

基于微型人工语法范式的语言学习实证研究综述

耿立波^{1,2}, 杨丽^{1,2}, 杨亦鸣^{1,2*}

1. 江苏师范大学语言科学与艺术学院, 徐州 221009

2. 江苏师范大学语言能力协同创新中心, 徐州 221009

* 通信作者. E-mail: yangym@jsnu.edu.cn

收稿日期: 2018-06-22; 接受日期: 2018-08-29; 网络出版日期: 2018-11-14

国家重点基础研究发展计划(973)(批准号: 2014CB340502)、国家社科基金青年项目(批准号: 16CYY021)和江苏省社科基金青年项目(批准号: 15YYC003)资助

摘要 自1967年美国心理学家Reber首次设计和使用了微型人工语法学习范式以来, 人工语法的发展已有半世纪的历史。本文从语言学习视角出发, 讨论人工语法发展以来4种类型(有限状态语法下的经典微型人工语法学习范式、有限状态语法下的无语义型微型人工语法学习范式、非有限状态语法下的调控语义型微型人工语法学习范式以及“迷你”自然语言型微型人工语法学习范式)的相关实证研究及其在语言学习领域的深远意义。

关键词 语言学习, 微型人工语法, 人工语言, 第二语言, 内隐学习

1 引言

人工语法研究由来已久, 自1967年美国心理学家Reber在《人工语法范式下的隐性学习》(Implicit Learning of Artificial Grammar)一文中, 利用诺姆·乔姆斯基(Noam Chomsky)有限状态语法(finite-state grammar), 首次设计和使用了微型人工语法学习范式(artificial grammar learning, AGL)^[1]后, 其发展至今已有五十余年。广义的AGL是和自然语言语法相对而言的, 可以说, 自然语言语法是生长而成的, AGL则是为了某个特定的目的设计出来的。狭义的AGL包含一套规范序列结构的规则, 它被设计成模仿自然语言的复杂结构, 同时消除其他潜在的混杂参数, 如语义信息, 使被试可以在短时间内高熟练掌握这些规则。一致的证据表明, 这种实验范式是模拟测试自然语言语法和结构的很好模型^[2,3]。

本文从语言学习视角出发, 根据近年来关于微型AGL的各种实证研究, 讨论了微型AGL的4种类型: 有限状态语法下的经典AGL、有限状态语法下的无语义型AGL、非有限状态语法下的调控语义型AGL和“迷你”自然语言型AGL, 以及这4种微型AGL在语言学习中是如何展开的, 期望为运用微型AGL探究语言学习的问题提供一定的思考方法和借鉴意义。

引用格式: 耿立波, 杨丽, 杨亦鸣. 基于微型人工语法范式的语言学习实证研究综述. 中国科学: 信息科学, 2018, 48: 1487–1496, doi: 10.1360/N112018-00166
Geng L B, Yang L, Yang Y M. An empirical review of language learning based on the micro-artificial grammar-learning paradigm (in Chinese). Sci Sin Inform, 2018, 48: 1487–1496, doi: 10.1360/N112018-00166

2 微型 AGL 的类型

立足于语言学习视角的 AGL 根据特点、方法、目标、过程等的不同可以分为 4 种类型, 见表 1. 第 1 种是使用有限状态语法规则组成符号序列的 Reber 经典 AGL; 第 2 种是有限状态语法规则下少量假词组成的无语义型 AGL; 第 3 种是脱离了有限状态语法的由具有一定场景或图片意义的人造词构成的调控语义型 AGL; 第 4 种是由自然语言中的一小部分词语加上语法规则组成的“迷你”自然语言型 AGL.

2.1 有限状态语法下的经典 AGL

经典 AGL 又称 Reber 语法, 在发展初期, Reber 语法多用来研究内隐学习和字符顺序学习, 学界普遍认可的三要素是语法规则、指导语和程序。语法规则是指在人工语法当中对要学习的语言材料进行组织的一套有限的规则。指导语是指在进行实验之前对被试提出的一些指导或要求, 即要求被试做些什么和怎样去做。整个实验操作的具体过程一般是让被试学会在一种具体的微型人工语法中提取抽象的结构规则。在有限状态语法下的微型人工语法学习实验中, 被试先要学习利用有限状态语法构建出的一系列字符串, 然后再根据他们在学习过程中习得的规则, 判断新接触到的字符串中的语法是否符合先前内隐习得的语法规则。即, 向被试呈现学习材料 → 阅读指导语 → 进行学习 → 进行测验(语法判断) → 自我评估测试的流程^[4,5]。被试如果能准确区分语法和非语法字符串, 那么可以说这是在诱导学习中成功产出了这一新语法规则的有力证据。

早期的经典 AGL 多为有限状态语法下简单的序列或字母顺序的学习, 这里的“有限状态”指的是状态转移图中的状态(节点)数量是有限的。当我们处于一个句子的生成过程中, 从开始状态(节点)起, 说出句子的第一个词; 接着就转入第 2 个状态(节点), 这一状态(节点)限制了第 2 个词的选择, 等等。所经过的每一个状态(节点)都代表了若干语法上的限制条件, 这些条件在整个话语的每一个状态(节点)上都限制了下一个词的选择。也就是说, 为了正确地结束这个句子(即到达终端节点), 所需要知道的唯一的信息就是当前状态(节点), 而无需了解已经生成的那部分句子的其他任何情况^[6]。Reber 根据有限状态语法, 利用 5 个字母: P, T, V, S, X 生成了一系列长度为 3 至 8 个字母的字符串。在学习阶段中向被试呈现这一系列字符串, 被试在指导语的要求下学习并记住这些字符串。在实验的检测阶段中, 告知被试存在着一种限定这 5 个字母顺序的规则, 被试需要判断新接触到的字符串是否符合这种规则。如果被试在学习中或实验中关于新字符串的正确判断高于一般情况下的随机水平, 那么就可说他们在短期的微型 AGL 学习或培训后已经在无意识的情况下学习到了一定的人工语法规则。

其后的研究者们^[4,7,8] 根据各自研究目的和需要在不改变基本环路的情况下又增加了一些字母或路径, 使其可以产生更多、更复杂的字符串, 丰富了实验的学习材料, 同时也增加了实验数据的说服力; 也有研究或将字母改为图片^[9,10]、几何小图标^[11,12]、增加背景颜色^[13] 等来进行排列顺序的简单变化, 被试可以从中习得一些变化规则, 然后根据习得的规则对后期接触到的新材料进行正误判断。

尽管发展初期的典型 AGL 的确存在许多问题, 诸如实验所用字符串分布不均、测验字符串与学习字符串不对应、各线路学习字符串样例未能完整表达规则等^[14], 但已有研究者发现微型 AGL 非常适合于考察习得知识的表征形式和意识加工程度^[15]。很多研究还涉及到了内隐学习、外显学习; 有意识知识、无意识知识和陈述性记忆、程序性记忆等各种知识层面^[16~21], 这些都为后来微型 AGL 在语言学习研究领域中的发展完善以及语言学习的相关知识问题研究作出了极大的贡献。

表1 4种微型AGL分类
Table 1 Four types of the micro AGL

Items	Types			
	AGL of classic under finite state grammar	AGL without semantics of finite state grammar	AGL with controllable semantics of non-finite state grammar	AGL of “mini” natural language
Features	Generate sentences according to the nodes and paths on the state transition graph.		Generate sentences according to certain grammatical rules in natural language.	
Methods	The finite state grammar is used to construct a string for the participants to learn, and then judge if the new string conforms to the grammar rules previously learned implicitly.	Giving the artificial words some picture content or matching related scenes, and then use the artificial words to generate sentences according to the loop rules of finite-state grammar.	Using some word order (SVO, SOV, etc.) and morphological change (internal inflectional form and suffix) in natural languages, rules similar to natural language are formulated.	To study language learning by shaping natural language into artificial or semi-artificial micro language to construct a subset of natural language.
Goals	It is possible to study the pure grammar by eliminating the semantic factors in a language.		To capture the process of new grammar acquisition from other aspects of language learning and controlling.	
Process	The participants learn a series of strings, and then, based on the rules they learned, determine whether the rules involved in the new string conform to the rules they previously learned implicitly.	The participants were asked to identify some artificial words and combinations through the picture learning tasks, and then extract the abstract grammar rules learned in the picture word tasks.	The participants learn new sentences made up of artificial words in a meaningful context, and then they were asked to make grammatical judgments after reached a certain level of proficiency.	The participants were asked to learn a small number of words or sentences in a natural language and to observe how they responded to the rules of grammar after a short period of training.
Merits	Simple sequences are easy to learn and are suitable for studying the representation and degree of consciousness processing of acquired knowledge.	Without the interference of semantics, phonetics or pragmatics, the amount of previous language contact difference is excluded.	The introduction of word meaning promotes the learning of long-distance dependence between words on grammatical string.	The recursion performance based on the rules of natural language can make the newly learned rules produce the infinite sentences.
Demerits	There is no uniform stipulation on each characteristic index, the selection of symbol sequence is also random, and the nature of knowledge acquired in learning is controversial.	It can only be described as the transfer probability of adjacent elements between sequences. The words cannot have meaning or be used for generating coherent discourse.	The degree of dependence between artificial words is far less than that of natural language, their lexical meaning is obvious, but syntactic meaning is imperfect.	The amount of target language contact used in the experiment cannot be completely guaranteed, which affects the experimental results to some extent.

2.2 有限状态语法下无语义型AGL

Reber经典AGL中只包含简单的字母序列、图片、几何小图标或颜色等的变化，对于探究内隐学习的问题有很大的说服力，但自然语言有其特有的词汇语音系统，仅仅是有关序列问题的学习材料并

不能满足语言学习研究的展开, 所以到了 21 世纪初, 研究者为了更好地在微型 AGL 下探究语言学习的相关问题, 便开始突破传统的字母序列的方式, 设计出了更加有利于语言学习研究的无语义型 AGL. 它采用更接近自然语言造词法的一些规则和方式来造一些假词、短语, 赋予假词一些新的图片内容或为其匹配相关的意义场景, 再根据有限状态语法的环路规则, 从某一起始点(在无语义型 AGL 中一般是某个假词)开始, 沿着其中的某一条路径从一个节点移动到下一个节点, 并在此过程中记录下所经过节点的名称, 并把这些节点的名称记录下来, 那么所记录下来的这些节点就是这种语言的一个句子^[6]. 随后再让被试学习这些句子, 达到高熟练水平以后, 再进行语法判断任务. 不像前文提到的字母符号序列类 AGL, 这种 AGL 中由假词组成的新句子可以在一个有意义的语境中出现, 也可供被试阅读和理解^[22], 更有利于语言学习研究的展开.

应用较早较广泛的是 Friederici 等^[23] 在其实验范式中使用的一种有限的非递归语言 BROCANO, 也是根据 Reber 在 1967 年使用的有限状态语法规则来组合排列 14 个有限的、被试所知道的语言(德语)中的非单词. 前期的训练阶段中, 被试会在明确的指导和提示下, 通过玩一款电脑桌面游戏来习得 BROCANO 中潜在的语法规则; 游戏中进行词语和规则分类任务时, 被试也会收到相应的绩效反馈^[24]. 在后期的测试阶段, 被试判断 BROCANO 违反句时, 出现了类似于加工自然语言的双相 ERP 模式. 由于 AGL 范式可以直接调控目的语和母语之间的关系, 所以 Friederici 等在 BROCANO 中设置了两种不同类型的限定词: 一个限定词(aaf)后面直接接名词, 例如, aaf pplox (plox-piece); 另一个限定词(aak)和名词之间需要加入一个形容词, 例如, aak fune plox (the round plox-piece). aaf 或 aak 的微妙互换导致了 BROCANO 的违反, 而这些语法规则是被试母语德语中不存在的, 是被试新掌握的语法规则, 所以排除了被试从母语德语转移语法规则的可能性. Friederici 等最终利用此范式成功得出了挑战“关键时期”假说的有力证据, 表明了如果是在小规模的语法系统中, 成人第二语言学习者也可以和母语者一样拥有非常相似的实时句法加工模式.

Carpenter^[25] 在其博士论文中也使用了 BROCANO, 其研究结果表明, 学习者可以依赖于不同的认知能力和多样的教学条件达到与第二语言学习者相当的熟练水平. Opitz 等^[26] 利用 BROCANO 探讨了基于规则的或基于相似性的语言学习问题. Kepinska 等^[27~30] 通过一系列的研究, 使用 BROCANO 探讨了新语法学习过程中大脑神经区域的相应活动和变化. 类似的调控语义型 AGL 的研究还有 Tabullo 等^[31] 设计的一种带有 17 个假词的有限状态人工语法, 假词的拼读规则(元音-辅音-元音-辅音)符合被试母语西班牙语的规则, 但并不存在于被试的母语中, 这样设置语音可以不妨碍被试学习句法规则. Tabullo 等^[32] 的研究比较了被试在加工人工语法和母语(西班牙语)时神经系统的相关性, 二者都出现了 N400 和 P600 效应, 再一次证明了被试在加工自然语言和人工语法时至少部分共享了大脑的神经机制. 这对语言学习研究具有很重要的启示意义. 在语言学习研究中, 如何诱导语言学习者高效快速习得一门新语言的规则一直是学界关注的重点和难点问题, 利用微型 AGL, 可以让学习者在短时间内达到一个高熟练度的水平, 那么通过观察学习者在习得过程中的大脑神经机制变化, 就可以为真正习得一门自然语言作出有力的参考.

2.3 非有限状态语法下调控语义型 AGL

以上的实验证明在加工有限状态语法下的微型人工语法中的确出现了类似于加工自然语法的大脑神经活动模式, 但是有限状态语法的结构特征只能被描述为相邻元素在序列之间的传递概率, 单个的假词并无意义, 被试无法产出相应的连贯话语. 袁毓林^[6] 也明确提出了自然语言不是有限状态语言. 所以有限状态下的语言研究具有一定的局限性. 而脱离有限状态语法的那些语法规则, 可以产生和自然语言相似的形式结构, 有利于和大脑在加工自然语言时涉及的不同神经机制相比较^[33, 34].

本文的非有限状态语法是相对于有限状态语法而言的,是指脱离了 Reber 简单语法规则的,AGL 设计中为了某个实验目的需要而使用的一些语法规则。这种 AGL 语法规则不是根据状态转移图上那些节点、路径来生成句子,而是根据自然语言中存在的一些语序 (SVO, SOV 等) 或形态变化 (词语的内部屈折形式、后缀) 等来制定和自然语言类似的微型 AGL 的语法规则。被试可在实验之前的图片任务或指定场景下学习与这些人造词相匹配的内容意义,在此基础上内隐习得其中的语法规则后,便可以顺利产出符合这种微型 AGL 的新句子,这样人工语言研究与自然语言研究就具有了更强的可比较性。

Morgan-Short 等^[35~38]也模仿 BROCANTO 发展使用了与之类似但不再局限于使用有限状态(节点)语法的人工语言 BROCANTO2,并进行了一系列的实验,讨论了陈述性记忆与程序性记忆和内隐学习与外显学习之间关系的问题。这一系列关于语言学习的研究证明了在 ERP 和 fMRI 研究中,被试在加工 BROCANTO2 时产生了和自然语言相似的大脑活动特征。这表明当前关于 AGL 研究的结果可以推广到自然语言的学习(参见文献 [36])。

Hultén 等^[39] 使用简单的主动句来描述施事和受事之间的非相邻依赖关系,利用 20 个假词组成的、和被试母语芬兰语具有一致语序的简单 SVO 型人工语言 Anigram。在这种人工语言中,句子的主语具有阴�性,宾语也必须和前一位置的主语具有一致的性别后缀标记,前文提到有限状态语法规则不需要考虑之前已经生成的那部分句子的任何情况,只需知道所在的句子当前的状态信息,但是在 Anigram 中,需要考虑句子前一主语的阴�性,进而确定当前宾语位置的词语性别,产生与之相应的词形变化。从这个意义上来说,当前 AGL 也是不符合有限状态语法规则的,所以我们就将其划出有限状态,归之为非有限状态语法规则。在 Hultén 等^[39]的实验中,被试要和老师在 4 天的学习阶段中一起完成 3 个任务:(1) 老师明确地将 3 种语法规则和每种规则对应的 30 个例句教给被试,每人每天学习规则的顺序都各不相同。(2) 90 个 Anigram 句子在训练中随机呈现。老师朗读图片下显示出的正确句,被试按照自己的节奏跟读。(3) 每次训练课程结束时对所学内容进行评价。被试要在看到图片(之前没有学习过)时,说出一个完整的句子、词语顺序(两个动物的名字)和一个动词。测试阶段, Hultén 等分别考察了微型人工语言 Anigram 和被试的母语芬兰语,被试不仅可以根据图片按顺序产出承担施事受事角色的名词,还可以产出有意义的简单句。实验结果表明,加工新学习的人工语言语法与加工芬兰语使用了相同的大脑神经资源。

类似的微型 AGL 研究还有 Kersten 等^[40],依据 6 个人造词,使用 SVO 和 SOV 两种语序的句子,且相邻词语之间的词形在 3 个不同的实验当中都会根据相应的属性发生变化。通过对比分析, Kersten 等论证了语言学习中争论已久的“少即是多”这一观点的问题。基于前人的研究, Qi 等^[41]又利用另一种微型人工语言 MAL (the miniature artificial language) 来考察成人语言学习中的问题。MAL 包括 38 个人造词(4 个及物动词、32 个名词和 2 个动词后缀),被试在经过 3 天的新语言训练后进行 ERP 实验,结果表明成人的母语能力与学习一门新语言的成效密切相关,母语中的 N400 和 P600 成分能够对我们即将学习的新语法(语义和句法)有一个很好的“准备和预测”作用,这一成果为研究者提供了一种新的视角来考察成人学习者在语言学习中的个体差异问题。

2.4 “迷你”自然语言型 AGL

经典 AGL、无语义型 AGL 和调控语义(图词匹配)型 AGL 都是根据一些规则衍生出的序列符号或人造词的 AGL,和自然语言还存在一定的距离。“迷你”自然语言型 AGL 的研究着眼于在人类使用的某种自然语言的基础上将自然语言剥枝去叶的变成人工或半人工微型语言,以构建一个真实语言的子集,来研究第二语言的学习。和前面的 AGL 相比,这种范式直接取材于现实生活中的语言,截取

其中一组受到人为限制的词语、语音或语法规则让被试进行学习, 目标是既能让被试在短时间内快速习得, 又能创建出一个更接近自然语言环境的有效实验设计.

Mueller 等^[34]训练了一批毫无日语学习背景的德语母语被试, 要求每人花 4 至 8 小时的时间学习一个“迷你”版本的日语 (Mini-Nihongo) 并达到高熟练水平. Mueller 等选取日语为学习材料是因为日语和印欧语系的语言类型学距离以及日语相对有限的语音系统. Mini-Nihongo 是从日语中选取四个名词, 四个动词, 两个数词, 两个数词分类词, 一个形容词, 一个副词和三个标记后置词再根据日语的语法规则组成 SOV 语序的句子, 被试在掌握这门“迷你”日语以后, 研究者考察了 3 种类型的违反 (词类违反, 格违反和成分违反). 但是 (语言学习) 训练组只出现了 N600 效应, 并没有表现出和控制组完全一致的 N400 – P600 双相 ERP 模式. 这个实验给了 Mueller 等^[42]一些启发, 之后的训练中他们开始剔除 Mini-Nihongo 中语义对被试的影响, 给被试呈现大量听觉刺激的材料, 只让被试习得有关 Mini-Nihongo 的结构和顺序问题, 最后得出结论: 语言学习中删除语义负载可以为加工句法腾出资源.

Bastarrika 等^[43]采用脑磁图法 (MEG) 研究了成年西班牙母语者经过短时间的“迷你”巴斯克语 (Mini-Basque) 语法片段训练后如何对形态违反作出反应. 实验考察了被试在学习“迷你”巴斯克语的 3 个阶段中大脑神经的历时变化: 在训练前的测试中, 没有发现违反材料和控制材料之间大脑神经电生理差异. 第一阶段学习训练之后的测试中, 被试已经可以判断出正确组和违反组的刺激材料, 并且在处理违反材料时出现了一些大脑加工的反应, 但此时与被试母语的加工反应相比, 新语言学习的加工效应较小, 且存在着较大的差异. 在第二、三训练阶段之后, 大脑加工模式逐渐达到了和母语相似的水平. 研究结果表明成人学习者在一个简单的形态句法规则学习系统中, 可以观察到神经元反应的快速变化; 至少可以在语言学习的小片段中实现类母语一样的反应, 这和前人的研究^[34, 42, 44~47]一致.

3 微型 AGL 的意义

脑成像和电生理学的研究表明, 非母语语言的句法加工通常是由非母语的大脑活动模式所反映的^[48~50]. 只有当被试达到高水平的熟练程度时, 才能观察到母语和非母语大脑反应的融合^[51], 但是自然语言的学习是一个漫长的过程, 成人新语言学习更是很难进行多年的跟踪考察, 要使被试在短时间内能达到一门新语言的高熟练度, 学习这样一种高度可控的微型人工语言便有其特有的优势. 在语言学习研究当中, 影响语言学习者很难达到与母语者相同语言水平的因素有很多, 诸如母语的干扰、目标语言的影响、第二语言的接触和使用, 以及习得年龄等. 要很好地考察这些因素的影响, 微型 AGL 的使用具有其独特的优势和意义, 主要表现在以下 3 个方面.

(1) 可控性强. 即被试学习环境的高度可控性. 微型 AGL 对语法习得背后的神经体系结构的研究往往采用高度可控的范式, 在严格控制先前语言学习环境的前提下, 也克服了在自然语言处理中, 语义、语音和句法在人类大脑的空间和时间上都是紧密相连的困难. 采用对语言学习的孤立方面进行建模的方式, 可以在没有语义、语音或语用环境干扰的情况下, 观察被试在习得和加工这门语法的过程中大脑神经机制的实时变化过程^[52, 53]. 因此, 在语法的神经生物学上, AGL 已经被用来创建一个相对没有被污染的窗口, 用于考察某一特定的语法规则, 使不同类型和规模的词语、句法或韵律等语言学特征可以在一个高度可控的环境下进行更加具体清楚的呈现和研究.

(2) 时效性好. 即被试学习语言的快速时效性. 微型 AGL 一般由少量的字母、符号序列、假词、人造词或者自然语言中的一小部分词加上少量的规则组合而成, 并没有自然语言那样十分复杂或者庞大的词汇、语音、语法系统, 且由于可控性强的原因, 可以设定目标语言和被试母语具有相同的语音结构或词语形式结构等, 这就大大减少了被试的学习任务. 如果被试不需要掌握太多不必要的语言成分

(例如, 加工某个语法规则时用不到的单词形式、语义、语音或者不相关的语法规则等), 那么被试就可以在短时间内快速习得这门新语言的语法规则, 并达到高熟练掌握这门语言规则的目的, 不用和自然语言一样花费太多的时间和精力就能快速高效地考察学习者在短时间内达到较高学习水平的历时变化过程.

(3) 调节性高. 即可以很好地调节 L2 与 L1 之间的相似度和异同点. 成人新语言学习很难达到和母语者相同的水平, 其中一个很重要的问题就是要排除是否受其母语的影响, 微型 AGL 可以很好调节 L2 (实验目的语) 和 L1 之间的异同. 例如 Tabullo 等^[31,32] 考察句法加工的效应, 可以使微型 AGL 的语音规则和母语相似, 这样可以不妨碍句法的加工和处理, 减少被试的学习负担. Friederici 等^[23] 考察被试在实验中所加工的语法规则是新习得的, 还是从其母语中转移而来的, 通过设置被试母语德语中不存在的两类限定词产生违反句, 高度控制了新学习的语言和母语之间的相似程度, 设计出一种语法规则既不存在于母语中, 也不存在于被试所知道的其他任何语言之中, 就排除了被试从母语中转移语法规则的可能性, 进而得出加工的语法规则是新习得语言中的结论. 微型 AGL 可以根据被试母语创制出一套相应的语音或语法系统来应对或者规避被试母语和其所知道的任何其他语言, 以达到有效考察新习得语法规则的目的.

4 结语

本文从语言学习视角出发, 对微型 AGL 4 种类型的实证研究进行了一些探讨, 微型 AGL 各类型都有其不同的研究目的和方法, 也都有不同的数据基础, 所以无法清楚明白地断定孰优孰劣. 但是经过半个世纪的发展演变, 微型 AGL 也开始日趋完善并具有不可替代的优势, 这种学习范式不仅具有高度的可控性、快速的时效性, 而且还可以很好地调节 L2 与 L1 之间相似度和异同点. 未来研究的一个主要任务就是确定同一个人在自然语言学习中各阶段的大脑神经机制的变化是否可以直接与其连续的各熟练阶段相联系, 采用微型 AGL 有助于进一步研究这些问题, 为语言学习研究领域作出更大的贡献.

参考文献

- 1 Reber A S. Implicit learning of artificial grammars. *J Verbal Learn Verbal Behav*, 1967, 6: 855–863
- 2 Christiansen M H, Conway C M, Onnis L. Similar neural correlates for language and sequential learning: evidence from event-related brain potentials. *Language Cognitive Processes*, 2012, 27: 231–256
- 3 Kepinska O, de Rover M, Caspers J, et al. Connectivity of the hippocampus and Broca's area during acquisition of a novel grammar. *Neuroimage*, 2018, 165: 1–10
- 4 Mathews R C, Buss R R, Stanley W B, et al. Role of implicit and explicit processes in learning from examples: a synergistic effect. *J Exp Psychol-Learn Memory Cogn*, 1989, 15: 1083–1100
- 5 Mathews R C. The forgetting algorithm: how fragmentary knowledge of exemplars can abstract knowledge. *J Exp Psychology-General*, 1991, 120: 117–119
- 6 Yuan Y L. The limitations of the statistically-based NLP models. *Appl Linguist*, 2004, 2: 99–108 [袁毓林. 基于统计的语言处理模型的局限性. 语言文字应用, 2004, 2: 99–108]
- 7 Brooks L R, Vokey J R. Abstract analogies and abstracted grammars: comments on Reber (1989) and Mathews et al. (1989). *J Exp Psychol Gen*, 1991, 120: 316–323
- 8 Samara A, Caravolas M. Artificial grammar learning in dyslexic and nondyslexic adults: implications for orthographic learning. *Sci Study Read*, 2017, 21: 1–22
- 9 Rosas R, Ceric F, Tenorio M, et al. ADHD children outperform normal children in an artificial grammar implicit learning task: ERP and RT evidence. *Consciousness Cogn*, 2010, 19: 341–351

- 10 Zimmerer V C, Cowell P E, Varley R A. Artificial grammar learning in individuals with severe aphasia. *Neuropsychologia*, 2014, 53: 25–38
- 11 Christiansen M H, Louise K M, Shillcock R C, et al. Impaired artificial grammar learning in agrammatism. *Cognition*, 2010, 116: 382–393
- 12 van Witteloostuijn M, Boersma P, Wijnen F, et al. Visual artificial grammar learning in dyslexia: a meta-analysis. *Res Dev Disabilities*, 2017, 70: 126–137
- 13 Norman E, Scott R B, Price M C, et al. The relationship between strategic control and conscious structural knowledge in artificial grammar learning. *Consciousness Cogn*, 2016, 42: 229–236
- 14 Shao Z F, Lu Z. Rethinking the study of implicit learning of artificial grammar style. *J East China Normal Univ (Educ Sci)*, 2004, 22: 47–52 [邵志芳, 陆峥. 重新审视内隐学习人工语法范型. 华东师范大学学报(教育科学版), 2004, 22: 47–52]
- 15 Zhang R L. Research on graded consciousness in undergraduates' learning of artificial grammar. Dissertation for Ph.D. Degree. Suzhou: Soochow University, 2013 [张润来. 大学生人工语法学习中的渐进意识研究. 博士学位论文. 苏州: 苏州大学, 2013]
- 16 Lian S F. A research on implicit and explicit processes in learning artificial grammar. *Psychol Sci*, 1990, 3: 19–24 [连淑芳. 在人工语法学习中外显与内隐过程的研究. 心理科学, 1990, 3: 19–24]
- 17 Guo X Y, Yang Z L. The key technique of implicit learning research—artificial grammar paradigm. *Chin J Appl Psychol*, 2001, 3: 45–50 [郭秀艳, 杨治良. 内隐学习研究的核心方法——人工语法范式. 应用心理学, 2001, 3: 45–50]
- 18 Pan L, Yan G L. The brain mechanism of implicit learning by artificial grammar paradigm and its implications for education. *Studies Psychol Behav*, 2008, 2: 150–154 [潘玲, 闫国利. 人工语法范式下内隐学习的脑机制及其教育启示. 心理与行为研究, 2008, 2: 150–154]
- 19 Berry D C, Broadbent D E. Explanation and verbalization in a computer-assisted search task. *Q J Exp Psychol Sect A*, 1987, 39: 585–609
- 20 Berry D C, Broadbent D E. Interactive tasks and the implicit-explicit distinction. *British J Psychol*, 1988, 79: 251–272
- 21 Shanks D R, Johnstone T. Evaluating the relationship between explicit and implicit knowledge in a sequential reaction time task. *J Exp Psychol-Learn Memory Cogn*, 1999, 25: 1435–1451
- 22 Morgan-Short K, Deng Z Z, Brill-Schuetz K A, et al. A view of the neural representation of second language syntax through artificial language learning under implicit contexts of exposure. *Stud Second Lang Acquis*, 2015, 37: 383–419
- 23 Friederici A D, Steinhauer K, Pfeifer E. From the cover: brain signatures of artificial language processing: evidence challenging the critical period hypothesis. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2002, 99: 529–534
- 24 Silva S, Folia V, Hagoort P, et al. The P600 in implicit artificial grammar learning. *Cogn Sci*, 2016, 41: 137–157
- 25 Carpenter H S. A behavioral and electrophysiological investigation of different aptitudes for L2 grammar in learners equated for proficiency level. Dissertation for Ph.D. Degree. Washington: Georgetown University, 2008
- 26 Opitz B, Hofmann J. Concurrence of rule- and similarity-based mechanisms in artificial grammar learning. *Cogn Psychol*, 2015, 77: 77–99
- 27 Jamieson R K, Nevzorova U, Lee G, et al. Information theory and artificial grammar learning: inferring grammaticality from redundancy. *Psychological Res*, 2016, 80: 195–211
- 28 Kepinska O, de Rover M, Caspers J, et al. Whole-brain functional connectivity during acquisition of novel grammar: Distinct functional networks depend on language learning abilities. *Behavioural Brain Res*, 2017, 320: 333–346
- 29 Kepinska O, Pereda E, Caspers J, et al. Neural oscillatory mechanisms during novel grammar learning underlying language analytical abilities. *Brain Language*, 2017, 175: 99–110
- 30 Kepinska O, de Rover M, Caspers J, et al. Connectivity of the hippocampus and Broca's area during acquisition of a novel grammar. *Neuro Image*, 2018, 165: 1–10
- 31 Tabullo A, Sevilla Y, Pasqualetti G, et al. Expectancy modulates a late positive ERP in an artificial grammar task. *Brain Res*, 2011, 1373: 131–143
- 32 Tabullo A, Sevilla Y, Segura E, et al. An ERP study of structural anomalies in native and semantic free artificial grammar: evidence for shared processing mechanisms. *Brain Res*, 2013, 1527: 149–160
- 33 Friederici A D. Processing local transitions versus long-distance syntactic hierarchies. *Trends Cogn Sci*, 2004, 8: 245–247
- 34 Mueller J L, Hahne A, Fujii Y, et al. Native and nonnative speakers' processing of a miniature version of Japanese as

- revealed by ERPs. *J Cogn Neurosci*, 2005, 17: 1229–1244
- 35 Morgan-Short K. A neurolinguistic investigation of late-learned second language knowledge: the effects of explicit and implicit conditions. *Int Linguist Commu*, 2008, 68: 3829
- 36 Morgan-Short K, Finger I, Grey S, et al. Second language processing shows increased native-like neural responses after months of no exposure. *Plos One*, 2012, 7: 1–8
- 37 Morgan-Short K, Sanz C, Steinhauer K, et al. Second language acquisition of gender agreement in explicit and implicit training conditions: an event-related potential study. *Lang Learn*, 2010, 60: 154–193
- 38 Morgan-Short K, Steinhauer K, Sanz C, et al. Explicit and implicit second language training differentially affect the achievement of native-like brain activation patterns. *J Cogn Neurosci*, 2012, 24: 933–947
- 39 Hultén A, Karvonen L, Laine M, et al. Producing speech with a newly learned morphosyntax and vocabulary: an magnetoencephalography study. *J Cogn Neurosci*, 2014, 26: 1721–1735
- 40 Kersten A W, Earles J L. Less really is more for adults learning a miniature artificial language. *J Memory Lang*, 2001, 44: 250–273
- 41 Qi Z, Beach S D, Finn A S, et al. Native-language N400 and P600 predict dissociable language-learning abilities in adults. *Neuropsychologia*, 2016, 98: 177–191
- 42 Mueller J L, Girgsdies S, Friederici A D. The impact of semantic-free second-language training on ERPs during case processing. *NeuroSci Lett*, 2008, 443: 77–81
- 43 Bastarrika A, Davidson D J. An event related field study of rapid grammatical plasticity in adult second-language learners. *Front Hum Neurosci*, 2017, 11: 12
- 44 Mueller J L, Hirotani M, Friederici A D. ERP evidence for different strategies in the processing of case markers in native speakers and non-native learners. *BMC Neurosci*, 2007, 8: 18
- 45 Davidson D J, Indefrey P. An event-related potential study on changes of violation and error responses during morphosyntactic learning. *J Cogn Neurosci*, 2009, 21: 433–446
- 46 Davidson D J, Indefrey P. Plasticity of grammatical recursion in German learners of Dutch. *Lang Cogn Processes*, 2009, 24: 1335–1369
- 47 Davidson D J, Indefrey P. Error-related activity and correlates of grammatical plasticity. *Front Psychol*, 2011, 2: 219
- 48 Weber-Fox C M, Neville H J. Maturational constraints on functional specializations for language processing: ERP and behavioral evidence in bilingual speakers. *J Cogn Neurosci*, 1996, 8: 231–256
- 49 Hahne A. What's different in second-language processing? evidence from event-related brain potentials. *J Psycholinguistic Res*, 2001, 30: 251–266
- 50 Wartenburger I, Heekeren H R, Abutalebi J, et al. Early setting of grammatical processing in the bilingual brain. *Neuron*, 2003, 37: 159–170
- 51 Rossi S, Gugler M F, Friederici A D, et al. The impact of proficiency on syntactic second-language processing of German and Italian: evidence from event-related potentials. *J Cogn Neurosci*, 2006, 18: 2030–2048
- 52 Petersson K M, Folia V, Hagoort P. What artificial grammar learning reveals about the neurobiology of syntax. *Brain Lang*, 2012, 120: 83–95
- 53 Petersson K M, Hagoort P. The neurobiology of syntax: beyond string sets. *Philos Trans R Soc B-Biol Sci*, 2012, 367: 1971–1983

An empirical review of language learning based on the micro-artificial grammar-learning paradigm

Libo GENG^{1,2}, Li YANG^{1,2} & Yiming YANG^{1,2*}

1. School of Linguistic And Art, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221009, China;
2. Collaborative Innovation Center for Language Ability, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221009, China
* Corresponding author. E-mail: yangym@jsnu.edu.cn

Abstract Since the American psychologist Reber designed and used the micro-miniature artificial grammar-learning paradigm for the first time in 1967, it has already had a history of half a century. This paper mainly discusses micro-artificial grammar development of four types (classic micro-artificial grammar learning of finite state grammar; micro-artificial grammar learning of finite state grammar without semantics; micro-artificial grammar learning of non-finite state grammar with adjustable semantics; and micro-artificial grammar learning of “mini” natural language) and their further significance in the field of language learning.

Keywords language learning, AGL, artificial languages, second language, implicit learning



Libo GENG was born in Lianyungang, Jiangsu province. He is a visiting scholar at Leiden University. He received a Ph.D. degree from Nanjing Normal University, Nanjing, China. He is in charge of the National Social Science Youth Fund Project, the Ministry of Education's Youth Fund for Humanities and Social Science Project, and participates in National Social Science Major Projects, National Basic Research Program of China, etc. His research interests include neurolinguistics and second language acquisition.



Li YANG was born in Sichuan province. She is a postgraduate student at Jiangsu Normal University. Her majors are in linguistics and applied linguistics, while her study interests include second language acquisition and artificial grammar learning.



Yiming YANG is a special professor of “Yangtze scholars” under the Ministry of Education, a dean of the School of Linguistic and Art of Jiangsu Normal University, a director of the key laboratory of Nanjing University, Zhejiang University, and an adjunct professor of Nanjing Normal University. He is an editor of many academic journals, including Linguistic Sciences and Journal of Neurolinguistics. His main research areas are neurolinguistics, theoretical linguistics, and engineering linguistics.