

# 特征的呈现方式对类别学习中规则和相似性知识获得的影响\*

吴洁<sup>1,2</sup> 付秋芳<sup>\*\*1,2</sup> 周晓燕<sup>1,2</sup> 孙洵伟<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> 中国科学院心理研究所, 脑与认知科学国家重点实验室, 北京, 100101)

(<sup>2</sup> 中国科学院大学心理学系, 北京, 100049)

**摘要** 采用原型变异任务, 通过操纵规则和相似性特征的呈现通道, 探讨特征的呈现方式对类别学习中规则和相似性知识获得的影响。结果发现, 在听觉-视觉条件下, 习得规则的人数显著多于习得相似性的人数; 而在视觉-听觉和视觉-视觉条件下, 则不存在显著差异; 且三种条件下, 习得规则的正确率均高于习得相似性的正确率。结果说明, 特征的呈现方式影响对规则和相似性特征的习得, 在听觉通道呈现规则时, 被试更倾向基于规则分类。

**关键词** 多通道 类别学习 规则 相似性

## 1 引言

在类别学习中, 个体获得的是何种形式的类别知识? 针对这一问题, Bruner 和 Levine 等研究者认为, 在类别学习中, 规则特征总是通过假设检验被个体习得, 且个体所习得的类别知识可以用语言描述 (刘志雅, 莫雷, 张娟, 2007; Ashby & Maddox, 2005, 2011; Little & McDaniel, 2015; Nosofsky, Clark, & Shin, 1989)。例如, 有研究者发现, 在规则较清楚的高类别结构中, 被试倾向于基于规则进行分类 (Little, Nosofsky, & Denton, 2011; Nosofsky, Palmeri, & McKinley, 1994)。不过, 与该理论相反, 另一种理论则认为, 个体是倾向于基于相似性进行分类的, 即通过比较与样例 (Little & McDaniel, 2015; Medin & Smith, 1981; Reber, Gitelman, Parrish, Mesulam, 2003), 或者原型 (刘万伦, 张奇, 2008; Ashby & Ell, 2001; Smith & Minda, 2002; Squire & Knowlton, 1995; Zeithamova, Maddox, & Schnyer, 2008) 的相似程度来分类。例如, 有研究者发现, 虽然阿尔兹海默症病人外显记忆受损, 但是可以通过将刺激与原型或者样例进行比较来获得类别知识, 因此, 此类病人的分类成绩与正常被试相比, 并没有显著降

低 (Heindel, Festa, Ott, Landy, & Salmon, 2013)。然而, 近年来一些研究发现, 基于规则分类和基于相似性分类, 可以发生在同一分类任务的不同阶段, 且被试在进行分类时, 会呈现由基于规则分类向基于相似性分类转换的倾向 (Folstein, Fuller, Howard, & DePatie, 2017)。

实际上, 个体是倾向于基于规则分类还是基于相似性分类, 会受到类别结构、训练试次数量和工作记忆等因素的影响。首先, 在没有明显规则或样例较少的低类别结构任务 (如 5-4 任务) 中, 被试倾向于基于相似性进行分类 (Ashby & Ell, 2001; Smith & Minda, 1998); 在有较清楚规则的高类别结构任务 (correlated-cues task) 中, 被试倾向于基于规则进行分类 (Little et al., 2011; Nosofsky et al., 1994)。其次, 采用计算模型模拟方法的研究发现, 当训练试次较少或学习速率较慢时, 计算模型会根据相似性分类; 当训练试次增多或学习速率达到一定水平时, 计算模型会根据规则分类 (Verguts & Fias, 2009)。此外, 有研究者为了探讨工作记忆对被试选择分类策略的影响, 选取成人和儿童为研究对象, 研究结果发现: 对于成人而言, 基于规则分类的人数要显著多于基于相似性分类的人数; 而

\* 本研究得到中国国家自然科学基金和德国研究基金项目 (NSFC 61621136008/DFG TRR-169) 和国家自然科学基金项目 (61632004) 的资助。

\*\* 通讯作者: 付秋芳。E-mail: fuqf@psych.ac.cn

DOI:10.16719/j.cnki.1671-6981.20180502

对于儿童而言,基于规则分类的人数和基于相似性分类的人数没有显著差异。研究者认为,儿童工作记忆能力发展不全,是导致不能很好地运用规则进行分类的一个重要因素(Rabi, Miles, & Minda, 2015; Zeithamova & Maddox, 2006)。

有趣的是,以往有研究发现,在不同通道条件下,个体对不同类别任务的分类具有不同的表现(Maddox, Ing, & Lauritzen, 2006; Smith et al., 2014)。在信息整合任务(information-integration)中类别特征无法用语言来描述,被试在单通道条件下的成绩优于多通道条件下的成绩;而在规则界定(rule-based)的任务中类别特征可以用语言描述,被试在多通道条件下的成绩优于视觉通道下的成绩,但是只有根据最严格的标准选定的基于规则分类的被试在多通道条件下的成绩才优于听觉通道下的成绩(Maddox et al., 2006; Smith et al., 2014)。对此,研究者认为,听觉刺激在基于规则的类别学习中之所以表现出相对的优越性,可能是因为听觉刺激所激活的尾状核(Nenadic et al., 2003; Yeterian & Pandya, 1998),与通过假设检验习得规则特征所激活的脑区(尾状核头部)相重合(Ashby, Alfonso, Turken, & Waldron, 1998; Nomura et al., 2007),从而使得人们在类别学习中对听觉刺激更偏向于用基于规则的学习策略。由此,本研究认为,特征的呈现通道可能会影响个体在类别学习中对规则和相似性特征的习得。如果规则特征在听觉通道呈现,那么被试可能更容易获得规则特征,即有更少的被试基于相似性特征进行分类;如果规则特征在视觉通道呈现,那么被试可能更不容易获得规则特征,即有更多的被试基于相似性特征进行分类。

为了探讨特征的呈现方式对规则和相似性知识获得的影响,本研究设置了三种实验条件:听觉-视觉条件,即在听觉通道呈现规则特征,在视觉通道呈现相似性特征;视觉-听觉条件,即在视觉通道呈现规则特征,在听觉通道呈现相似性特征;视觉-视觉条件,即规则特征和相似性特征均在视觉通道下呈现。在听觉-视觉和视觉-视觉条件下,被试需完成对卡通动物的分类任务;在视觉-听觉条件下,被试需完成对音乐旋律的分类任务。每种实验条件都包含两个类别,每个类别中的刺激除了包含相似性特征外,还有一个规则特征。其中,视觉相似性特征由卡通动物的10个特征界定,听觉相似性特征由音乐旋律的10个特征界定;听觉规则特

征由不同乐音的音高界定,视觉规则特征由卡通动物所处背景的灰度界定。为了测量被试是习得相似性特征还是规则特征,在测验阶段引入了“两可的(ambiguous)”刺激材料。如果被试在学习阶段主要习得规则特征,那么其在测验阶段会主要根据规则特征来对“两可的”刺激材料进行分类;如果被试在学习阶段习得相似性特征,那么其在测验阶段会主要根据相似性特征来对“两可的”刺激材料进行分类。与以往研究相比,本实验设计能更客观、准确地反映被试所习得的知识类型。

## 2 方法

### 2.1 被试

97名大学生和研究生(46名女生)自愿参加实验,其中,听觉-视觉条件下有32人,视觉-听觉条件下有32人,视觉-视觉条件下有33人。被试的年龄在18~25岁之间。所有被试视力或矫正视力正常,听力正常,无色盲或色弱。他们此前均未参加过类似实验。

### 2.2 实验设计

实验在学习阶段为3(特征呈现方式:听觉-视觉,视觉-听觉,视觉-视觉) $\times$ 2(习得特征:规则,相似性) $\times$ 8(学习组段)的混合实验设计,其中,特征呈现方式和习得特征为被试间变量,学习组段为被试内变量。在测验阶段为3(特征呈现方式:听觉-视觉,视觉-听觉,视觉-视觉) $\times$ 2(习得特征:规则,相似性)的被试间设计。因变量是分类正确率及基于规则或相似性特征分类的人数。

### 2.3 实验仪器和材料

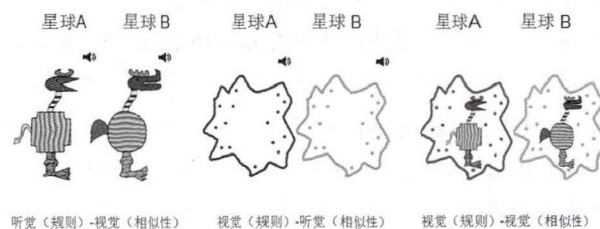


图1 三种实验条件下,类别A和类别B的类别成员示例

实验采用E-Prime进行编程。在听觉-视觉条件下,听觉通道的规则特征由音高不同的20个乐音组成,除去中央C调中间3个音,选取中央C调两端各2个音,以及中央C调两侧的高8度和低8度音,相邻2个乐音间隔1度。每段乐音时长为500 ms,采样大小为16位,采样级别为44.1千赫,双声道,

表 1 三种实验条件下，学习阶段的刺激特征结构

CA1	CA2	CA3	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10
类别 A												
B1	L1	M1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1
B2	L2	M2	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1
B3	L3	M3	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1
B4	L4	M4	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1
B5	L5	M5	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0
B6	L6	M6	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
B7	L7	M7	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0
B8	L8	M8	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1
B9	L9	M9	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1
B10	L10	M10	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
类别 B												
G1	H1	N1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
G2	H2	N2	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
G3	H3	N3	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
G4	H4	N4	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
G5	H5	N5	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
G6	H6	N6	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
G7	H7	N7	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
G8	H8	N8	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
G9	H9	N9	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
G10	H10	N10	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1

注：CA1 指在视觉 - 视觉条件下视觉通道的规则特征，CA2 是指在听觉 - 视觉条件下听觉通道的规则特征，CA3 指在视觉 - 听觉条件下视觉通道的规则特征，d1-d10 是卡通动物或音乐旋律的 10 个特征的相似性特征。其中，听觉 - 视觉与视觉 - 视觉的相似性特征相同，而视觉 - 听觉与视觉 - 视觉的规则特征相同。

0 dB。视觉通道的相似性特征由卡通动物的 10 个特征界定（如腹部的形状或颜色），每个特征有 2 个特征值（如腹部颜色：红色和蓝色）。这一材料是根据 Gorlick 和 Maddox（2013）的刺激材料发展而成（Zeithamova et al., 2008），如图 1 所示。学习阶段包含 20 张卡通动物图片，分为两类，每类 10 张，每个类别成员共享 1 个规则特征（CA2）和 7 个相似性特征（d1-d10）。具体而言，类别 A 共享 7 个“1”特征，类别 B 共享 7 个“0”特征，如表 1 所示。每张图片大小为 200\*300 像素，对应视角约为 6.8° 和 10.2°。

在视觉 - 视觉条件下，视觉相似性特征与听觉 - 视觉条件下的视觉相似性特征相同，规则特征由卡通动物所处背景的透明度界定。20 张图片背景分别在 13%~40% 和 58%~85% 的透明度上变化，相邻 2 个背景透明度差异 3%，大小为 330×350 像素，对应视角约为 11.2° 和 11.9°。

在视觉 - 听觉条件下，视觉规则特征与视觉 - 视觉条件下的规则特征相同，听觉相似性特征由音乐旋律的 10 个特征界定。每个音乐旋律由 5 个乐音构成，每个乐音时长为 400 ms，在音色和音高特征上各有 2 个特征值（如第 1 个乐音为铃铛或巴洛克

风琴，可以是高音或低音）。每段乐音时长为 2000 ms，采样大小为 16 位，采样级别为 44.1 千赫，双声道，4 dB。

## 2.4 实验程序

实验分为学习阶段和测验阶段。在学习阶段，告知被试需要完成一个卡通动物或音乐旋律的分类任务（见图 2）。首先呈现一个时长为 500 ms 的注视点“+”，然后，在听觉 - 视觉条件下，会同时呈现一张时长为 2000 ms 的卡通图片和一段时长为 500 ms 的音频；在视觉 - 视觉条件下，同时呈现一张时长为 2000 ms 的卡通动物和其背景。刺激消失后，在这两种条件下，被试要判断该卡通动物是来自哪个星球。在视觉 - 听觉条件下，呈现一张时长为 2000 ms 的背景图片和一段时长为 2000 ms 的音乐旋律，刺激消失后，要求被试判断该音乐旋律来自哪个星球。在每种条件下，如果判断来自星球 A，按 F 键；判断来自星球 B，按 J 键。如果在 3 秒内未反应，则会出现“请在 2 秒内做出判断”的提示。按键反应后，刺激消失，并出现正确与错误的反馈。反应正确，呈现 3 秒的反馈；反应错误，则呈现 6 秒的反馈。指导语告知被试，开始时他们需要猜测刺激来自哪个星球，但是随着训练的进行，通过反



馈他们能够渐渐习得卡通动物或音乐旋律来自哪个星球。在被试间对 A、B 类别与 F、J 键的对应进行了平衡。学习阶段包括 8 个组段 (Block)，每个组段包括 20 个试次，共 160 个试次。每完成一个组段被试休息 30s。

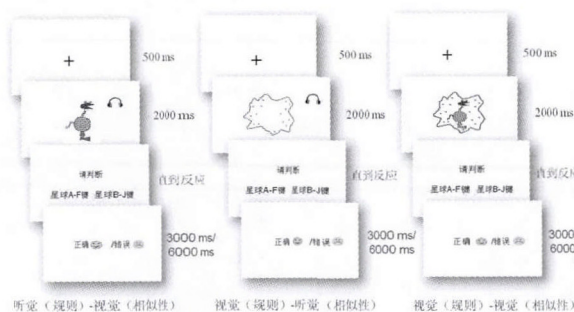


图2 三种条件下,学习阶段的实验程序

测验阶段与学习阶段的流程相同,只是在被试按键反应后,不给予被试反馈。同时,为了考察被试是否能意识到自己习得了类别知识,在被试进行分类判断后,要求被试对自己的判断下 0.5/10 元的赌注 (Persaud, Mcleod, & Cowey, 2007)。选择 0.5 元,按 F 键;选择 10 元,按 J 键。赌注大小与 F、J 键的对应在被试间进行了平衡。测验阶段包括 3 个组段,每个组段包括 20 个试次,在其中 1 个组段中,为“两可的”刺激材料,其规则特征和相似性特征的结合与学习阶段相反;在另 2 个组段中,“两可的”和学习过的刺激材料各 10 张,3 个组段的顺序在被试间进行了平衡。

### 3 结果与分析

#### 3.1 学习阶段的结果分析

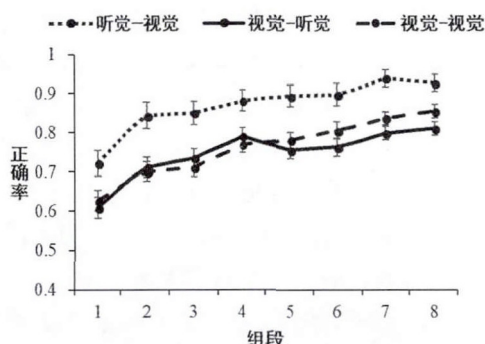


图3 三种条件下,被试在学习阶段的正确率

图3表示的是三种条件下,被试在学习阶段的正确率。为了探讨特征呈现方式对类别学习的影响,本实验对学习阶段的正确率进行 3 (特征呈现方式: 听觉-视觉, 视觉-听觉, 视觉-视觉)  $\times$  8 (组段: 1-8)

混合因素方差分析。结果发现,特征呈现方式主效应显著,  $F(2, 94) = 7.78, p < .01, \eta_p^2 = .14$ , 听觉-视觉的正确率要显著高于视觉-听觉和视觉-视觉;组段主效应显著,  $F(4, 92) = 41.44, p < .01, \eta_p^2 = .31$ , 被试的分类正确率随着练习次数的增加而升高;特征呈现方式与组段交互作用不显著,  $F(4, 92) = .82, p = .60$ 。

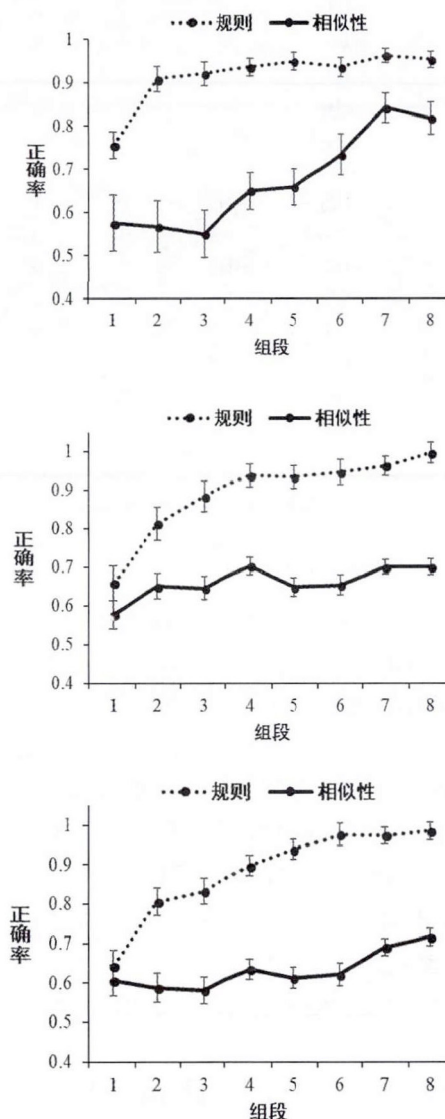


图4 听觉-视觉(上)、视觉-听觉(中)视觉-视觉(下)条件下,习得规则与相似性特征的被试在学习阶段的正确率

结合测验中被试所依据的分类策略,将三种条件下的被试划分为习得规则特征和习得相似性特征的不同组。图4表示的是三种条件下习得规则和相似性特征的被试在学习阶段的正确率。为了探讨特征呈现方式和习得特征对学习正确率的影响,对正确率进行 3 (特征呈现方式: 听觉-视觉, 视觉-听觉, 视觉-视觉)  $\times$  2 (习得特征: 规则, 相似性)  $\times$  8 (组

段：1-8）混合因素方差分析。结果发现，习得特征主效应显著  $F(1, 95) = 186.52, p < .01, \eta_p^2 = .67$ ；习得特征与组段的交互作用显著， $F(5, 91) = 8.10, p < .01, \eta_p^2 = .08$ ；特征呈现方式、习得特征和组段的交互作用显著， $F(9, 87) = 3.42, p < .01, \eta_p^2 = .07$ 。简单效应分析结果表明，在三种条件下，第2~8个组段中，习得规则特征被试的分类正确率都显著高于习得相似性特征的被试的分类正确率 ( $ps < .05$ )。

### 3.2 测验阶段结果分析

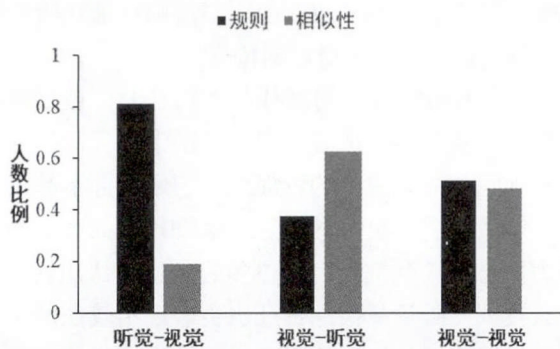


图5 三种条件下，被试对“两可的”刺激材料基于规则和相似性进行分类的人数比例

根据被试在测验阶段中，对“两可的”测验材料的分类结果，被试被划分为习得规则特征和习得相似性特征两组。如果被试对“两可的”材料的分类结果中，基于规则特征的分类次数高于基于相似性特征的分类次数，那么将其视为习得规则特征；反之，如果被试基于相似性特征的分类次数高于基于规则特征的分类次数，那么将其视为习得相似性特征。图5表示的是三种条件下，被试对“两可的”刺激材料基于规则和相似性分类的人数比例。卡方分析的结果表明，在视觉-视觉和视觉-听觉条件下，习得规则与相似性特征的人数差异不显著， $\chi^2 = .03, df = 1, p = .86$ ； $\chi^2 = 2, df = 1, p = .16$ ；在听觉-视觉条件习得规则特征的人数显著多于习得相似性特征的人数， $\chi^2 = 12.50, df = 1, p < .01, \eta_p^2 = .70$ 。这说明当规则在听觉通道呈现时，个体更倾向于习得规则特征。

那么，习得规则和相似性特征的被试在测验阶段对学习过的刺激的正确率是否有差异呢？图6表示的是，被试在测验阶段对学习过的刺激的正确率。进行3（特征呈现方式：听觉-视觉，视觉-听觉，视觉-视觉） $\times$ 2（习得特征：相似性，规则）被试间方差分析，结果表明，只有习得特征的主效

应显著， $F(1, 95) = 107.53, p < .01, \eta_p^2 = .54$ ，说明在三种条件下，被试基于规则分类的绩效显著高于基于相似性分类的绩效。

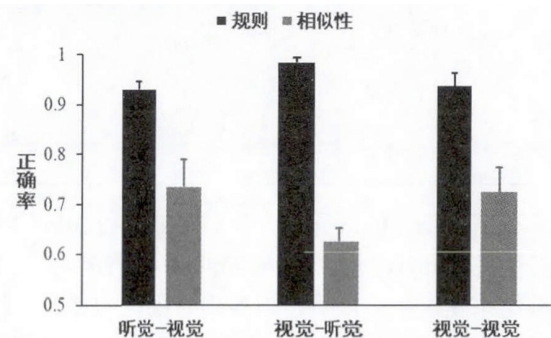


图6 三种条件下，习得规则和相似性特征的被试在测验阶段的正确率

表2表示的是在三种条件下被试在测验阶段对学习过的刺激下0.5元和10元赌注的试次数。卡方分析结果表明，三种条件下无论是基于规则特征分类还是基于相似性特征分类的被试，其正确率与最佳赌注率，即正确反应与正确判断下高赌注和错误判断下低赌注的比例，没有显著差异 ( $ps > .05$ )，说明被试意识到自己做出了正确的分类。

## 4 讨论

本研究采用原型变异任务，探讨了特征的呈现方式对类别学习中规则和相似性知识获得的影响。结果表明，在三种条件下，被试均可以习得一定的规则或相似性知识，并且基于规则特征分类的绩效均优于基于相似性特征分类的绩效。重要的是，在听觉-视觉条件下，习得规则特征的人数显著多于习得相似性特征的人数；而在视觉-听觉和视觉-视觉条件下，不存在人数上的差异。这与本研究的假设相一致，即特征的呈现方式会影响类别学习中对规则和相似性特征的习得。当规则特征在听觉通道呈现时，规则特征更容易被习得。

4.1 在单通道和多通道条件下，个体能否获得不同类型的类别知识？

实验结果显示，无论在单通道的视觉-视觉条件下，还是在多通道的听觉-视觉和视觉-听觉条件下，学习阶段的前三个组段的正确率均明显低于后两个组段的正确率，说明被试习得了一定的规则或相似性知识。此结果与以往研究结果相一致。例如，以往基于单通道的原型变异任务的研究发现，学习阶段最后一个组段的正确率要显著高于第一个组段 (Rabi et al., 2015)。此外，在多通道下基于规则的

表 2 三种条件下 0.5 元赌注和 10 元赌注的比率

		规则		相似性	
		正确	错误	正确	错误
听觉-视觉	高	78	28	435	26
	低	8	6	44	15
视觉-听觉	高	208	1	165	73
	低	30	1	95	66
视觉-视觉	高	289	10	146	46
	低	36	5	79	49

任务和整合的任务中,被试也能习得相应的类别特征(Maddox et al., 2006; Smith et al., 2014)。本实验结果还进一步说明,当类别的规则和相似性特征分别在视觉和听觉通道,或者分别在听觉和视觉通道呈现时,被试均可以习得相应的规则或相似性特征。重要的是,当规则或相似性特征在听觉通道呈现时,被试依然能够获得相应的类别知识,说明基于规则或相似性的分类不仅仅适用于视觉通道呈现的刺激,也适用于听觉通道呈现的刺激。

#### 4.2 基于规则分类和基于相似性分类是否存在绩效差异?

本研究发现,在三种条件下,无论在学习阶段还是在测验阶段,基于规则特征分类的成绩均显著高于基于相似性特征分类的成绩,当被试通过假设检验习得了规则之后,基于规则分类的学习绩效要优于基于相似性分类的学习绩效。这与以往的研究结果相一致。以往的研究发现,当类别分别由规则或相似性特征来界定时,被试对规则界定的任务的正确率高于相似性界定的任务(Maddox et al., 2006; Smith et al., 2014)。基于规则的分类是通过假设检验来获得规则知识,在学习阶段需要较多的认知资源,而规则知识被习得后,会形成明确的分类标准,表现为极高的分类正确率。而基于相似性的分类是通过抽象原型或者记忆样例来获得相似性知识,不会形成明确的分类标准,故表现出较低的分类正确率。

#### 4.3 特征呈现方式对类别学习中规则和相似性知识习得的影响

以往研究发现,类别结构、训练试次和工作记忆等因素会影响被试是基于规则还是相似性特征分类。本研究结果则进一步表明,规则和相似性特征的呈现通道会影响被试习得的知识类型。具体而言,在听觉-视觉条件下,当规则特征在听觉通道呈现,相似性特征在视觉通道呈现时,基于规则分类的人数显著多于基于相似性分类的人数;而在视觉-听

觉和视觉-视觉条件下,当规则特征在视觉通道呈现时,无论相似性特征在听觉通道还是在视觉通道呈现,对两种特征的习得都不存在人数上的差异。这与本研究假设相一致,说明当规则特征在听觉通道呈现时,更容易习得规则特征。

由于在听觉通道呈现相似性特征时,被试并没有对听觉相似性特征表现出更强的学习倾向,这说明对规则特征表现出的较强的学习倾向并不是因为听觉刺激吸引了更多的注意或认知资源而造成的。因为如果听觉刺激会吸引更多的注意和认知资源,那么被试对听觉相似性特征也会表现出较强的学习倾向。那么,个体为什么会对听觉规则特征表现出较强的学习倾向呢?这可能是由于通过假设检验获得规则所激活的脑区是尾状核的头部(Ashby et al., 1998; Nomura et al., 2007),与听觉刺激激活的脑区相重合(Maddox et al., 2006; Nenadic et al., 2003; Yeterian & Pandya, 1998),使得人们在类别学习中对听觉刺激更偏向于用基于规则的学习策略,因此,当规则特征在听觉通道呈现时,个体更容易获得规则特征,表现出对听觉规则习得的学习优势。

## 5 结论

在本研究条件下,得出如下结论:(1)特征的呈现方式影响类别学习中规则和相似性特征的习得,当规则在听觉通道呈现时,更容易习得规则特征;(2)无论在单通道还是多通道条件下,个体均能习得规则特征和相似性特征,但基于规则特征分类的绩效显著优于基于相似性特征分类的绩效。

## 参考文献

- 刘万伦, 张奇. (2008). 类别学习的神经心理学研究. *心理科学进展*, 16(1), 36-41.
- 刘志雅, 莫雷, 张娟. (2007). 基于规则的类别学习和信息整合的类别学习. *心理科学*, 30(6), 1429-1432.
- Ashby, F. G., Alfonso-Reese, L. A., Turken, A. U., & Waldron, E. M. (1998). A neuropsychological theory of multiple systems in category learning.



- Psychological Review*, 105(3), 442–481.
- Ashby, F. G., & Ell, S. W. (2001). The neurobiology of human category learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 204–210.
- Ashby, F. G., & Maddox, W. T. (2005). Human category learning. *Annual Review of Psychology*, 56, 149–178.
- Ashby, F. G., & Maddox, W. T. (2011). Human category learning 2.0. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1224, 147–161.
- Folstein, J. R., Fuller, K., Howard, D., & DePatie, T. (2017). The effect of category learning on attentional modulation of visual cortex. *Neuropsychologia*, 104, 18–30.
- Gorlick, M. A., & Maddox, W. T. (2013). Priming for performance: Valence of emotional primes interact with dissociable prototype learning systems. *PLoS ONE*, 8(4), e60748.
- Heindel, W. C., Festa, E. K., Ott, B. R., Landy, K. M., & Salmon, D. P. (2013). Prototype learning and dissociable categorization systems in Alzheimer's disease. *Neuropsychologia*, 51, 1699–1708.
- Little, D. R., Nosofsky, R., & Denton, S. E. (2011). Response-time tests of logical-rule models of categorization. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 37, 1–27.
- Little, J. L., & McDaniel, M. A. (2015). Individual differences in category learning: Memorization versus rule abstraction. *Memory and Cognition*, 43, 283–297.
- Maddox, W. T., Ing, A. D., & Lauritzen, J. S. (2006). Stimulus modality interacts with category structure in perceptual category learning. *Perception and Psychophysics*, 68(7), 1176–1190.
- Medin, D. L., & Smith, E. E. (1981). Strategies and classification learning. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 7(4), 241–253.
- Nenadic, I., Gaser, C., Volz, H. P., Rammsayer, T., Häger, F., & Sauer, H. (2003). Processing of temporal information and the basal ganglia: New evidence from fMRI. *Experimental Brain Research*, 148, 238–246.
- Nomura, E. M., Maddox, W. T., Filoteo, J. V., Ing, A. D., Gitelman, D. R., Parrish, T. B., et al. (2007). Neural correlates of rule-based and information-integration visual category learning. *Cerebral Cortex*, 17(1), 37–43.
- Nosofsky, R. M., Clark, S. E., & Shin, H. J. (1989). Rules and exemplars in categorization, identification, and recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15(2), 282–304.
- Nosofsky, R. M., Palmeri, T. J., & McKinley, S. C. (1994). Rule-plus-exception model of classification learning. *Psychological Review*, 101(1), 53–79.
- Persaud, N., McLeod, P., & Cowey, A. (2007). Post-decision wagering objectively measures awareness. *Nature Neuroscience*, 10(2), 257–261.
- Rabi, R., Miles, S. J., & Minda, J. M. (2015). Learning categories via rules and similarity: Comparing adults and children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 131, 149–169.
- Reber, P. J., Gitelman, D. R., Parrish, T. B., & Mesulam, M. M. (2003). Dissociating explicit and implicit category knowledge with fMRI. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(4), 574–583.
- Smith, J. D., & Minda, J. P. (1998). Prototypes in the mist: The early epochs of category learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 24(6), 1411–1436.
- Smith, J. D., & Minda, J. P. (2002). Distinguishing prototype-based and exemplar-based processes in dot-pattern category learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28(4), 800–811.
- Smith, J. D., Johnston, J. J. R., Musgrave, R. D., Zakrzewski, A. C., Boomer, J., et al. (2014). Cross-modal information integration in category learning. *Attention, Perception, and Psychophysics*, 76, 1473–1484.
- Squire, L. R., & Knowlton, B. J. (1995). Learning about categories in the absence of memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 92, 12470–12474.
- Verguts, V., & Fias, W. (2009). Similarity and rules united: Similarity- and rule-based processing in a single neural network. *Cognitive Science*, 33, 243–259.
- Yeterian, E. H., & Pandya, D. N. (1998). Corticostriatal connections of the superior temporal region in rhesus monkeys. *The Journal of Comparative Neurology*, 399, 384–402.
- Zeithamova, D., & Maddox, W. T. (2006). Dual-task interference in perceptual category learning. *Memory and Cognition*, 34(2), 387–398.
- Zeithamova, D., Maddox, W. T., & Schyns, D. M. (2008). Dissociable prototype learning systems: Evidence from brain imaging and behavior. *The Journal of Neuroscience*, 28(49), 13194–13201.

# The Effect of Presenting Mode of Different Features on the Acquisition of Rule-Based and Similarity-Based Knowledge in Category Learning

Wu Jie<sup>1,2</sup>, Fu Qiufang<sup>1,2</sup>, Zhou Xiaoyan<sup>1,2</sup>, Sun Xunwei<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>State Key Laboratory of Brain and Cognitive Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101)

(<sup>2</sup>Department of Psychology, University of Chinese Academy of Science, Beijing, 100101)

**Abstract** The present study was aimed to explore the effect of presenting mode of different features on the acquisition of rule-based and similarity-based knowledge in category learning. There were two prominent opposing approaches on what was acquired in category learning: the rule-based approach assumed that the optimal strategy of categorization was easy to verbalize and the category was learned via hypothesis testing, whereas the similarity-based approach assumed that the optimal strategy of categorization was not easy to verbalize and the category was learned through comparing the similarity of the stimulus to the prototype. It was found that the acquisition of rule-based and similarity-based knowledge in category learning was affected by the factors such as the amount of training, working memory, and category structures. Interestingly, it was found recently that participants performed better in the auditory condition than in the visual condition in the rule-based task, but participants performed better in the visual condition than in the auditory condition in the information-integration task. Thus, we expected that the mode in which the features were presented might influence the acquisition of rule-based features and similarity-based features in category learning.

To address this issue, a modified prototype distortion task was adopted, in which the category member included one rule-based feature and ten similarity-based features. In the auditory-visual condition, the similarity-based features were from visual stimuli that varied along 10 binary dimensions, while the rule-based feature was from auditory stimuli that was different in pitch. In the visual-visual condition, the similarity-based features were identical to the auditory-visual condition, while the rule-based feature was defined by the gray scale of the background of the visual stimulus. In the visual-auditory condition, the rule-based feature was identical to the visual-visual condition, while the similarity-based features were from auditory stimuli that varied along 10 binary dimensions. In the training phase, participants were asked to indicate which category the stimulus belonged to, and then the feedback of the correctness was provided after their response. Each block included 20 trials, and there were eight blocks, for a total of 160 trials. To examine whether people learned the similarity-based or rule-based features, we adopted the ambiguous stimuli that could be classified to different categories on the basis of similarity-based or rule-based features in the testing phase. There were 40 ambiguous stimuli and 20 trained stimuli in the testing phase.

The results showed that for all participants in the three conditions the accuracy gradually increased with training, indicating all of them acquired some knowledge about the category. Interestingly, the accuracy was significantly higher for participants who categorized the ambiguous stimuli on the basis of the rule-based feature, i.e., acquired the rule-based features, than those who categorized the ambiguous stimuli on the basis of the similarity-based features, i.e., acquired the similarity-based features, suggesting that the performance for rule-based learning was superior to the similarity-based learning. More importantly, the number of participants who acquired rule-based features was significantly more than that of those who acquired similarity-based features in the auditory-visual condition, but there were no significant differences in the visual-auditory and visual-visual condition. The results suggested the presenting mode of different features influenced the acquisition of rule-based features and similarity-based knowledge in category learning, and people tended to categorize stimuli on the basis of the rule-based feature when it was presented in the auditory modality.

**Key words** multimodal, category learning, rule-based, similarity-based