

学习科学视野下的数学教育游戏设计、 开发与应用研究 *

——以小学一年级数学“20以内数的认识和加减法”为例

裴蕾丝^{1,2}, 尚俊杰¹

(1.北京大学 教育学院 学习科学实验室, 北京 100871; 2.北京教育科学研究院 基础教育科学研究所, 北京 100101)

摘要: 该文以小学一年级“20以内数的认识和加减法”为例, 从教育游戏的教育性和游戏性出发, 在充分调研了国家数学课程标准、数学认知和游戏设计的相关研究后, 设计并开发了一款可以在移动终端运行的电子游戏《怪兽消消》。此外, 该文还通过准实验研究和半结构访谈对游戏的实际效果进行了评估。结果发现, 就本次研究来说, 虽然玩游戏与传统做试卷的效果差别不大, 但是结合观察和访谈, 该文游戏的游戏性和教育性得到了学生的认可。

关键词: 学习科学; 教育神经科学; 教育游戏; 游戏设计; 数学学习

中图分类号: G434 文献标识码: A

一、引言

当前市场上关于“20以内数的认识和加减法”的练习存在着诸多问题。首先, 教辅市场乱象由来已久^[1], 真正能与课堂教学有效衔接的练习十分匮乏^[2]。教辅资源的乱用, 不仅会加重学生的学习负担, 更可怕的是, 大量不科学的练习可能会阻碍学生数学能力的真正养成, 让学生采用错误的方法学习数学, 长此以往, 即便学生个个都能成为应试高手, 但从学生的长远发展来看, 却是有百害而无一利的。其次, 小学一年级是培养学生数学学习兴趣的重要时期, 重复枯燥的计算练习不仅可能会使学生降低数学学习的热情, 同时也为教师和家长增加了更多额外的工作负担。此外, 在学生中间还存在人数不少的有数学学习困难的学生(各国的发生率有所不同, 大致在3%—30%^[3]之间, 我国大概在3%—6%^[4]), 这类学生在低年级时表现尚不明显, 但随着年级的升高和知识难度的增加, 他们与正常学生的差距会逐渐显现, 此时再进行特殊干预已经为时已晚。而当前的教辅练习, 主要针对的还是正常的学生, 很少把这数量巨大、有特殊数学学习需

求的学生考虑在内, 这为高年级时学生出现两极化埋下了隐患。

然而与“枯燥”的数学学习形成鲜明对比的是, 当前市场上日益火爆的游戏化学习(或教育游戏)。随着信息技术的快速发展, 这一以“寓教于乐”为核心理念的新兴教学形式, 逐渐受到了社会各界的广泛关注。为了迎合学生的学习需求, 市场上关于“20以内数的认识和加减法”的教育游戏有很多, 但大多质量不佳, 主要不足体现在以下三个方面: 其一, 游戏在学习方法上, 并不符合大脑数学学习的认知规律, 这类游戏通常以重复性练习为特点; 其二, 游戏在学习内容上, 与当前的国家数学课程标准并不完全匹配, 主要强调是计算的正确率和速度, 忽视了学生对计算本身意义的理解; 其三, 游戏的玩法较为单一, 与其他类型的游戏相差甚远, 导致学生无法长期对此类游戏保持兴趣。鉴于此, 本文以小学一年级数学中的“20以内数的认识和加减法”为例, 通过将理论构建、设计与开发、实践应用结合在一起的方式, 探索如何基于数学学习中的学习科学来设计开发一款符合当前国家

* 本文系国家社科基金“十三五”规划2017年度教育学一般课题“基于学习科学视角的游戏化学习研究”(项目编号: BCA170072)阶段性研究成果。

① 尚俊杰为本文通讯作者。

数学课程标准的数学教育游戏，并对其实际效果进行了评估。

二、理论基础

教育游戏是兼具教育性和游戏性的一类特殊游戏，在设计过程中，既要分别考虑两种特性，还要做好两者间的融合与平衡。就目前而言，市场上绝大部分教育游戏往往都只能做好其中一个方面，很难在同一产品中实现对两者的兼顾，这就导致了所谓的教育游戏既无法像教辅资料一样有效提升学生在测试中的表现，也无法像商业游戏一样让学生在游戏中持续获得学习的快乐，从而产生了教育游戏设计中的“平衡困局”^[5]。为了解决这一问题，本文将先从教育游戏的教育性出发，基于国家数学课程标准的要求，分析小学一年级数学“20以内数的认识和加减法”所涉及的教学目标，再从学习科学“人是如何学习数学”的角度，探讨大脑进行数学学习的加工机制；之后，再从游戏性出发，立足于游戏的“内在动机理论”，总结提炼出教育游戏设计所需注意的因素，为之后教育游戏的有效设计奠定理论基础。

(一)教育性

1.国家数学课程标准的要求

按照《义务教育数学课程标准(2011年版)》对第一学段(1-3年级)“数与代数”部分的具体要求，国家在“20以内数的认识和加减法”的要求上由“数的认识”和“数的运算”两部分构成。在“数的认识”上，小学低年级是数感的关键发展期，建立良好的数感“有助于学生理解现实生活中数的意义，理解或表达具体情境中的数量关系”^[6]。对小学生而言，数感培养的教育过程一般要经历“感知多与少→用数表示多与少→建立数之间的关联→对数进行运算→形成数系概念”这几个阶段^[7]。

“20以内数的认识”在学生的数感培养上，主要体现在以下两个方面：其一，熟练掌握20以内数与数量的对应关系。由于小学生在第一学段期间，思维发展还处于具体运算阶段，以形象思维为主，需要将抽象的感觉以具体化的形式展现出来^[8]。其二，引导学生理解数位、计数单位和计数法^[9]。理解单位“一”和单位“十”是学生学习“十进制计数法”的起点，也是理解“进位加法”和“退位减法”关键。

在“数的运算”上，“20以内数的加减法”在学生的运算能力培养上，主要体现在以下三个方面：其一，在理解算理的基础上学习算法。算理是展开运算的理论依据，算法是算理的具体化，应该

让学生在充分理解算理的基础上掌握相应的算法。其二，重视并加强口算练习。口算是笔算和估算的基础，在日常生活中有着广泛应用，对于小学生运算能力的提高很重要。根据《标准(2011年版)》要求，“20以内数的加减法”口算，学生应达到8-10题/分。在实际教学中，视算和听算是口算的两种主要训练方法，前者为“看算式报得数”，后者为“听算式报得数”，口算形式的灵活多样化，有助于学生产生兴趣，从而增强训练效果^[10]。其三，重视算法多样化的相互交流。引导学生对不同算法进行交流，强化学生对算法背后算理的理解。

2.数学学习的脑机制与模型

从1922年行为主义者桑代克发表《算术心理学》开始，到现在Butterworth、Dehaene等认知科学家借助先进的脑成像技术和设备研究其脑机制，期间大量研究成果的积累，对人类认识数学学习本质、改进数学教育实践有着重要意义^[11]。研究发现，人类的数学认知至少包含了两个子系统：一个是建立在进化基础上的概略表征系统，另一个是建立在长期学习经验基础上的精确表征系统。前者主要与数字的语义表征有关，主要由先天基因决定，在个体发展过程中，很少受到年龄的影响；而后者则不同，精确表征系统与数字的音、形等符号特征有关，随着人受教育时间的增加，会呈现显著变化。这一发现证明了，后天教育对人数学认知能力发展所起的作用是非常关键的，无论是非正式的数学学习经验还是发生在学校中的正式的数学学习经验，都会影响学生数学能力的形成^[12]。

概略表征系统主要建立在大脑的顶叶(Parietal Lobe)区域，尤其是顶内沟(Intra-parietal Sulcus，简称IPS)，是人类产生数感、进行符号(阿拉伯数字、言语数词)或非符号(如点阵、实物集合)数量比较、完成计算等数学任务的核心区域^[13-15]。这种先天的非言语符号的数量认知能力使人具备了粗略的数字表征能力，可以在多种有意义的社会情境下帮助人类完成初步的与数量相关的任务，但其糟糕的准确性使得一些需要大数量参与的精确计算变得非常困难。因此，就出现了借助言语(口语数词)和符号(阿拉伯数字)系统来扩展人类数量认知和操作范围的方法，需要通过后天教育来完成。因此，在正式的数学学习中，尤其是在最开始的数感和运算学习过程中，最重要的就是让学生能够在原始数量感、数量的言语表征和符号表征系统这三者之间建立相互的连接。

由Stanislas Dehaene教授提出的三重编码模型(Triple-code Model，简称TCM)^[16]解决的就是原始数

量感、数量的言语表征和符号表征系统这三者之间的连接问题，随着现代研究技术的不断发展，该模型已经被学界广泛接受。三重编码模型认为，大脑在完成数量加工任务时，会涉及三种不同的编码来表征数量，分别是模拟数量编码(Quantity System，数量的非言语符号编码，用以表征数量之间的大小和距离)、听觉言语编码(Verbal System，数量的言语编码，用数量词汇的发音和语义来表征数量，如中文里的“一、二、三”和英文里的

“One、Two、Three”等)和视觉阿拉伯数字编码(Visual System，数量的数字符号编码，将数量按规则表征为一系列阿拉伯数字串)。此外，这三种编码并非独立存在的，而是相互关联的。研究者通过对计算障碍儿童展开大量研究后发现，人们出现数量加工障碍的原因主要有两个：数字模块缺陷(The Defective Number Module Hypothesis)和数量通达缺陷(The Access Deficit Hypothesis)。其中，数字模块缺陷是指先天用来识别和加工基本数量的能力发展异常，导致理解数字概念和问题产生困难^[17]，也就是由双侧顶内沟先天发育缺陷而造成的模拟数量编码出现问题；数量通达缺陷则是在数字符号与数量转化的过程中出现通达问题，即听觉言语编码和视觉阿拉伯数字编码在转化为模拟数量编码时出现问题^[18]。因此，不仅需要让学生熟练学习掌握每一种数量表征编码，而且还要让他们能够流畅地在不同编码之间相互转换，这样才能确保学生真正理解和掌握数量及其运算的真实意义。

(二)游戏性

Malone在游戏的“内在动机理论”中将人的动机分为了外在动机(Extrinsic Motivations)和内在动机(Intrinsic Motivation)。其中，外在动机主要来自某种外在的奖励，通常与参与的活动本身无关，因此外在动机对于促进学习作用不大，有些研究者甚至认为外在动机阻碍学习。相反，内在动机则有利于有效学习的产生，这是因为内在动机往往就源自对学习活动的喜爱。Malone通过一系列实证研究找出了如何让教育游戏更有趣的一些游戏设计原则，他发现一款好的教育游戏或者能够激发人内在动机的活动一般具有以下三个特征：挑战(Challenge)、幻想(Fantasy)和好奇(Curiosity)，并对这三个特征提出了相应的游戏设计方法^[19]。之后，他又在此基础上完善了该理论，提出了更加完整的内在动机理论。

1.挑战

为了使游戏更具挑战性，可以采用目标(Goal)、不确定结果(Uncertain Outcome)和自尊(Self-Esteem)三种方法。首先，好的游戏目标应该满足

以下4个标准：(1)简单的游戏应该有清晰明确的目标，比如使用一些视觉效果；(2)复杂的游戏应该采用结构化的组织，让玩家能够清楚知道不同的难度；(3)最佳的目标通常是实际的或想象的，比如坐上火箭登月，而不是简单的使用一项技能，比如解出一道计算题；(4)玩家应该在游戏中能清楚地知道自己是否接近了目标。其次，如果游戏的结果是确定的，那么通常玩起来就没有乐趣，使用不确定的结果可以提高游戏的趣味性：(1)设置不同的难度等级；(2)丰富的等级目标；(3)隐藏部分游戏信息；(4)随机性。第三，目标和不确定结果之所以能让游戏充满挑战性，其根本原因在于它们让玩家感受到了自尊：在游戏中获得成功，可以让玩家自信起来；然而，如果游戏过难，则会让玩家失去游戏的兴趣，因此游戏需要设定不同难度来匹配玩家不同的能力水平，使他们不会在游戏中失去自信。

2.幻想

游戏中会常常出现现实生活中不存在的场景和事物，这往往会增添游戏的趣味性。然而，并非所有的幻想元素都能激发玩家的内在动机的。比如，传统课堂通过添加游戏化的幻想元素来完成所谓的“目标”，而整个游戏的过程却取决于学生答案的对错，这种幻想被称为“外在的幻想”(Extrinsic Fantasy)，即幻想的达成只取决于技能使用结果的正确与否，而技能使用的过程，却并不能影响或改变游戏中的幻想。与之相对应的是“内在的幻想”(Intrinsic Fantasy)，它实现了两方面的相互依赖，即幻想依赖于技能使用的结果，而技能使用的过程也依赖于幻想(如，当玩家在射击类游戏中射得太高，游戏会出现“射得太高”的提示，而玩家可以根据这一提示幻想，重新制定下一次发射的高度)。

3.好奇

好奇是人学习的动力，游戏之所以能让人产生好奇，就是因为能提供不多不少、恰到好处的信息数量和复杂度。根据“内在动机理论”，好奇也可再分为两种，即感知上的好奇(Sensory Curiosity)和认知上的好奇(Cognitive Curiosity)。感知上的好奇，是指一些环境刺激对人知觉产生的影响，如声音和图像的变化，这些刺激可以影响人的注意力。电子游戏中丰富多彩的声音和图像效果，就能给玩家带来这种好奇，具体在游戏设计中，可以将声音和图像作为背景装饰、用来提高幻想表现力、变为达成游戏目标的奖励，还可以成为有效传递游戏信息的表征方式。而认知上的好奇，指的是人想要建构

一个更完整(Completeness)、更稳定(Consistency)和更简约(Parsimony)的知识结构。这就需要在教育游戏的反馈设计中考虑以下两点：一是，反馈信息要令人惊奇，简单的方法是使用随机原则，更有效的方式是基于稳定的知识结构生成反馈，使其一开始看起来令人惊奇，但随着知识结构不断完整，玩家就能明白其中的道理；二是，让反馈信息具有教育性，即反馈信息不仅告诉玩家，他们的知识结构存在问题，而且还提供额外的信息，帮助玩家解决他们知识结构上的问题。

三、设计研究

基于前面的理论基础，本文为小学一年级学生学习“20以内数的认识和加减法”设计开发了这款名为《怪兽消消》的游戏。该游戏在设计之初，就从教育性和游戏性这两个方面进行整体考虑。首先，笔者从国家数学课程标准的要求出发，找出学生在“数概念建立”和“数的运算”学习过程中的关键点，并结合“人教版”和“北师大版”数学教科书在相关章节的内容设计，对学习序列和相关的习题设计进行了系统梳理^[20]，依此确定了游戏关卡的数量和顺序；接着，笔者从数学学习的脑机制和模型入手，基于三重编码理论对于人学习非符号和符号数量及运算的加工过程解读，设计了游戏的核心玩法和机制；最后，笔者再根据游戏的“内在动机理论”，对游戏的叙事、奖励规则等游戏性元素进行了设计，从而在整体上确保同一个游戏中教育性和游戏性元素的平衡，使所设计的教育游戏尽可能达到科学、快乐和有效的终极目标。下面将先对游戏的整体设计进行简单介绍，然后再分别对游戏的教育性和游戏性设计进行详细阐释。

(一)整体设计

1.游戏叙事

《怪兽消消》共包含四个不同主题的篇章，每个篇章设置了10个不同难度的关卡。在游戏中，玩家需要扮演小世界中的一个英雄，肩负起拯救小世界的重任，用智慧和勇气消灭小怪兽。游戏的核心任务是消灭小怪兽。游戏中的小怪兽共有三种类型(如图1所示)：(1)长度小怪兽由10个长度、颜色、模样都不相同的小怪兽组成，分别与数量1至10对应。另外，还有1个将长度隐藏起来的长度小怪兽，它是透明的，边沿由虚线标注，对应的是数量0。每个长度小怪兽都有不同的性格，会发出不同的声音，而这些都将等着玩家去探索。(2)数字小怪兽由19个肚子上写着0至18的小怪兽组成，这一类小怪兽除了肚子上标注的数字，其他模样都相

同——全身为浅紫色，头顶长着一对眼睛，肚子上的数字对应的就是它们代表的数量。(3)声音小怪兽和数字小怪兽的设计理念相同，由19个外在形象完全一样的小怪兽组成，它们的模样都是红色的嘴巴，点击一下，就会说出不同的数字，而所说的这些数字对应的就是它们所代表的数量。

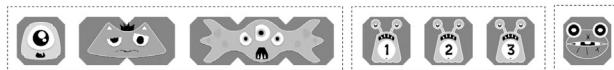


图1 长度小怪兽(左)、数字小怪兽(中)和声音小怪兽(右)示例

玩家要想在游戏中消灭小怪兽则需要组合出表示相同数量的魔法方块。游戏中的魔法方块也有三种类型(如图2所示)，分别是绿色的长度魔法方块、橘色的数字魔法方块和紫色的声音魔法方块。与小怪兽的类型相似的是，长度魔法方块用方块的个数来表示数量，数字魔法方块用数字表示数量，而声音魔法方块则用语音播放的数字声音表示数量大小。不同的地方在于，每一种类型的魔法方块下又包含两类，一类是中间为彩色、边缘为白色的正常魔法方块，另一类是中间为白色、边缘为彩色的反常魔法方块。这些魔法方块之间可以相互组合，而区别在于，正常的魔法方块之间相互组合，可以让魔法方块变长或数字变大(模拟加法的过程)，而正常的魔法方块和反常的魔法方块组合在一起时，反常魔法方块会让正常魔法方块变短或数字变小(模拟减法的过程)。无论是正常还是反常魔法方块，如果组合正确时，系统会响起正确提示音，而组合错误时，则会响起错误警报音(比如，将两块反常魔法方块组合在一起，或在组合时将反常魔法方块放在正常魔法方块的前面)。

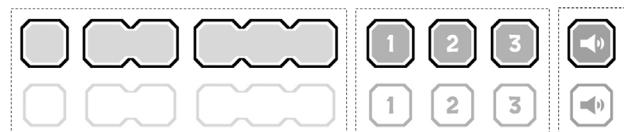


图2 长度魔法方块(左)、数字魔法方块(中)和声音魔法方块(右)示例

为了增加游戏挑战性和趣味性，让玩家持续游戏行为的道具。游戏中设计了三种趣味道具，分别是：普通钻石、冰冻钻石和小太阳。每当玩家作为英雄消灭了一行小怪兽，并且该行中有普通钻石时，玩家就可以帮小世界的动物们找回被小怪兽偷走的一颗钻石；然而，如果该行中是冰冻钻石时，玩家只有在小太阳经过该行的前提下消灭小怪兽，冰冻钻石才能因为阳光的照射，而被英雄获得。

2.玩法逻辑

《怪兽消消》这款游戏的核心玩法十分简单，非常容易上手。游戏中(如下页图3所示)，玩家可

以看到各种长度或带有数字的小怪兽，为了消灭这些小怪兽，作为英雄的玩家：首先，需要选定一个小怪兽，确定它代表的数量是多少；接着，需要操作游戏随机产生的魔法方块若干($1 \leq \text{魔法方块个数} \leq 3$)，将其组合成与小怪兽代表数量相等的魔法方块；最后，将新组合的魔法方块拖动到目标小怪兽身上，就可以消灭一个小怪兽了。以上是玩家消灭一个小怪兽的操作逻辑，然而每个小怪兽并不是孤立地出现在游戏中的，若干(大于等于1)个小怪兽会和趣味道具、基本道具构成一行，这个“行”被称为“怪兽行”。当怪兽行上所有的怪兽都被消灭时，这一行就会被消除，当本关卡中所有的怪兽行(每关的行数并不固定)都被消除时，玩家就取得了本关卡的胜利，这时游戏会根据玩家在本关卡中消灭小怪兽的操作表现，进行自动星级评判，最高为三颗星，最低为零颗星，同时也会呈现本关卡最终得分。



图3 关卡4游戏界面

需要说明的是，每关游戏中需要消除的怪兽行数和每一行中小怪兽的数量都不是固定的一——在前面的简单关卡里，待消除的行数以及每一行的小怪兽数量会较少，随着关卡变难，待消除行数以及每一行的小怪兽数量会随之增加。

(二)教育性设计

在教育性设计上，游戏主要参照了国家课程标准和两版小学数学教科书中的学习序列和习题设计，对不同学习内容的游戏关卡进行了分类排序，并对每个关卡中不同习题的练习频率进行了合理的控制。

1.学习序列

在学习序列上，笔者主要参考了人教版和北师大版教科书在“20以内数的认识”上的学习内容安排。人教版教科书按照“认数和计算相结合”的编排原则，将“数的认识”和“数的运算”穿插起来学习，使得学生在逐步扩大识数范围的同时，也学习了相关的基本计算，编委会认为这样更有利学生对数的理解和对计算的掌握^[21]。而北师大版教科书并没有将两者穿插起来，而是集中精力学习完一个阶段的认数后，再学习与这些数相关的加减计算。由于本游戏的定位是复习课以及学生课下的巩固练习，北师大版这种整块划分的形式会显得更加紧凑，而且会降低游戏开发的逻辑复杂度，因此笔者采用了北师大版的内容划分模式，并将其进一步合并，突出重难点(删减“10加几和相应减法”，增加“20以内进位加法”和“20以内退位减法”)，最终形成如图4所示的四个难度层次，分别是5以内、10以内、20以内和综合练习(如图4中用不同灰度的背景标示)。在每个难度层次里，再按照难易度，划分为4个模块(与游戏的四个篇章对应)，分别是数的认识、加法、减法和加减混合，共计13个基本学习任务(不计综合训练部分)^①。

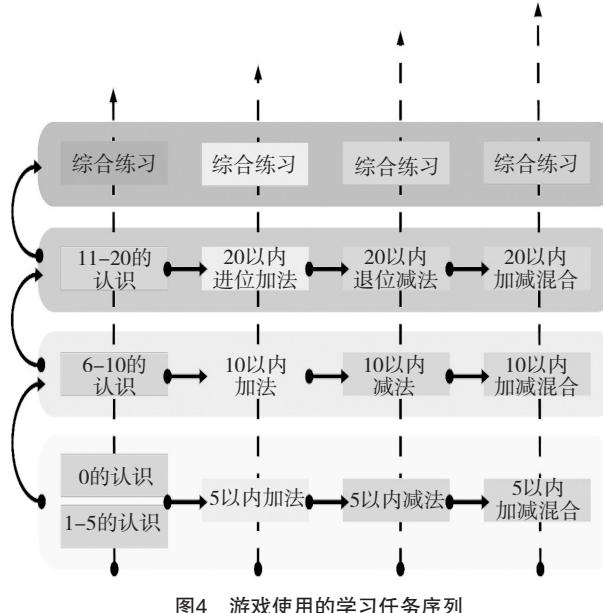


图4 游戏使用的学习任务序列

2.练习频率

对于一般游戏而言，数值设计的优劣将直接影响

① 三点说明：被删减的“10加几和相应减法”会在“20以内加减混合”中出现；由于0的特殊性，在教学中是个重点理解的数，因此专门单列作为一个学习任务；综合练习是前三个难度层次的混合练习，不属于基本学习任务。

响游戏的趣味性和难度，对于教育游戏而言，数值设计的合理性将直接影响其教学目标是否能够在游戏中被达成。具体到计算类数学游戏，目前很多游戏在设计练习题目时，并没有进行充分地调研。比如，哪些算式学生容易出错、哪些算式应该多加练习、每个算式大致应该练习多少次才能让学生习得等等。考虑到这一点，笔者以国内两版权威的教科书为依据，借鉴其在“20以内加减法”习题设计上的思路和经验，从而更合理地设计每个游戏关卡中不同算式的练习频率。

笔者首先按照5以内加法、10以内加法、20以内进位加法、20以内不进位加法、5以内减法、10以内减法、20以内退位减法和20以内不退位减法8个类别，统计了两版教科书中的相关习题数量，结果发现：“20以内加减法”学习的重难点在于10以内加减法和20以内进位加法和退位减法这4类题，5以内加减法作为基础，也需要扎实的练习。接着，笔者对出题量最多的这6种习题做了进一步的分析，发现具体到每一个算式，其出现的数量也有不同，比如同样得数为5的5以内加法算式有 $0+5$ 、 $1+4$ 、 $2+3$ 、 $3+2$ 、 $4+1$ 和 $5+0$ 共计6种(不考虑加法交换律)，这6种在两版教科书中出现的总次数分别是2次、7次、11次、14次、7次和2次，其中， $2+3$ 、 $3+2$ 这两种出题方式要明显多于其他4种。这说明，不同的算式，其需要的练习次数是不一样的，应该在游戏的数值设计中考虑到这一问题。本游戏中，玩家需要组合代表不同数量的魔法方块，使之与目标小怪兽代表的数量之间实现匹配，因此，想要让玩家在组合魔法方块的过程中，更合理地练习那些重难点算式，减少简单算式的练习，因此笔者对两版教材中得到某一得数的不同算式出现概率进行了统计^①，游戏中魔法方块的生成便以此概率结果产生。

3.练习方式

此外，根据数学认知中的“三重编码模型”，数量和数量关系(这里主要是加减法)的学习，不仅要考虑到数量在人脑中的三种编码形式，还要熟悉三种数量编码形式之间的相互转换。因此，本文在已有学习序列的基础上，加入了9种数量编码转换的练习，分布在四个难度层次之中。相比于“视觉数字编码”和“听觉言语编码”，“模拟数量编

码”更加直观和形象，对于培养小学生的数感更为本质和基础。因此，在难度层次一上安排了以“模拟数量编码”为主的练习；到了难度层次二，则主要围绕“视觉数字编码”展开练习；在难度层次三上，安排了以“听觉言语编码”与其他两种编码形式相互转换练习；到了难度层次四，引入“听觉言语编码”单一通道的练习。之所以将“听觉言语编码”安排在了“视觉数字编码”之后，还有一个考虑就是，“听觉言语编码”对小学生的工作记忆能力提出了“更高”的要求，相比直观的“模拟数量编码”以及可视的“视觉数字编码”，“听觉言语编码”会更难一些。这样一来，每个难度层次上引入的编码转换类型数量大致持平，而且不同编码转换的引入遵循了从简单到困难的原则，更符合小学生的学习规律。

(三)游戏性设计

根据Malone“游戏内在动机理论”对游戏设计提出的三个构成要素——挑战、幻想和好奇，本文对《怪兽消消》这款游戏的游戏机制进行了更为合理的设计，使之更加满足教育游戏对教育性和游戏性的要求。

1.挑战元素

挑战元素的加入可以让游戏更具挑战性。根据Malone的理论，游戏设计中可以使用目标、不确定结果和自尊这三种方法提高游戏的挑战性。在《怪兽消消》的设计中，这三种方法都有体现。(1)目标。《怪兽消消》是一个游戏目标十分明确的益智类游戏。首先，游戏的目标具有幻想性，玩家在游戏中扮演小世界里的英雄，通过操作魔法方块，来帮助动物们将小怪兽赶走，避免了直接以计算技能为游戏目标；其次，游戏目标清晰，在每一关中，玩家扮演的英雄需要将所有的怪兽行都正确消除，才能通关；第三，玩家无论是在组合魔法方块还是在消灭小怪兽时，其操作结果都会引发音效和视觉效果，提示玩家每一步操作的结果。(2)不确定结果。每一关游戏的过程和结果都充满了随机性，不同的操作会直接影响游戏最终的得分以及星级的评定结果。首先，每一关的目标设置很丰富：游戏中，玩家不仅要消除全部的怪兽行，还需要开动脑筋，获得更高的得分以及收集分布在怪兽行中的普通钻石和冰冻钻石。其次，玩家并不是每一次消除

^① 由于游戏中组合魔法方块模拟加法过程时，玩家并不需要考虑两个加数交换位置其意义的差异，所以本文在统计次数时，按照加法交换律，将加数交换的算式合并在一起进行统计。

怪兽行的得分都是同样多的，组合魔法方块的顺序、方式以及消灭小怪兽的类型不同，都会导致得分不同；第三，每一轮出现的魔法方块也具有一定的随机性。后两点都可以让游戏的结果不确定，从而增加游戏的挑战性。(3)自尊。为了使玩家在游戏中不断成长并逐渐获得学习上的自信，游戏在关卡难度设计上考虑了学生学习的“最近发展区”，使得每一关的挑战都尽可能符合心流理论中挑战—技能的平衡，使玩家可以在不断挑战更难关卡的过程中，收获学习知识和信心。

2.幻想元素

根据Malone的理论，对玩家更具吸引力和教育价值的游戏，不能只停留在“外在的幻想”——只注重技能的结果(就像目前市面上大部分计算类数学游戏，如果学生答对一道算式，屏幕就会出现

“答对了”或加分的反馈信息，反之，则出现“答错了”或扣分的反馈信息)，而应该构建“内在的幻想”——让游戏可以响应玩家的每一步操作(比如，当玩家给出的结果不正确时，游戏不仅反馈对错信息，还为玩家提供一些指导信息，使得玩家可以根据指导信息，进一步调整自己下一步操作)。

根据这一理念，《怪兽消消》在玩法设计上，也尽可能避免只提供“外在的幻想”，而是让玩家在游戏中，可以把技能和游戏幻想相互联系起来，从而形成“内在的幻想”。这一点在游戏中具体体现在以下两个方面：其一，技能对幻想的依赖。在本游戏中，玩家根据目标小怪兽，正确组合魔法方块，就可以将目标小怪兽消灭，并同时获得相应的分数，而当组合错误时，游戏也会呈现提示信息和音效，告诉玩家此次操作可能有错误。其二，幻想对技能的依赖。在本游戏中，玩家每一次组合魔法方块，都能实时获得组合后的魔法方块是什么——在这个过程中，玩家可以逐步验证自己每一步的操作是否跟预期是一致的，从而再考虑下一步决策。此外，当玩家组合的魔法方块无法消除当前显示的所有怪兽行上的小怪兽时，位于游戏界面下面部分的魔法方块就会全部破碎(伴随破碎的音效)，并重新生成新的待组合魔法方块，提示玩家之前组合魔法方块的策略是不正确的，需要再次调整或尝试新的组合方法。

3.好奇元素

好奇，是激励玩家持续进行游戏的动力源泉。根据Malone的理论，好的游戏设计，仅仅考虑感知上的好奇是远远不够的，还要精心地在认知上的好奇设计下功夫。

感知上的好奇，主要来自于游戏带给玩家的

直接感官刺激，比如明艳的图像、酷炫的动画、动听的背景音乐、难忘的提示音效等。《怪兽消消》游戏，虽然采用了较为艳丽的色彩搭配，但同时也注意使用素色以保持各色块之间实现干净过渡，使得重要的信息能够以鲜明的色彩得到突显，辅助的游戏元素能够尽量少地分散玩家的注意力。因此，整个游戏看上去，既充满了童真童趣，又不花里胡哨。在音乐的使用上，也尽可能选取活泼欢快但节奏感不是特别强烈的曲子，而且不同篇章的主题音乐不同，既激发了玩家感知上的好奇，又确保了音乐不会对玩家的思考产生过多的打扰。在旁白的录制上，通篇使用十分口语化的表达，确保5-7岁的儿童能够很容易地理解和接受，而且在音色上，游戏也特别选择了十分可爱的声音，从而让该年龄段的玩家更容易产生游戏的代入感。

认知上的好奇，是帮助玩家逐渐建构起一个完整知识结构的过程。在《怪兽消消》这款游戏里，这一设计理念并没有体现在Malone举例的游戏反馈设计上，而是体现在游戏的玩法上。首先，“20以内数的加减法”学习，并非仅是不同算式的重复练习，而是根据数学认知中的“三重编码理论”，帮助学习者强化不同编码之间的转换，尤其是“模拟数量编码”与另外两种编码之间的有意义转换。因此，游戏在四个难度层次中，分别有重点地练习了9种类型的数量编码转换，相比于现在市场上大部分单纯的计算类数学游戏来说，本游戏更能激发玩家在认知层面的好奇。在游戏的引导下，玩家逐渐熟练掌握不同数量编码之间的转换、不知不觉地提高计算的正确率和速度、更加科学有效地培养自己的“数感”，促进了从认知层面对“20以内数的认识和加减法”完整知识结构和有效知识提取策略的建构。其次，游戏在关卡引入新玩法(如，新类型的小怪兽或魔法方块)时，会有专门的旁白来帮助玩家学习新的规则，本文认为，这些都是从认知上的好奇来帮助玩家建构知识体系的信息呈现方式。

四、准实验研究

在完成游戏的设计和开发后，笔者对《怪兽消消》游戏的实际使用效果进行了评估——通过准实验研究和半结构访谈的形式，获取游戏测评效果的相关数据。此次测评的学生来自于北京某所公立小学一年级学生，由于测试实施时已处于一年级下学期，按照此时学校的教学进度，一年级学生已经学完了“20以内数的认识和加减法”，因此游戏效果评估可能会受到一定程度的影响。考虑到学生刚刚完成“20以内数的认识和加减法”的学习，期末考

试还会涉及该部分知识的复习和考察，因此，本文仍然按照原计划进行了准实验和半结构访谈研究，只是在游戏每一关的内容上做了些许的调整——减少了5以内和10以内加减法的内容，增加了20以内进位加法和退位减法的内容，从而使得游戏的整体难度与当前学生的水平相适应。

(一)研究对象

笔者在该小学一年级随机选择了两个班级的学生。其中，实验班共39人(女生19人，男生20人)，对照班共40人(女生21人，男生19人)。

(二)研究工具

笔者采用了“基于网络的多维度心理测验与实验系统”(www.dweipsy.com/lattice)^[22]中的简单数字计算(20以内减法)和简单加法计算的测试题目进行数据收集。如图5所示，测试题目会依次呈现在电脑屏幕的中央，学生被试需要既快又准地计算每个题目的结果。如果正确答案是屏幕左下方的数字，被试需要用左手的食指按一下“Q”键；相反，如果正确答案在屏幕的右下方，被试则需要用右手的食指按一下“P”键。需要说明的是，实验中的测验任务都包括“练习”和“正式测验”两部分，只有当被试“练习”部分的正确率达到80%后，才会进入“正式测验”，从而确保被试真正理解并掌握了测试的操作方法。

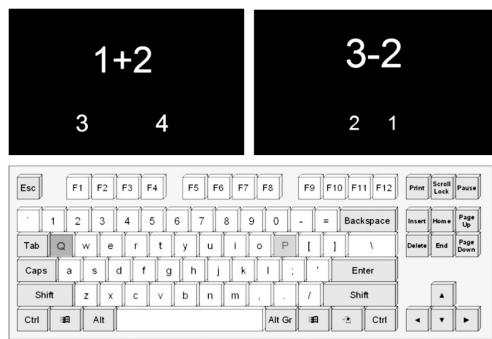


图5 测试题目呈现和作答样例

(三)研究过程

1.准实验研究

研究过程共分为三个阶段进行：第一阶段，实验班和对照班均进行前测，即在电脑上完成2个完全相同的心理测试；第二阶段，实验班和对照班的学生将接受不同类型的干预——实验班接受游戏干预，即学生每天到机房玩15分钟的《怪兽消消》游戏；对照班接受试卷干预，即学生则需要每天完成一套与游戏练习内容一致的练习试卷，共计4天；第三阶段，实验组和对照组均进行后测，与前测一样，由2个相同的心理测试构成。需要说明的是，

实验班学生每天在计算机教室完成玩游戏的任务，而对照班则在所在教室里完成练习试卷，除此之外，两班正常进行学校的其他教学活动。

对于实验班，学生需要使用自己独有的账号密码登录游戏后进行，学生的游戏进度会时时联网记录，因此，学生每天玩游戏的内容都是接着前一天的进度开始的；而对照班学生使用的练习试卷共分为4张，与游戏40个关卡所涉及的习题一致，每天一张，如果当天试卷无法在15分钟完成，则第二天需要继续完成前一天试卷的内容，再做新的练习试卷。

2.半结构访谈

为了从实验班学生那里获得直接的游戏体验反馈，笔者在实验班学生完成游戏所有4天的游戏干预后，利用中午在食堂就餐的时间，随机与实验班的5名学生进行了访谈。

之所以选择游戏干预完成后的时间，是因为此时学生们对游戏的玩法已经有了比较全面的了解。而且，这时候学生已经玩了4天游戏，对游戏的新鲜感相比于刚开始玩的一两天已经有了回落，此时从学生口中获得的游戏评价会相对更加实际和客观。笔者原计划在教师办公室采用一对一的形式展开访谈，然而通过试验笔者发现，这种方式会束缚学生表达的自由。由于办公室场合比较严肃、一对一的形式和其他任课教师在场都容易让学生感到紧张，因此笔者决定利用中午和学生们在食堂吃饭的时间，随机对实验班学生进行集体访谈，确保访谈氛围更加轻松友好。

关于访谈问题，考虑到一年级孩子的注意力、理解能力和表达能力都十分有限，因此，此次访谈主要围绕以下4个问题展开：(1)你喜欢玩游戏或玩具吗？平时会玩哪些游戏或玩具？(2)爸爸妈妈在家里会让你在电脑或手机上玩游戏吗？(3)你喜不喜欢玩《怪兽消消》这个游戏？为什么？(4)你觉得《怪兽消消》游戏与平时的学习有关系吗？

五、结果分析

(一)准实验研究

笔者将实验班和对照班的前后测的有效数据加以清理，然后将其分别导入SPSS for Windows 22.0软件进行配对样本t检验。

1.简单加法计算

在简单加法计算测试中，对实验班和对照班分别进行配对样本t检验的结果如下页表1所示。对于实验班，有38名学生完成了该测验的前测和后测，配对t检验后发现：实验班前测成绩均值为117.66，后测成绩均值为113.29，配对样本

相关系数为0.585，配对样本相关性的显著水平小于0.05($p=0.000$)，配对样本t检验的显著性水平大于0.05($p=0.061$)，说明实验班学生在游戏干预前后的简单数字计算测试成绩相关性很显著，游戏干预对其测验成绩有微弱的负面影响。对于对照班，有30名学生完成了该测验的前测和后测，配对t检验后发现：对照班前测成绩均值为119.23，后测成绩均值为118.37，配对样本相关系数为0.682，配对样本相关性的显著性水平小于0.05($p=0.000$)，配对样本t检验的显著性水平大于0.05($p=0.595$)，说明对照班学生在试卷干预前后的简单数字计算测试成绩相关性很显著，但是试卷干预对其测试成绩没有显著影响。

表1 简单加法计算配对样本t检验结果

组别	N	前测			后测			配对样本相关性		配对样本t检验显著性			
		均值	标准差	标准误差	均值	标准差	标准误差	相关系数	显著性	均值	标准差	标准误差	
实验组	38	117.66	13.767	2.233	113.29	16.408	2.662	0.585	0.000	4.368	13.941	2.262	0.061
对照组	30	119.23	9.856	1.800	118.37	11.839	2.162	0.682	0.000	0.867	8.839	1.614	0.595

2. 简单数字计算(20以内减法)

在简单数字计算(20以内减法)测试中，对实验班和对照班分别进行配对样本t检验的结果如表2所示。对于实验班，有37名学生完成了该测验的前测和后测，配对t检验后发现：实验班前测成绩均值为102.65，后测成绩均值为104.35，配对样本相关系数为0.827，配对样本相关性的显著水平小于0.05($p=0.000$)，配对样本t检验的显著性水平大于0.05($p=0.248$)，说明实验班学生在游戏干预前后的简单数字计算测试成绩相关性很显著，但游戏干预并没有对其测验成绩产生显著影响。对于对照班，有31名学生完成了该测验的前测和后测，配对T检验后发现：对照班前测成绩均值为103.68，后测成绩均值为107.52，配对样本相关系数为0.910，配对样本相关性的显著性水平小于0.05($p=0.000$)，配对样本t检验的显著性水平小于0.05($p=0.001$)，说明对照班学生在试卷干预前后的简单数字计算测试成绩相关性很显著，而且试卷干预对其测试成绩产生了显著影响。

表2 简单数字计算配对样本t检验结果

组别	N	前测			后测			配对样本相关性		配对样本t检验			
		均值	标准差	标准误差	均值	标准差	标准误差	相关系数	显著性	均值	标准差	标准误差	显著性
实验组	37	102.65	15.487	2.546	104.35	11.331	1.863	0.827	0.000	-1.703	8.828	1.451	0.248
对照组	31	103.68	12.178	2.187	107.52	14.109	2.534	0.910	0.000	-3.839	5.894	1.059	0.001

(二)半结构访谈

此次访谈随机选择的5名学生中，有2名女生和3名男生，分别用女生A、女生B、男生A、男生B和男生C予以区别。访谈后，在与他们的班主任进行了解后，获知女生A和女生B平时在班里的学业成绩较好，在老师眼中是乖学生；男生A和男生B比较顽皮，学习成绩较差，比较让老师头疼；男生C学习中上，性格比较开朗。整个访谈在融洽的氛围中进行，大约持续了15分钟。访谈结束后，笔者整理了这5名学生的回答，从中发现了4个主要趋势，与访谈提纲预设的4个问题密切相关。

1. 游戏和玩具对小学生具有强烈的吸引力

游戏和玩具对一年级小学生来讲是具有无穷魔力的词语，5名小学生听到“游戏”和“玩具”这两个词语时，不仅两眼放光，而且脸上洋溢特别幸福和激动的笑容，男生A和B甚至高兴地从椅子上蹦了起来，在一旁手舞足蹈。5名小学生都非常喜欢玩游戏和玩具，周末的时候最期待的就是父母能够带他们去商场买新玩具或者带他们去公园或游乐园。

目前，他们玩的游戏或玩具有很多，在描述自己喜欢的游戏和玩具时，会不自主地加上玩游戏的动作，比划给笔者看。而且，男生和女生玩的游戏确实存在比较明显的不同。

男生A：最喜欢玩家里的赛车模型，觉得特别酷；

男生B：最喜欢跟朋友们玩枪战(一种追逐游戏)；

男生C：分享了他家里会学他说话的变形金刚，觉得特别厉害；

女生A和女生B：她俩经常一起行动，喜欢给娃娃梳妆打扮，也特别喜欢和伙伴们玩各种拍手游戏。

从这5名小学生的肢体、表情、语气，以及他们说的不是特别连贯的话语中，可以深深地感受到，这个年龄段学生对游戏和玩具的无限渴望和喜欢。同时，虽然游戏和玩具对小学生有普遍的吸引力，但不同孩子对游戏和玩具的选择已经有了不同。

2. 家长很少会让小学生玩电子游戏

问到这个问题时，5个学生脸上的笑容都有了收敛，没有回答第一个问题时那么活跃，甚至语气中夹杂着一些委屈。

男生A：家里没有电脑玩，很想玩，就像这几天在学校这样；

男生B：家里有电脑，但是有密码打不开，只

有爸爸妈妈能打开；

男生C：爸爸妈妈不让玩电脑，但爸爸妈妈他们会玩游戏；

女生A：家里有电脑，但没有玩过游戏；

女生B：爸爸妈妈说玩电脑对眼睛不好，表现好的时候会让我玩平板；

由此可见，对于一年级的小学生来说，家长对电子游戏的态度是比较消极的，不愿意让孩子玩电脑，甚至会采取措施，比如设密码等，来阻止孩子玩电脑。但这也从侧面反映出，电子游戏对于这个年龄段的孩子而言，是十分具有吸引力的。虽然，父母因为各种原因不让他们玩电脑，但他们此时会选择顺从家长的意愿，并不会反抗。

3. 学生喜欢并每天期待玩《怪兽消消》游戏

笔者并没有直接问他们喜不喜欢《怪兽消消》这个游戏，而是问他们还想不想继续玩这个游戏。他们听到后的情绪和行为表现和第一个问题比较相似，都表示非常想继续玩。接着，三个男生之间讨论起自己和其他同学在游戏中的进度和经验，比如打到哪一关、碰到什么样的小怪兽以及如何操作魔法方块等游戏细节，讨论到激动之处还会提高嗓门或加上动作。两个女生比较害羞，但仍然很肯定地回答想玩，觉得这几天过的特别开心，希望每天都可玩游戏。之后，男生们开始念念有词地比着喊游戏的名字，比如“消消消”“消一消、消一消”以及“怪兽——消消消，哈哈哈”，从中能够感受到这些学生对《怪兽消消》游戏的喜爱。关于喜欢这个游戏的原因，这些孩子们并不能十分清楚地表述，提到的词语多是“好玩”“有趣”“可以打怪兽”或者“可以操作魔法方块，很神奇”等。

虽然，在喜欢的原因上，这5个小学生无法用完整流畅的语言进行表述，但可以肯定的一点是，他们确实很喜欢玩《怪兽消消》这个游戏，即使在不玩游戏的空闲时间，他们也会主动跟班上的其他同学交流游戏经验。笔者从他们模糊的描述中，可以找到两点他们喜欢《怪兽消消》的可能原因，一是游戏建构的幻想，即“打怪兽”的故事背景，对学生有着强烈的吸引力；二是游戏的交互方式，即操作五颜六色的“魔法方块”，让学生产生了很强的好奇心。

4. 学生能感知到《怪兽消消》游戏的知识练习

在提问“《怪兽消消》和学习”之间的关系时，除了男生C，其他4个学生显然没有太理解这个问题的意思。这时，男生C说了一句“就是练习加减法”，让其他学生马上理解了笔者问的问题。他们争先恐后地告诉笔者，他们平时学加减法学得不错，在游戏里可以很快地找到小怪兽，并凑出

魔法方块把小怪兽消灭，每次听到小怪兽“嗷”的一声被消灭，都特别开心。同时，几个男生还告诉笔者，他们现在消灭小怪兽消灭得比以前快多了，但是后面有声音小怪兽的那些关太难了，得反复听和记，不过慢慢就习惯了。笔者此时进行了追问，问他们平时是不是用试卷练习加减法的，以及他们更喜欢用哪种方式练习加减法。5名学生的回答非常一致，他们表示当然更愿意玩游戏，甚至表达了“如果能把做片子换成玩游戏该多好”的愿望。

从上面的访谈可以看出，一年级学生是能够认识到游戏教育性的一面的，他们可以把游戏中的规则与课堂中所学的知识联系在一起。而且，即便是在他们认识到游戏内容也是一种变相练习的前提下，他们也更愿意接受游戏的方式，甚至对这类与学习明显相关的游戏充满了期待。

六、讨论与总结

本文围绕小学一年级数学“20以内数的认识和加减法”，从数学学习的学习科学研究成果出发，落实国家数学课程标准和教科书中的相关教学要求，并基于游戏的“内在动机理论”实现教育游戏教育性和游戏性的统一，并在随后实施的实证研究中，探索了所设计游戏在教学实践中的应用效果。

(一) 教育游戏的相关理论很多，但缺乏理论转化为实践的具体方法

教育游戏是个多学科交叉的研究领域，涉及教育学、心理学、游戏设计等多个方面，学科交叉的特性使得教育游戏的设计和开发本身就充满了挑战，需要仔细考虑教育性和游戏性的平衡问题。心流理论是目前教育游戏设计的主要参考依据，但该理论虽然从心理学层面解释了人为何会沉浸于游戏的原因，但却没能为游戏设计提出更多具体可操作的方法。

在本文中，笔者在参考心流理论的基础上，还重点参考了Malone更具实际操作性的游戏内在动机理论——针对游戏设计的三个关键构成要素，提出了可操作的游戏设计建议。《怪兽消消》在游戏机制的设计上就是从这三个构成要素出发并仔细设计的，通过访谈结果可以看出，该游戏受到了实验班学生的喜欢。不过，游戏内在动机理论仍有很大的细化和提升空间。比如，笔者在游戏设计时，三个元素的考虑比重是大致相同的，但在实验阶段，笔者发现一年级学生对“感知上的好奇”元素明显更为关注，如果该理论能与玩家的不同特征进一步对应起来，会更具实践指导性。

(二) 数学认知和数学教育之间尚未形成有效的成果转换途径

数学认知是近百年来才逐渐发展起来的学科，通过对不同工作任务中的大脑结构和功能连接情况的分析，认知科学家们才逐渐揭开大脑在数学任务中的内在工作机制。相反，数学教育有着悠久的发展历史，人们在教与学的实际过程中积累了大量经验。从两个领域的研究内容看，数学认知可以为人们更科学地设计数学教学内容和方法提供支持，但实际上两个领域却并没有开展密切的合作研究。这一情况的出现，与数学认知发展远远滞后于数学教育有着很大的关系。笔者在对“20以内数的认识和加减法”进行前期调研时发现，虽然一些数学认知研究已经有意识用其实验结果来解释人的数学学习过程，但数学教育研究却鲜有考虑数学认知研究成果的。正是如此，笔者在设计《怪兽消消》游戏时，将数学认知中的经典TCM模型与现有的数学教学方法进行整合，试图借鉴数学认知研究成果，对原有数学教法进行再优化，成为了《怪兽消消》学习内容设计的核心支架。该游戏突破了纸质教科书对“听觉言语通道”的局限，实现了学生在9种数字编码通道转换练习上的全覆盖，以帮助学生更科学有效地学习和练习基本运算的规则和实际意义。

可以说，目前的数学认知和数学教育研究之间尚未形成有效的转换途径，也正是这样，基于二者综合视角的数学教育产品设计，在当下显得十分难能可贵。在这样的背景下，本文也只是整合数学认知和数学教育成果的一个初步尝试，在研究的设计上还有许多不足。

(三)教育游戏效果的检验需要更加严谨的实验设计

在本文中，笔者采用了两种研究方法来评估所开发游戏在教育性和游戏性上的实际效果。在教育性上，通过设计准实验比较不同分组学生前后测成绩，笔者发现除了对照班学生在“20以内减法”上成绩有显著提高外，其他都没有发生显著变化；而通过访谈，笔者发现，学生知道游戏中要使用到的数学知识，并能用简单的语言讲解不同魔法方块和操作所代表的数学意义。此外，学生在分享自己的游戏进度和经验时，间接传达出了游戏的难度以及自己在游戏中的进步，在一定程度上反映了学生在游戏中某些学习行为确实发生了改变。在游戏性上，除了学生在访谈中直接表达对游戏的喜爱和想要继续玩的愿望之外，学生在干预阶段排队等候进入机房进行游戏之前的表情和动作也能反映出学生对玩该游戏的期待，以及在后测时，当实验班学生来到机房确认了这次真的不是玩游戏时，明显出现了一个失望的情绪波动。综合来看，在游戏性上，

《怪兽消消》对学生还是具有很强的吸引力的。

事实上，研究教育游戏的效果是十分具有挑战性的。就像游戏设计时需要考虑游戏的三个构成要素一样，影响游戏效果的因素也有很多，任何一项出现了问题，都可能导致游戏效果千差万别。比如就本文来说，之所以提升成绩不明显，主要的原因可能有以下几点：(1)研究对象的选择。若要看到比较明显的能力变化，需要在干预之前确保学生的该项能力没有达到饱和状态，即最好干预的内容是学生正在学习或尚未学习的内容，这样干预的效果会反应的更加明显；(2)前后测和电子游戏干预的设备选择。一年级学生由于缺乏充足的鼠标键盘操作经验，往往会增加测试中的误操作以及游戏中的完成速度，采用移动设备的触摸操作或对学生提前进行充分的键鼠练习十分必要；(3)教育游戏的效率问题。虽然教育游戏对学生的吸引力更强，但由于增加了更多操作项，相比于简单直接的做试卷在完成进度和教学效率上会存在明显差距，这就导致在相同干预时间的前提下，使用游戏学习的进度要远低于常规方式。可以看到，引入实验无关变量是教育游戏评估中经常会遇到的问题，如何更加严谨地设计实验将是未来教育游戏研究的挑战。

参考文献：

- [1] 孔凡哲.中小学教辅市场乱象何时休[N].中国教育报,2009-12-03(5).
- [2] 史宁中,孔凡哲等.十国高中数学教材的若干比较研究及启示[J].外国教育研究,2015,42(10):106-116.
- [3] 韩梅晓.基于PASS理论的小学一年级数学学习困难儿童认知缺陷及干预研究[D].西安:陕西师范大学,2015.
- [4] 张怀英.儿童发展性计算障碍的认知机制研究[D].武汉:华中科技大学,2009.
- [5] 裴蕾丝,尚俊杰等.基于教育神经科学的数学游戏设计研究[J].中国电化教育,2017,(10):60-69.
- [6] 中华人民共和国教育部制定.义务教育数学课程标准(2011年版)[M].北京:北京师范大学出版社,2011.
- [7] 史宁中,吕世虎.对数感及其教学的思考[J].数学教育学报,2006,15(2):9-11.
- [8] 李小萌,马云鹏.数感在小学数学教材中的表征特点——以人教版第一学段小学数学教材为例[J].小学数学教育,2014,(10):7-9.
- [9] 马云鹏.数与代数内容的理解与把握——《义务教育数学课程标准(2011年版)》解析之五[J].小学数学教育,2012,(7):15-17.
- [10] 梅芳.关于提高小学生计算能力的研究[D].长沙:湖南师范大学,2007.
- [11] 路浩,周新林.数学认知与学习的脑科学研究进展及其教育启示[J].教育学报,2012,8(4):62-69.
- [12] 安东尼奥·M·巴特罗,库尔特·W·费希尔美等.受教育的脑:神经教育学的诞生[M].北京:教育科学出版社,2011.
- [13] Campbell J I D. Handbook of mathematical cognition[M]. Hove:Psychology Press, 2004.

- [14] Dehaene S, Piazza M, et al. Three parietal circuits for number processing[J]. *Cognitive Neuropsychology*, 2003, 20(3): 487.
- [15] Dehaene S, Dehaene-Lambertz G, et al. Abstract representations of numbers in the animal and human brain[J]. *Trends in Neurosciences*, 1998, 21(8): 355–361.
- [16] Dehaene S. Varieties of numerical abilities[J]. *Cognition*, 1992, 44(1–2): 1–42.
- [17] Landerl K, Bevan A, et al. Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: a study of 8–9-year-old students[J]. *Cognition*, 2004, 93(2): 99–125.
- [18] Rousselle L, Noël M P. Basic numerical skills in children with mathematics learning disabilities: A comparison of symbolic vs non-symbolic number magnitude[J]. *Cognition*, 2007, 102(3): 361–395.
- [19] Malone T W. What makes things fun to learn? heuristics for designing instructional computer games[A]. SIGSMALL '80 Proceedings of the 3rd ACM SIGSMALL symposium and the first SIGPC symposium on Small systems[C]. New York: ACM, 1980. 162–169.
- [20] 裴蕾丝,尚俊杰等.两版小学数学教科书习题设计的比较研究——以“20以内数的认识和加减法”为例[J].课程×教材×教法,2016,36(6):68–75.
- [21] 人民教育出版社课程教材研究所小学课程教材研究开发中心·义务教育教科书教师教学用书·数学·一年级·上册[M].北京:人民教育出版社,2012.
- [22] 程大志.发展性计算障碍的认知机制及其干预训练[D].北京:北京师范大学,2014.

作者简介:

裴蕾丝: 研究实习员, 硕士, 研究方向为学习科学、游戏化学习、教育游戏设计与开发(peileisi@pku.edu.cn)。

尚俊杰: 副教授, 博士, 博士生导师, 研究方向为游戏化学习、学习科学与技术设计、教育技术领导与政策(jjshang@pku.edu.cn)。

Math Educational Games Based on Learning Sciences: Design, Development and Application

Pei Leisi^{1,2}, Shang Junjie¹

(1. Lab of Learning Sciences, Graduate School of Education, Peking University, Beijing 100871; 2. Institute of Basic Education Science, Beijing Academy of Educational Sciences, Beijing 100101)

Abstract: In this study, we designed and realized a digital game, named Monster Blocks, aiming at arithmetic learning within 20 for students in Grade One. During the game design, we thoroughly considered the National Math Curriculum Standards, latest findings of mathematical cognition and techniques of educational game design to ensure the balance of learning and engagement within the game play. Through a quasi-experimental study, we found that the effectiveness of playing Monster Blocks is similar to conventional paper-pencil exercises, except for the subtraction. And the balance of learning and engagement of Monster Blocks were confirmed by randomly selected students who played the game through a semi-structured interview.

Keywords: Learning Sciences; Educational Neuroscience; Educational Games; Game Design; Math Learning

收稿日期: 2018年8月12日

责任编辑: 李馨 宋灵青