知活动的发展上也并非孤立的个案,小学高年级儿童在注意、记忆等多方面的发展上都表现出了类似的特点(朱智贤, 2009)。小学高年级儿童的这一发展特点,受益于快速发展的工作记忆水平,他们可以拥有更多容量用于加工和存储;更受到更为高阶的、逐渐开始成熟的执行功能的影响。执行功能(executive function)是有意识的、自上而下的对行动、思想、情感控制的高级认知功能,影响着大部分与注意、控制相关的能力和涉及目标导向的日常行为(Zelazo, 2020),其核心成分除了工作记忆之外,还包括抑制控制和认知灵活性(Diamond, 2013)。研究表明,在小学高年级阶段,高阶的执行功能(如,认知灵活性和工作记忆刷新)会得到较大发展(Magalhães et al., 2020);从我国学龄儿童执行功能的数据来看,执行功能总分呈现阶梯式发展,11岁组得分显著高于9岁组,9岁组显著高于7岁组(孙梅杰, 2025)。有研究指出,执行功能成分快速发展并在10岁左右出现较大的成熟,是高年级儿童能够利用这一复杂认知能力来解决数学问题的重要原因(祝孝亮, 赵鑫, 2023)。与之相似,小学高年级儿童自动整合的完成,也受益于逐渐成熟的执行功能。因为整合过程需要中央执行系统协调注意力资源并抑制无关干扰;通过这种执行控制确保在编码主干事实二时,能够从长期记忆中高效检索、激活和提取主干事实一;同时,工作记忆作为临时存储平台还需短暂保存主干事实一和主干事实二;接下去,保持加工转换为联结两个配对事实整合成新的记忆表征;进一步,系统会筛选出符合目标的答案,输出整合结果完成自我生成,而自我生成则标志着整合成功完成;上述整个过程,执行系统都需要保持很强的冲突监控能力,既能同步维持整合事实的初步表征,又能实时检测这些表征与长期记忆的兼容性(Jia et al., 2025)。小学高年级阶段,儿童执行功能发展基本接近成人水平,脑结构趋于稳定(Bethlehem et al., 2022),正是执行功能发展所起到

的支持性作用,使得整合加工得以顺利完成。

就总体整合表现来看,以往研究发现7~10岁儿童整合生成新知识的正确率是23%(Bauer et al., 2016),18~24岁在校大学生的正确率是56%(Bauer & Jackson, 2015)。而在实验一中10~12岁儿童整合生成新知识的正确率是56%~58%左右,与7~10岁的儿童相比,10~12岁儿童的知识整合能力有了显著提高并近似于成人水平。知识整合能力的提升,可能是因为小学高年级儿童在课堂上获取的语义知识越来越多,学习内容也逐渐深入,这为知识整合提供了更多机会(Esposito & Bauer, 2017)。随着学习深入,除了前述的工作记忆容量、执行功能等方面的提升外,他们的阅读理解、推理等能力也有所发展(Bunge & Leib, 2020; Ritchie & Tucker-Drob, 2018; Wang et al., 2016)。因此,在知识经验变化和发展的相互作用下,知识整合表现也随年龄不断提升。其次,知识整合加工环节的差异也影响了他们在整合上的总体表现,小学高年级儿童(10~12岁)在重新激活后能够自动整合生成一个整合事实,减少了整合问题出现时的资源损耗,因此,整合表现较好;而7~9岁儿童在编码时则只能对两个主干分别表征(Miller-Goldwater et al., 2021),没有提示不能自动整合,因此知识整合表现较差(Bauer, Cronin-Golomb et al., 2020)。这一发现,对于未来知识整合的干预提供了方向。

研究将知识整合的探究范围扩展到了10~12岁的小学高年级儿童,填补了这一年龄范围的空白;对重新激活和自动整合的探讨,有助于进一步完善ERISS模型;也为“在旧知识基础上引入新知识”、“温故而知新”等论断从知识整合视角提供了新的支持;同时启示教育工作者,在教材编写和教学实施过程中,不仅要传递知识,更要注重知识间的联系,建构知识网络,促进学生知识的整合和新知识生成,实现融会贯通、举一反三。不过,研究也存在一些不足之处。首先,研究仅采用横向研究范式进行了有控制的实验验证,未来可通过纵向追踪实验进一步确认儿童过渡到自动整合的具体年龄和具体边界条件,同时针对已经实现自动整合的儿童,追踪其自动整合水平如何变化。其次,研究主要关注了小学高年级儿童(10~12岁),实际上,中学阶段(12~18岁)由于学习科目和学习内容的激增,对知识整合要求会更高,他们在整合上是什么表现,有待于进一

步考察。第三,实验仅探讨了儿童在两主干事实下的知识整合表现,在更为复杂、也更生态的多主干事实下不同年龄的个体重新激活表现又如何,还有待探究。

## 6 结论

(1)在成功整合的情况下,儿童对主干事实二的加工时间显著长于主干事实,对主干事实二更长的加工时间与主干事实的内容无关,而是因为主干事实的顺序影响。(2)主干事实二的加工时间与整合事实的正确率和两个主干事实的正确率均呈显著正相关。(3)儿童对主干事实二付出更长的加工时间中包含了在编码主干事实二的同时重新激活主干事实一的过程。(4)小学高年级儿童(10~12岁)已能成功整合,且整合是自动发生的。

## 参考文献

- 马红霞,高志华,陈宣宇,鲁忠义.(2021).否定情绪词的具身动态模拟过程.心理科学,44,1035-1041.
- 孙梅杰.(2025).小学儿童执行功能与亲社会谎言的关系:代价的调节作用(硕士学位论文).广西师范大学,桂林.
- 王穗苹,佟秀红,杨锦绵,冷英.(2009).中文句子阅读中语义信息对眼动预视效应的影响.心理学报,41,220-232.
- 赵笑梅,程释,刘子涵,刘红.(2025).不同语言条件和执行功能对大学生记忆整合的影响.心理发展与教育,41(2),153-162.
- 朱翠银.(2018).儿童汉字工作记忆的发展(硕士学位论文).浙江师范大学,金华.
- 祝孝亮,赵鑫.(2023).执行功能在不同年级儿童数学能力中的作用.心理学报,55(5),696-710.
- 朱智贤.(2009).儿童心理学(第五版).北京:人民教育出版社.
- Bauer, P. J., Blue, S. N., Xu, A., & Esposito, A. G. (2016). Productive extension of semantic memory in school-aged children: Relations with reading comprehension and deployment of cognitive resources. *Developmental Psychology*, 52(7), 1024-1037.
- Bauer, P. J., Cronin-Golomb, L. M., Porter, B. M., Jaganjac, A., & Miller, H. E. (2020). Integration of memory content in adults and children: Developmental differences in task conditions and functional consequences. *Journal of Experimental Psychology: General*, 150(7), 1259-1278.
- Bauer, P. J., Esposito, A. G., & Daly, J. J. (2020). Self-derivation through memory integration: A model for accumulation of semantic knowledge. *Learning & Instruction*, 66, 101271.
- Bauer, P. J., & Jackson, F. L. (2015). Semantic elaboration:

- ERPs reveal rapid transition from novel to known. *Journal of Experimental Psychology: Learning Memory and Cognition*, 41(1), 271 – 282.
- Bauer, P. J. , King, J. E. , Larkina, M. , Varga, N. L. , & White, E. A. (2012). characters and clues; Factors affecting children's extension of knowledge through integration of separate episodes. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111(4), 681 – 694.
- Bauer, P. J. , & Larkina, M. (2017). Realizing Relevance: The Influence of Domain – Specific Information on Generation of New Knowledge Through Integration in 4 – to 8 – Year – Old Children. *Child Development*, 88(1), 247 – 262.
- Bauer, P. J. , & Souci, P. S. (2010). Going beyond the facts: Young children extend knowledge by integrating episodes. *Journal of Experimental Child Psychology*, 107(4), 452 – 465.
- Bauer, P. J. , & Varga, N. L. (2017). Similarity and deviation in event segmentation and memory integration: Commentary on Richmond, Gold, & Zacks. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 6(2), 124 – 128.
- Bauer, P. J. , Varga, N. L. , King, J. E. , Nolen, A. M. , & White, E. A. (2015). Semantic elaboration through integration: Hints both facilitate and inform the process. *Journal of Cognition and Development*, 16(2), 351 – 369.
- Bethlehem, R. A. , Seidlitz, J. , White, S. R. , Vogel, J. W. , Anderson, K. M. , Adamson, C. , & Areces – Gonzalez, A. (2022). Brain charts for the human lifespan. *Nature*, 604(7906), 525 – 533.
- Bunge, S. A. , & Leib, E. R. (2020). How does education hone reasoning Ability? *Current Directions in Psychological Science*, 29(2), 167 – 173.
- Chen, & Hsuan – Chih. (1992). Reading comprehension in chinese: Implications from character reading times. *Advances in Psychology*, 90, 175 – 205.
- Cornoldi, C. , & Oakhill, J. (1996). *Reading comprehension difficulties; Processes and intervention*. Handbook of Children's Literacy.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135 – 168.
- Esposito, A. G. , & Bauer, P. J. (2017). Going beyond the lesson: Self – generating new factual knowledge in the classroom. *Journal of Experimental Child Psychology*, 153(2), 110 – 125.
- Esposito, A. G. , & Bauer, P. J. (2019). Self – derivation through memory integration under low surface similarity conditions: The case of multiple languages. *Journal of Experimental Child Psychology*, 187, 104661.
- Esposito, A. G. , Lee, K. , Dugan, J. A. , Lauer, J. E. , & Bauer, P. J. (2021). Relating a picture and 1000 words: Self – derivation through integration within and across presentation formats. *Cognitive Development*, 60, 101099.
- Hannon, B. , & Daneman, M. (2014). Revisiting the construct of “relational integration” and its role in accounting for general intelligence: The importance of knowledge integration. *Intelligence*, 47, 175 – 187.
- Jia, W. , Jin, W. , & Zhao, X. (2025). The impact of working memory on the processing of knowledge integration in university students. *Cognitive Development*, 76(10 – 12), 101647.
- Magalhães, S. , Carneiro, L. , Limpo, T. , & Filipe, M. (2020). Executive functions predict literacy and mathematics achievements: The unique contribution of cognitive flexibility in grades 2, 4, and 6. *Child Neuropsychology*, 26(7), 934 – 952.
- Mayo, R. , Schul, Y. , & Burnstein, E. (2004). “I am not guilty” vs “I am innocent”: Successful negation may depend on the schema used for its encoding. *Journal of Experimental Social Psychology*, 40(4), 433 – 449.
- Miller – Goldwater, H. E. , Cronin – Golomb, L. M. , Porter, B. M. , & Bauer, P. J. (2021). Developmental differences in reactivation underlying self – derivation of new knowledge through memory integration. *Cognitive Psychology*, 129, 101413.
- Preston, R. A. , & Eichenbaum, H. (2013). Interplay of hippocampus and prefrontal cortex in memory. *Current Biology*, 23(17), R764 – R773.
- Ritchie, S. J. , & Tucker – Drob, E. M. (2018). How much does education improve intelligence? A meta – analysis. *Psychological Science*, 29(8), 1358 – 1369.
- Salatas, H. , & Flavell, J. H. (1976). Behavioral and metamnemonic Indicators of strategic behaviors under remember instructions in first grade. *Child Development*, 47(1), 81 – 89.
- Shing, Y. L. , Finke, C. , Hoffmann, M. , Pajkert, A. , Heekeren, H. R. , & Ploner, C. J. (2019). Integrating across memory episodes: Developmental trends. *PLoS One*, 14(4), e0215848.
- Siegler, R. S. (1989). Mechanisms of cognitive development. *Annual Review of Psychology*, 40(1), 353.
- Varga, N. L. , & Bauer, P. J. (2013). Effects of delays on 6 – year – old children's self – generation and retention of knowledge through integration. *Journal of Experimental Child Psychology*, 115(2), 326 – 341.
- Varga, N. L. , & Bauer, P. J. (2017). Young adults self – derive and retain new factual knowledge through memory integration. *Memory & Cognition*, 45(6), 1014 – 1027.
- Varga, N. L. , Esposito, A. G. , & Bauer, P. J. (2019). Cognitive correlates of memory integration across development: Explai-

- ning variability in an educationally relevant phenomenon. *Journal of Experimental Psychology General*, 148(4), 739 – 762.
- Varga, N. L., Stewart, R. A., & Bauer, P. J. (2016). Integrating across episodes: Investigating the long – term accessibility of self – derived knowledge in 4 – year – old children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 145, 48 – 63.
- Wang, T., Ren, X., Schweizer, K., & Xu, F. (2016). Schooling effects on intelligence development: Evidence based on national samples from urban and rural China. *Educational Psychology*, 36(5), 831 – 844.
- Wang, S., Zhu, Z., Zhang, J. X., Wang, Z., Xiao, Z., Xiang, H., & Chen, H. – C. (2008). Broca's area plays a role in syntactic processing during Chinese reading comprehension. *Neuropsychologia*, 46(5), 1371 – 1378.
- Wilson, J. T., & Bauer, P. J. (2021). Prompt – facilitated learning: The development of unprompted memory integration and subsequent self – derivation. *Memory & Cognition*, 49(7), 1473 – 1487.
- Zelazo, P. D. (2020). Executive function and psychopathology: A neurodevelopmental perspective. *Annual Review of Clinical Psychology*, 16, 431 – 454.

## The Processing of Knowledge Integration: Evidence from Senior Primary School Children

Zhao Xiaomei<sup>1</sup>, Liu Zihan<sup>2</sup>, Fan Yuran<sup>3</sup>

(1. College of Education, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050024;

2. School of Law and Politics, Hebei North University, Zhangjiakou 075000; 3. Tangshan Normal University, Tangshan 063009)

**Abstract:** To explore the processing mechanism of knowledge integration and the nature of encode, reactivate and integrate, this research takes senior primary school children (10 ~ 12 years) as subjects in three experiments. The major results are as follows: (1) Children's processing time of stem fact 2 is significantly longer than that of stem fact 1. The longer processing time of stem fact 2 is not related to the content of stem fact, but affected by the location of stem fact. (2) Children's longer processing time for stem fact 2 includes the process of reactivating stem fact 1 while encoding stem fact 2. (3) Children in senior primary school (10 ~ 12 years) have been successfully integrated, and the integration occurs automatically. These results provide empirical evidence for ERISS model that knowledge integration contains the process of encoding, reactivation and integration. And senior primary school children are in the transition period for the development of automatic integration.

**Key words:** knowledge integration; semantic memory; senior primary school children