

# 基于学习进阶理论探讨“同分异构体”教学序列的跨学段设计

林建芬<sup>1</sup>, 陈允任<sup>2</sup>

(1. 华南师范大学化学与环境学院, 广东广州 510006; 2. 广东广雅中学, 广东广州 510160)

**摘要:** 分析高中有机化学中同分异构体的知识要求、学生的认知特点及学习困难, 综述关于同分异构体教学的已有研究。从教科书中教学内容的安排顺序、同分异构体书写过程的复杂性、学生所需的基础知识与基本技能、高考的命题情况及考试要求 4 个方面探讨学生同分异构体书写技能的影响因素。基于学习进阶理论, 从高一化学 2、高二选修 5 和高考总复习三个学习阶段进行教学序列的跨学段设计, 梳理学生同分异构体书写技能的进阶发展, 并提出针对不同学段的 5 层次预期水平, 以期对相关教学实践及学术研究提供建议。

**关键词:** 同分异构体; 有机化学; 学习进阶理论; 学习预期水平; 教学序列设计

**文章编号:** 1005-6629(2014)12-0038-04

**中图分类号:** G633.8

**文献标识码:** B

## 1 问题的提出

### 1.1 学生同分异构体概念学习中的问题和困难

同分异构体是高中有机化学课程的核心概念之一, 在中学化学学科 100 个关键词中因其重要程度排在第 44 位<sup>[1]</sup>。而同分异构现象是导致有机物种类繁多、性质各异的主要原因, 对学生认识有机物性质与结构的联系及有机反应原理均有重要的指导作用, 其特点是类型多样且概念抽象、原理复杂且思维发散。同分异构体的书写技能, 是根据有机物分子的元素守恒或原子守恒, 在特定的限制条件下, 通过一定的书写顺序和分析、推理、验证等高阶思维活动, 确定有机分子的碳链骨架、官能团类别及其空间结构, 从而确定各种基团存在的数量关系或相对位置关系的过程。在同分异构

体的学习历程中, 学生会形成许多迷思概念<sup>[2-3]</sup>, 在书写有限条件的酯类、芳香烃及其衍生物(尤其是苯环上含多个取代基)的同分异构体时存在不同程度的困难。随着年级的升高, 学生面临的同分异构体书写任务越来越复杂, 会因缺乏对有机物空间结构的有效认识及对同分异构现象产生原因的深入了解, 而缺少有序、系统的思考依据和分析思路, 不知道该如何寻找突破点。

综上所述, 学生在同分异构体学习中主要遇到两方面的困难: 一是在有机物的空间结构、同分异构产生的原因上存在较多的错误概念; 二是分析和书写同分异构体时缺乏认识角度与合理思路, 有序性、综合性和系统性思维较差。而学生主要通过必修 2、选修 5 和高

本节课中每一个情境片段都对应着一次小组合作学习, 这样的安排似有比较分散的感觉, 没有集中开展一次大讨论来得尽兴。这两种教学组织方式各有利弊。分多次讨论的好处是步子小, 能够在前一个问题解决的基础上再开展下一个问题的讨论, 有利于学生的理解和掌握, 但是从某种程度上讲这种方式可能会限制学生的思维, 使学生的思路被教师的思路牵制住, 同时, 在小组的组合和分散中也会耗费一些宝贵的学习时间。集中问题组织一次大讨论能给学生更多的自由度, 更利于开发学生的创造力, 但是这种方式对教师的教学能力和学生的综合素质也提出了更高的要求, 是一种挑战性更强的教学组织方式。如何更好地安排好小组合作学习的学习形式包括小组合作学习的时间比例, 提升小组学习的效果值得进一步探索、思考和实践。

本课由可乐贯穿始终, 不能充分体现生活中平衡的“广泛性”。但在提示反应平衡、溶解平衡、电离平衡、

水解平衡等等都是化学平衡并且教会学生识别和判断方法的基础上, 提出课后思考题“生活中还可以发现哪些化学平衡?”, 要求像分析可乐一样分析生活中存在的其他平衡, 不但可以让学生体验“化学平衡广泛存在”, 弥补上述缺陷, 而且可以促使学生“深学深研”, 巩固和发展教学效果。

### 参考文献:

- [1] 吴俊明, 骆红山. “学案”的意义、基本任务、编制及其他 [J]. 化学教学, 2011, (1): 6-9.
- [2] 吴俊明. 及时升级学案版本让学生学会自主更好地减负增效 [J]. 化学教学, 2012, (2): 36.
- [3] 袁越. 姚明骨折和可口可乐 [J]. 意林, 2008, (9): 30-31.
- [4] 严济良. 从“苯式”循环教学到“三学三课三案”融合 [J]. 化学教学, 2014, (8): 8.

考总复习三个阶段来学习和提升同分异构体书写技能,如何结合高中有机化学课程的实际教学情况,规划学生的同分异构体书写技能的学习进阶,并设计跨阶段教学序列,具有丰富的研究价值,是值得探索的方向。

### 1.2 已有的同分异构体教学实践研究

同分异构体的书写是学生需要培养和提升的基本技能之一,在学生化学学习和认知发展上具有重要的教学功能。由于同分异构体的类型复杂、书写过程的思维容量较大,学生的同分异构体书写技能不能一步到位,高考测评又为学生同分异构体的知识要求和书写技能确定了最终的学习目标。目前,已有较多教师在教学中采取一些方法和措施来帮助学生解决认知困难,文献集中在研究同分异构体的书写策略、专题复习的教学设计、竞赛题目的探讨分析等。许多研究者已经对各种同分异构体的书写技巧进行总结提炼(如基团插入法、等效氢法等),却鲜少关注学生同分异构体书写技能的认知与发展过程。而学习进阶理论<sup>[4]</sup>认为儿童学习过程中,其思维方式是分阶段连续发展的,教师应该高度关注学生的学习路径、学习阶段及相应水平要求。

### 1.3 本研究的任务与目的

基于以上分析,确定本研究的主要任务:(1)分析影响学生同分异构体书写技能的4个因素;(2)梳理学生同分异构体书写技能进阶发展的3个学习阶段;(3)划分学生同分异构体书写技能进阶发展的5层次预期水平;(4)设计跨阶段教学序列并为相关教学实践和学术研究提出建议。

## 2 影响同分异构体书写技能的因素

### 2.1 教科书教学内容的安排顺序

以人教版高中化学教材为例,化学2<sup>[5]</sup>中首次出现同分异构体概念,要求学生掌握“碳链异构”书写技能;选修5<sup>[6]</sup>拓展介绍位置异构、官能团异构及顺反异构等多种同分异构方式,并对学生同分异构体书写技能的进阶发展提出了更高要求。同分异构体还是贯穿中学与大学有机化学的重要概念,如大学教材《有机化学》<sup>[7]</sup>分别从烃、卤代烃、酯类等的同分异构现象进行深入学习。学生的同分异构体书写技能要以化学2中原子的排列方式和成键特点、有机分子的空间结构等知识作为学习载体,并随选修5有机物结构与性质相关学习内容的丰富和深入而逐步形成、巩固和强化,而选修5相关章节出现的内容和顺序影响着学生提升同分异构体书写技能的关键因素,即影响着学生同分异构体书写技能的学习进阶。通过统计,人教版选修5共出现5类同分异构方式(其中碳链、位置、官能团异构集中出现在同一节,顺反、对映异构则分散呈现),相关实例和习题多达40处,从形式特点的角度对书写同分

异构体的实例进行整理,得到表1(其中V只要求了解对映异构的产生原因即可)。

表1 同分异构体书写的形式特点和具体实例

类型	同分异构方式	有机物类别	产生原因	实例
I <sub>1</sub>	碳链异构 (必修2第三章)	烷烃	碳链骨架不同	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> : 正、异、新戊烷
I <sub>2</sub>		烯烃		1-丁烯与2-甲基丙烯
II <sub>1</sub>	位置异构 (选修5第一章)	烯烃、炔烃	相应官能团在碳链中位置不同	1-丁烯与2-丁烯
II <sub>2</sub>		卤代烃		1-溴丙烷与2-溴丙烷
II <sub>3</sub>		醇		1-丙醇与2-丙醇
II <sub>4</sub>		芳香衍生物		多个取代基在苯环上位置不同
III <sub>1</sub>	官能团异构 (选修5第一章)	醇、醚与酚	有机物分子式相同但官能团不一样	乙醇与二甲醚
III <sub>2</sub>		醛与酮		丙醛与丙酮、葡萄糖与果糖
III <sub>3</sub>		羧酸与酯		乙酸乙酯与丁酸
IV	顺反异构 (选修5第二章)	烯烃	每个双键碳原子连接的2个不同原子(团)在空间排布不同	顺-2-丁烯与反-2-丁烯
V	对映异构 (选修5第四章)	手性分子	碳原子所连的4个不同原子(团)在空间排布不一样	D-甘油醛与L-甘油醛

### 2.2 同分异构体书写过程的复杂性

学生需要解决的同分异构体书写任务可归纳为两类:(1)由分子式判断同分异构体数量:在考虑满足价键数的前提下采用排列组合法、立体几何法、分类讨论法等数学方法;(2)有机合成题中在限制条件下书写同分异构体:要求学生明确有机物分子式并运用信息处理能力、有序综合性思维及空间想象能力,按照“官能团异构→碳链异构→位置异构”分析思路确定其特征基团或结构特点,写出结构简式或确定其数目(见表2)。但多数学生因缺乏有序思维而在书写时出现重复或遗漏现象、不能综合考虑限制条件中对有机物核心官能团和结构特点的限定,导致其同分异构体书写技能难以持续提升。

### 2.3 学生所需具备的基础知识与基本技能

学生在学习化学2后基本上能通过等效氢法书写I<sub>1</sub>、II<sub>2</sub>、II<sub>3</sub>这3种同分异构体,学习选修5后应能书写前4大类同分异构体;类型II、III、IV的同分异构体书写过程是在类型I的基础上,学生通过掌握官能团结构与性质的更多知识,来认识和熟悉同分异构体书写的基本思路和分析过程,初步形成基团插入法、烃基分配法等程序化、自动化的思维与学习行为,特别以II<sub>4</sub>、III<sub>2</sub>、III<sub>3</sub>这3种为范例,通过反复的螺旋式学习过程,

表 2 同分异构体书写任务中限制条件的复杂性

类型	常见限制条件	官能团或结构特征 (学生须具备的基础知识)
性质方面的限制	能发生银镜反应或能进一步氧化为羧酸	含醛基(-CHO)
	能与 NaHCO <sub>3</sub> 、Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 反应放出 CO <sub>2</sub>	含羧基(-COOH)
	能发生水解反应	含酯基(-COO-)或卤原子(-X)等
结构方面的限制	能与 FeCl <sub>3</sub> 溶液发生显色反应	含酚羟基(-OH)
	属于芳香醛、甲酸酯等	含苯环和醛基、含酯基(属于甲酸某酯)
	苯环上只有 1 种不同环境的氢原子	2 个相同取代基在苯环对位或 3 个相同取代基在苯环 1、3、5 位
	一氯代物只有 1 种	分子是呈中心对称结构
	二取代苯	苯环上含有 2 个侧链
	核磁共振氢谱图上有 4 个峰	有 4 种等效氢,且个数比等于峰值比

梳理如何由限制条件判断有机物分子的性质和结构特点的思维,初步形成综合判断分析已有信息、推理论证有机物空间结构的基本技能。

#### 2.4 高考的命题情况和考试要求

虽然化学 2 和选修 5 中出现的同分异构体书写任务总体较简单,但是从全国范围来看,许多省份的高考命题却对学生同分异构体书写技能有较高的要求。高考中出现较复杂的限制条件下书写同分异构体的试题,对教师的备考研究和复习教学产生了明显的反拨作用。尽管在选修 5 第三章后到高考总复习阶段前,不再教授具体的同分异构知识,不再对学生进行系统、持续的同分异构体书写训练,学生却要在高考总复习阶段中迅速提升限制条件下同分异构体书写技能,以符合教师预期的水平要求。

### 3 同分异构体书写技能的 3 个学习阶段

#### 3.1 高一“化学 2”模块的学习阶段

结合化学 2 第三章中出现的同分异构体的形式特点和呈现顺序,学生可能有下列学习流程:

(1) 第三章课题 1 第 2 节第 1 课时,通过学习碳原子组合方式和分子空间结构特点,初步理解同分异构现象是导致有机物种类繁多、性质各异的主要原因;

(2) 第三章课题 1 第 2 节第 2 课时,通过书写丁烷、戊烷、己烷同分异构体的任务,初步学会运用对称分析法和最短碳链法判断烷烃由碳链异构形成同分异构体的数目;

(3) 第三章课题 2 的习题中,通过了解乙烷的 2 种二氯代物 1,2-二氯乙烷和 1,1-二氯乙烷,初步认识了官能团位置异构引起的同分异构体现象,以及判断卤代烃的同分异构体数目;

(4) 第三章课题 4 第 1 节,通过学习葡萄糖和果糖的结构与性质,初步了解官能团异构现象。

学生在化学 2 主要经历学习流程(1)和(2),基本掌握碳链异构的书写技能,但在(3)中可能会在“如何由等效氢种类判断卤原子在碳链中可能位置”的思维过程出现无序、片面现象,教师要通过设计典型的进阶习题进行训练,特别关注学生的学习表现和学习水平。

#### 3.2 高二“选修 5”模块的学习阶段

人教版选修 5 共出现 5 类同分异构方式及 40 处相关实例,学生可能经历的学习流程概而言之是“碳链异构→位置异构→官能团异构→顺反异构→对映异构”。学生可能会对官能团异构等的形成原因、分析思路不甚清晰;教师应在学生熟练掌握多种官能团知识的基础上,引导学生对官能团异构的具体形式进行分类(如羧酸与酯、醛与酮等),辅以典型例题巩固训练,梳理分析思路与书写步骤。

#### 3.3 高三化学高考总复习的学习阶段

在高考总复习阶段,学生通过官能团性质、有机物结构推断、有机合成设计、同分异构体书写等专题复习,进一步了解和熟悉限制条件下同分异构体的书写过程,形成“由已有信息判断有机物特征基团或结构特点”的

表 3 基于学习进阶理论划分同分异构体书写技能的 5 层次预期水平

进阶层次	学习阶段	预期水平	相应实例
水平 1	必修 2 第三章	能够由结构式辨析是否互为同分异构体	1. 人教版化学 2 P85 中第三章复习题 5, 判断 CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> 是否有同分异构体 2. 人教版化学 2 P83 中第三章课题 4 的习题 7, 判断葡萄糖与果糖是否互为同分异构体(由 P78 二者结构式进行辨析)
水平 2	必修 2 复习	能够书写简单烷烃或卤代烃同分异构体	1. 分子式为 C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> Cl <sub>2</sub> 的同分异构体共有 4 种(2010 年课标全国卷) 2. 分子式为 C <sub>3</sub> H <sub>7</sub> Cl 的同分异构体共有 8 种(2011 年课标全国卷) 3. 3-甲基戊烷的一氯代产物有 4 种(2009 年宁夏卷)
水平 3	选修 5 前三章	能够由较复杂分子式书写出同分异构体	1. 酯 C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub> 水解生成的醇和酸重新组合可形成 40 种酯(2013 课标 I) 2. 分子式为 C <sub>8</sub> H <sub>9</sub> Br <sub>2</sub> 且苯环上一硝化产物只有一种的共有 7 种(2010 海南) 3. 分子式为 C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O 的同分异构体共有 5 种(2013 大纲全国化学卷)
水平 4	选修 5 复习	能书写多官能团或结构复杂的同分异构体	1. 异丙苯的同分异构体中一溴代物最少的是 1,3,5-三甲苯 (2011 上海卷) 2. 2-吡啶甲酸正丁酯的同分异构体中,吡啶环上只有一个氢原子被取代的吡啶甲酸酯类同分异构体有 12 种 (2009 广东卷)
水平 5	高考总复习	能书写出有多个限制条件的同分异构体	1. CH <sub>2</sub> =C(CH <sub>3</sub> )COOCH <sub>3</sub> 的同分异构体中,不含甲基的一种羧酸是 CH <sub>2</sub> =CH(CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> COOH (2011 年福建卷) 2. CH <sub>3</sub> COOCH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub> 的一种无支链、碳链两端对称、在 Cu 催化下与过量 O <sub>2</sub> 反应生成能发生银镜反应的同分异构体是 HO-CH <sub>2</sub> -CH=CH-CH <sub>2</sub> -OH (2013 年广东卷)

思维过程,并通过典型高考真题训练以提升同分异构体书写技能。

#### 4 同分异构体书写技能进阶学习的5层次预期水平

当学生能有序、全面地书写出符合要求的同分异构体结构简式或数量,即表明学生具有某一水平的同分异构体书写技能。在不同学习阶段,学生会接触到不同复杂程度的同分异构体书写任务,其技能具有不同层次的学习目标,即具有不同的预期学习水平。结合同分异构体书写任务的复杂程度,基于学习进阶理论,提出5层次预期水平方案(见表3),并针对每一种预期水平列举出可供参照的实例。

如表3所示,水平1是最低的能力水平,学生在初步认识同分异构体现象后应该达到这一水平;水平2是稍高的能力水平,学生在完成化学2模块学习后应该达到这一水平;水平3是较高的能力水平,学生在完成选修5模块前三章学习后应该达到这一水平;水平4是更高的能力水平,学生在选修5模块复习阶段应该达到这一水平;水平5是最高能力水平,许多省份的学生在高考总复习阶段应该达到这一水平(如广东近4年高考试题中出现“书写有限制条件的同分异构体”的问题情境)。

### 5 结论与建议

#### 5.1 探讨教学序列的跨学段设计

学生同分异构体的进阶学习是分阶段持续进行的,教师在备课过程应具有宏观、整体的同分异构体书写技能教学意识,即教学序列的跨学段设计意识。教师在教学中也要注重教学设计的整体性和层次性:(1)在化学2教学中,以烷烃为典例训练“碳链异构”书写任务,破除学生对有机物成键特点及空间结构的错误认识;(2)在选修5教学中,以烯烃为典例认识“顺反异构”,以卤代烃和芳香烃衍生物训练“位置异构”书写任务,并在第三章系统学习多种官能团知识后,以醛与酮、酸与酯等为典例训练“官能团异构”书写任务;(3)在高考复习教学中,通过板书或ppt反复强调“限制条件下同分异构体”分析思路与书写方法,教师先带着分析,后由学生根据限制条件独立解决较复杂的同分异构体书写任务,把官能团性质、结构特征、同分异构方式和书写方法等能力培养落到实处。

#### 5.2 对教学实践的建议

高二选修5学习阶段是培养学生同分异构体书写技能的关键环节,但教材中对碳链异构、位置异构、官能团异构集中介绍的编排方式不利于学生的知识内化与概念转变。为了提高教学的针对性和有效性,教师需

要根据相应学习阶段的水平要求来严格控制教学要求,避免盲目地提高教学要求和增加学生的学习负担,如:

(1)通过选修5教科书提供的具体的同分异构体书写实例,逐步引导学生突破思维难点,完善对同分异构体书写步骤的认识;(2)通过适量的与范例类似的同分异构体书写任务来训练学生实际的书写技能,回避或谨慎使用一些略显复杂的题型。

学生在进入高考总复习阶段时,常会对选修5中官能团性质与结构特点、同分异构方式等知识有较程度的遗忘。因此教师需要:(1)在多个复习专题中反复进行分析思路与推理方法的训练,强化限制条件下同分异构体的书写技能,让学生形成程序化、自动化的书写思维和行为;(2)尤其需要同时加强学生在有机合成等陌生情境下信息分析能力,促使学生能够对未知物的结构进行推理论证。

#### 5.3 对学术研究的建议

学生同分异构体书写技能的发展值得进行更深入、更全面的学术探讨与实践研究:(1)不同化学学业水平的学生对同分异构体书写过程的思维模式有何差异,尤其是对“限制条件下书写同分异构体”有何不同认识?影响学生思维模式的因素和各种因素的影响程度为何?(2)不同年级、不同化学学业水平的学生的同分异构体书写技能的表现水平如何?可以据此设计怎样的跨学段学习路径?

除此之外,同分异构体进阶学习的研究中,仍有很多问题值得进行深入实证探讨。

#### 参考文献:

- [1] 钱扬义,张积家,罗秀玲等.化学概念与化学“学科关键词”的学习与认知[M].北京:科学出版社,2009:124~125.
- [2] 陈长应.“同分异构体”错误概念的调查与分析[J].化学教育,2006,27(1):49~52.
- [3] 白建斌.高三复习课“限定条件下同分异构体的书写”教学设计及实施[J].化学教育,2011,32(12):42~44.
- [4] 王磊,黄鸣春.科学教育的新兴研究领域:学习进阶研究[J].课程·教材·教法,2014,34(1):112~118.
- [5] 宋心琦主编.普通高中课程标准实验教科书·化学2(必修)[M].北京:人民教育出版社,2007.
- [6] 宋心琦主编.普通高中课程标准实验教科书·化学5(选修)[M].北京:人民教育出版社,2010.
- [7] 曾昭琼主编.有机化学[M].北京:高等教育出版社,2009:15~50.