

高等学校化学类专业有机化学理论课程教学内容调研与建议

王彦广^{1,*}, 惠新平², 丁玉强³, 刘晨江⁴, 陆展¹

¹浙江大学化学系, 杭州 310058

²兰州大学化学化工学院, 兰州 730000

³江南大学化学与材料工程学院, 江苏 无锡 214122

⁴新疆大学药学院(药物研究所), 乌鲁木齐 830017

摘要: 为了更好地开展高等学校有机化学课程建设, 不断提高有机化学理论课教学质量, 受教育部高等学校化学类专业教学指导委员会委托, 我们对国内化学类专业有机化学课程的学时和教学内容等情况开展了调研, 本文对此次调研结果进行了分析、对比和总结, 找出了有机化学教学中存在的一些问题, 并对有机化学课程教学内容优化提出了建议。

关键词: 化学类专业; 有机化学; 教学内容; 问卷调查; 教学建议

中图分类号: G64; O6

Survey and Recommendations on the Theoretical Course Content of Organic Chemistry for Chemistry Majors in Higher Education

Yanguang Wang^{1,*}, Xin-Ping Hui², Yuqiang Ding³, Chenjiang Liu⁴, Zhan Lu¹

¹ Department of Chemistry, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China.

² College of Chemistry and Chemical Engineering, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China.

³ College of Chemistry and Material Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, Jiangsu Province, China.

⁴ School of Pharmaceutical Sciences and Institute of Materia Medica, Xinjiang University, Urumqi 830017, China.

Abstract: To enhance the development of organic chemistry courses in higher education institutions and continually improve the quality of instruction, the National Instructional Committee of Chemistry for Higher Education commissioned a comprehensive survey focusing on the class hours and teaching content of organic chemistry courses within chemistry programs. This paper analyzes, compares, and summarizes the survey results, identifies several challenges in the current teaching practices of organic chemistry, and offers recommendations for optimizing the course content.

Key Words: Chemistry majors; Organic chemistry; Teaching content; Survey; Teaching recommendations

有机化学是研究有机化合物结构、性质、制备、功能的学科, 是化学学科重要分支之一, 是生命科学、医学、药学、农学、材料、能源、环境等学科的基础。人类健康、人们的日常生活乃至人类社会的发展均离不开有机化合物和有机化学。有机化学课程是化学类专业的一门专业核心课程, 也是生物、化工、环境、材料、药学、医学、农学等专业的本科生专业基础课程。为了更好地了解

我国化学类专业有机化学课程教学情况, 受教育部高等学校化学类专业教学指导委员会委托, 我们对化学、应用化学、化学生物学、分子科学与工程、能源化学等5个化学类专业有机化学理论课程的教学时数和教学内容等基本情况开展了一次问卷调查。本文对调研结果进行了分析、对比和总结, 找出了存在的问题, 并对教学内容改革和教学要求等提出了建议。

1 调研情况

本次调研采用线上问卷形式, 共收到101所高校反馈的212份问卷(部分问卷含同一专业的不同培养计划), 其中化学专业155份(占比73.11%), 应用化学专业113份(占比53.3%), 化学生物学专业31份(占比14.62%), 分子科学与工程专业10份(4.72%), 能源化学专业18份(占比8.49%)。

1.1 课程学时数情况

表1汇总了各化学类专业有机化学课程学时数统计情况。80%的化学专业学时数都在90学时以上, 83%的应用化学专业的学时数都在60学时以上, 其余三个专业则主要分布在48–119学时范围。

表1 化学类专业有机化学课程学时数统计数据

学时数	化学专业份数* (占比/%)	应用化学专业份数 (占比/%)	化学生物学专业份数 (占比/%)	分子科学与工程专业 份数(占比/%)	能源化学专业份 数(占比/%)
≥ 120	29 (18.7)	7 (6.2)	3 (9.7)	0	0
90–119	96 (61.9)	53 (46.9)	7 (22.6)	4 (40.0)	4 (22.2)
60–89	30 (19.4)	30 (26.6)	10 (32.3)	4 (40.0)	8 (44.4)
48–59	0	19 (16.8)	11 (35.5)	2 (20.0)	6 (33.3)

* “份数”指问卷份数

1.2 教学内容

1.2.1 有机化合物种类

所有化学类专业有机化学课程内容均涉及有机化合物基本类型(按官能团分类), 包括烷烃、烯烃、炔烃、卤代烃、芳香烃、醇、酚、醚、醛、酮、羧酸、酰卤、酸酐、酯、酰胺、胺、芳香杂环化合物等。重要的元素与金属有机化合物以及生物有机化合物涉及情况见表2。在6个化学类专业中, 化学专业教学内容所涵盖的化合物类型最多, 其中涉及较多的元素与金属有机化合物为有机镁、有机锂和有机铜锂, 最少的为有机硼和有机硅; 涉及较多的生物有机化合物为碳水化合物和氨基酸, 较少的为核酸、脂类、萜类和甾体类化合物。

1.2.2 基本概念和理论

所有化学类专业有机化学课程内容均涉及有机分子结构的常用表示方式(包括Lewis式、键线式、结构简式、木架式、楔形式、Fischer投影式、Newman投影式), 以及有机化合物的各种同分异构现象(包括骨架异构、官能团异构、官能团位置异构、构型异构、对映和非对映异构、构象异构)等基本知识。

表3汇总了各专业在有机理论基础模块教学内容涵盖情况。在化学键理论方面, 6个专业均讲授价键理论、杂化轨道理论, 但除化学专业外, 其他5个专业讲授分子轨道理论的比例均不到90%, 其中能源化学专业的比例最低(55.56%)。在电子效应方面, 6个专业的教学内容均包含共轭效应、超共轭效应和诱导效应。

在结构与性质方面, 6个专业的教学内容均涵盖Hückel芳香性, 讲授反芳香性和同芳香性的比例均低于33%。几乎所有专业的教学内容均涉及酸碱理论, 其中Lewis酸碱理论的开设率达到99%。此外, 仅85.16%的化学专业、86.73%的应用化学专业、74.19%的化学生物学专业、70%的分子科学与工程专业、94.44%的能源化学专业讲授范德华作用、氢键等分子间弱的作用力。

表2 元素与金属有机化合物以及生物有机化合物涵盖情况

化合物类型	化学专业/%	应用化学 专业/%	化学生物学 专业/%	分子科学与工程 专业/%	能源化学 专业/%	所有专业/%
有机硫化合物	52.26	46.02	41.94	40.00	44.44	47.17
有机磷化合物	45.16	36.28	32.26	30.00	38.89	40.57
有机硼化合物	35.48	30.97	29.03	40.00	33.33	29.25
有机硅化合物	21.94	18.58	6.45	20.00	16.67	18.87
有机镁化合物	76.13	75.22	70.97	70.00	66.67	73.58
有机锂化合物	69.03	61.95	51.61	50.00	44.44	64.15
有机锌化合物	47.10	38.94	38.71	40.00	33.33	41.98
有机铜锂化合物	69.68	58.41	41.94	40.00	50.00	61.32
碳水化合物	76.13	69.91	58.06	50.00	55.56	70.75
氨基酸	76.77	68.14	58.06	70.00	55.56	69.34
多肽和蛋白质	61.94	55.75	35.48	50.00	44.44	55.66
核酸	44.52	38.05	22.58	20.00	11.11	38.68
脂类化合物	38.71	34.51	22.58	20.00	22.22	35.38
生物碱	40.00	35.40	25.81	30.00	27.78	37.26
萜类化合物	36.13	35.41	19.35	30.00	50.00	34.43
甾体化合物	35.48	33.63	16.13	20.00	50.00	32.55

表3 理论基础教学内容开设情况

化合物类型	化学专业/%	应用化学 专业/%	化学生物学 专业/%	分子科学与工程 专业/%	能源化学 专业/%	所有专业/%
价键理论	100	100	96.77	95.67	94.55	99.11
杂化轨道理论	100	100	100	100	100	98.11
分子轨道理论	92.9	86.73	67.74	70	55.56	86.79
共振理论	92.97	89.34	77.42	70	83.33	87.74
共轭效应	98.71	100	100	100	100	99.06
超共轭效应	96.77	94.69	93.55	100	94.44	94.81
诱导效应	100	100	100	100	100	100
Hückel芳香性	100	100	100	100	100	100
反芳香性	32.9	23.01	35.48	20	22.22	28.77
同芳香性	16.13	14.16	22.58	10	22.22	14.62
Lewis酸和碱	99.35	100	100	100	94.44	99.06
Bronsted酸和碱	90.32	91.15	87.1	80	88.89	91.04
分子间弱的作用力	85.16	86.73	74.19	70	94.44	85.85
过渡态理论	94.19	96.45	93.55	100	100	94.81
Hamond假设	34.84	30.97	22.58	20	38.89	29.72
前线分子轨道理论	68.39	64.6	41.94	50	38.89	63.68
轨道对称守恒原理	60.65	51.33	32.26	40	33.33	53.3
立体电子效应	69.35	59.29	66.97	50	59.11	58.49

在有机反应理论方面,6个专业的教学内容涵盖反应过渡态理论的比例均超过94%,但涉及立体电子效应、前线分子轨道理论、轨道对称守恒原理的比例均低于70%,涉及Hamond假设的比例均低于35%。

1.2.3 立体化学

表4汇总了各化学类专业在立体化学模块教学内容的涵盖情况。所有专业均讲授顺反异构和对映异构,其中对含手性中心的分子的涵盖达100%,但对含手性轴和手性面分子的涵盖相对较少。对于构型标记方法中*cis/trans*标记法、*Z/E*标记法和*R/S*标记法,6个专业的涵盖率均超过96%。

表4 立体化学教学内容开设情况

教学内容	化学专业/%	应用化学	化学生物学	分子科学与工程	能源化学	所有专业/%
		专业/%	专业/%	专业/%	专业/%	
含手性中心的分子	100	100	100	100	100	100
含手性轴的分子	82.58	80.53	64.52	70	55.56	78.77
含手性面的分子	74.84	70.8	64.52	50	50	70.75
<i>cis/trans</i> 标记法	99.48	99.58	98.32	100	100	99.75
<i>Z/E</i> 标记法	99.71	99.12	100	100	100	99.06
<i>R/S</i> 标记法	100	100	96.77	96	100	98.17
<i>M/P</i> 标记法	5.16	3.54	6.45	0	0	4.25
<i>D/L</i> 标记法	76.77	77.88	70.97	70	72.22	75.94
α/β 标记法	39.35	37.17	34.48	20	11.11	37.26
<i>endo/exo</i> 标记法	52.9	35.4	29.03	20	33.33	41.51

1.2.4 波谱分析

表5是各专业开设波谱分析——有机化合物结构测定的情况。可以看出,部分专业没有开设波谱分析内容,或者仅开设其中部分内容。核磁共振和红外光谱的开设率较高(73%以上),质谱的开设率最低(55%),33.55%的化学专业、46.9%的应用化学专业、64.52%的化学生物学专业、80%的分子科学与工程专业、66.67%的能源化学专业均未包含质谱内容。

表5 波谱分析教学内容开设情况

教学内容	化学专业/%	应用化学	化学生物学	分子科学与工程	能源化学	所有专业/%
		专业/%	专业/%	专业/%	专业/%	
红外光谱	88.46	69.91	54.84	60	55.56	73.11
核磁共振	89.35	71.68	58.06	60	66.67	73.58
质谱	65.16	50.44	35.48	30	33.33	55.19
紫外光谱	70.32	52.21	35.48	30	33.33	60.38

1.2.5 有机反应

所有化学类专业有机化学课程内容均涵盖有机反应基本类型,包括加成反应、取代反应、消除反应和重排反应。所有化学类专业有机化学课程内容均涉及亲电加成、亲电取代、亲核加成、亲核取代、自由基取代、自由基加成、消除反应、1,2-重排、 σ -迁移、环加成、电环化、氧化还原等有机反应机理类型,但不同专业涉及内容的广度和深度不同。表6中总结了各专业重要有机反应教学内容开设情况(按反应机理类型统计),表7列举了一些经典人名反应内容涉及情况,表8和表9分别列举了有机反应立体化学和活泼中间体内容涉及情况。

表6 经典有机反应教学内容开设情况(按反应机理类型统计)

教学内容	化学专业/%	应用化学 专业/%	化学生物学 专业/%	分子科学与工程 专业/%	能源化学 专业/%	所有专业/%
亲电加成	100	100	100	100	100	100
亲核加成	100	100	100	100	100	100
自由基加成	95.48	94.69	93.55	100	94.44	94.81
[4+2]环加成	93.55	90.27	83.87	90	72.22	89.62
[2+2]环加成	63.23	55.75	38.71	40	33.33	56.56
电环化	67.10	59.29	35.48	60	50	59.43
亲电取代	98.06	97.35	96.77	100	94.44	97.17
S _N 1和S _N 2机理	100	100	100	100	100	100
邻基参与机理	73.55	63.72	45.16	30	33.33	65.09
亲核取代反应: 加成-消除机理	100	97.35	96.77	100	100	96.7
亲核取代反应: 苯炔机理	81.29	77.88	58.06	70	50	74.53
自由基取代	99.35	98.23	96.77	100	100	98.11
E1和E2机理	100	100	100	100	100	100
E1cb机理	51.61	46.9	45.16	10	33.33	46.7
1,2-重排	100	98.23	98.06	100	100	98.58
σ -迁移	72.9	61.06	48.39	50	61	63.21
还原反应	99.35	99.12	100	100	100	99.06
氧化反应	100	100	100	100	100	100

表7 一些经典人名反应教学内容开设情况

教学内容	化学专业/%	应用化学 专业/%	化学生物学 专业/%	分子科学与工程 专业/%	能源化学 专业/%	所有专业/%
Baeyer-Villiger氧化	87.74	83.19	51.61	60	55.56	81.6
Birch还原	80	67.26	41.94	60	38.89	69.34
Claisen重排	89.03	87.61	61.29	70	66.67	84.91
Cope重排	78.71	57.52	35.48	20	38.89	65.57
Fischer吡啶合成法	36.77	27.43	22.58	0	16.67	29.25
Hofmann重排	85.81	76.99	64.57	40	66.67	78.3
Mannich反应	81.29	76.99	67.74	50	61.11	75.74
Michael加成	86.45	76.99	54.84	50	66.67	78.77
Reformatsky反应	76.77	71.68	58.06	60	55.56	69.34
Robinson并环反应	65.81	57.52	41.94	40	38.89	55.66
Sandmeyer反应	63.87	53.1	51.61	40	61.11	57.55
Wittig反应	89.03	81.42	58.06	50	55.56	83.02

表8 有机反应中的立体化学内容开设情况

教学内容	化学专业/%	应用化学 专业/%	化学生物学 专业/%	分子科学与工程 专业/%	能源化学 专业/%	所有专业/%
亲电加成	98.71	97.35	96.77	90	94.44	96.7
S _N 1/S _N 2	95.48	95.58	93.55	90	100	94.81
E1/E2	96.13	95.58	93.55	100	94.44	95.28
Gram规则/Felkin-Anh模型	78.71	74.34	51.61	50	55.56	72.17
1,2-重排	68.39	62.83	41.94	50	50	62.26
电环化反应	68.39	58.41	41.94	50	50	60.38
环加成反应	73.55	64.6	51.61	50	50	67.92
σ -迁移反应	56.77	44.25	32.26	0	38.89	48.58
异头效应	36.77	26.55	22.58	20	22.22	29.72

表9 有机反应活泼中间体教学内容开设情况

教学内容	化学专业/%	应用化学 专业/%	化学生物学 专业/%	分子科学与工程 专业/%	能源化学 专业/%	所有专业/%
碳正离子	100	100	100	100	100	100
溴鎓离子等非经典 碳正离子	94.03	89.38	93.55	60	88.89	88.68
碳负离子	94.84	96.46	87.1	90	83.33	94.81
碳自由基	99.77	97.35	93.55	100	100	97.17
芳炔	88.71	70.8	51.61	70	50	69.34
卡宾	86.77	67.26	28.71	60	55.56	66.04
乃春	58.39	35.4	19.35	30	27.78	40.62

就广度来看, 各专业的差异主要表现在周环反应和一些经典人名反应等方面。例如, 对于周环反应, 15.5%的化学专业、23%的应用化学专业、35.48%的化学生物学专业、10%的分子科学与工程专业、39%的能源化学专业均未讲授 σ -迁移反应; 7.1%的化学专业、8.5%的应用化学专业、16.13%的化学生物学专业、50%的分子科学与工程专业、17%的能源化学专业均未讲授过环加成和电环化反应。

就课程的深度和难度来看, 虽然对于亲电加成、亲核加成、饱和碳原子上的亲核取代(S_N1和S_N2机理)、消除反应(E1和E2机理)、芳环/羧酸及其衍生物的亲核取代反应(加成-消除机理)和自由基取代反应的机理和立体化学, 各专业的开设率均超过90%, 但涉及苯炔、卡宾和乃春机理的内容相对偏少, 对醛酮的非对映选择性亲核加成, 以及1,2-重排和周环反应的立体化学的开设率也偏少, 其中应用化学专业、化学生物学专业、分子科学与工程专业和能源化学专业涉及 σ -迁移反应立体化学的内容低于45%或完全没有。此外, 能够应用立体电子效应原理、前线分子轨道理论、分子轨道对称守恒原理讨论反应立体化学的比例偏低, 化学专业的这个比例最高, 但也低于70% (如表2所示)。

1.2.6 有机合成方法

表10列举了各专业开设有机合成方法内容的情况。在所有专业中, 90%以上均开设了常见官能团有机化合物合成方法, 80%以上均讲授了逆合成分析法。然而, 仍有0.65%的化学专业、1.77%的应用化学专业、6.45%的化学生物学专业、10%的分子科学与工程专业、5.56%的能源化学专业均未

介绍过常见有机化合物的合成方法；1.94%的化学专业、2.65%的应用化学专业、3.23%的化学生物学专业、10%的分子科学与工程专业、5.56%的能源化学专业均未介绍过逆合成分析法。此外，尚有15.48%的化学专业、22.12%的应用化学专业、32.26%的化学生物学专业、40%的分子科学与工程专业、38.89%的能源化学专业均未介绍过旋光活性手性化合物的制备方法(对映体拆分和不对称合成)。

表10 有机合成方法内容开设情况

教学内容	化学专业/%	应用化学专业/%	化学生物学专业/%	分子科学与工程专业/%	能源化学专业/%	所有专业/%
常见官能团有机化合物的合成	98.06	97.35	93.55	90	88.89	96.7
常见杂环化合物的合成	76.77	66.37	58.06	50	50	68.87
逆合成分析法	96.13	93.81	83.87	90	88.89	93.4
保护基团策略	89.68	88.5	90.32	60	38.89	87.26
极性翻转策略	54.19	35.4	38.71	10	83.33	42.45
对映体拆分	76.13	75.22	67.74	60	61.11	72.64
不对称合成	63.87	65.49	51.61	40	50	60.38

1.2.7 课程思政(典型案例)

我们在调研问卷中设置了关于课程思政案例的简答题，并收到了部分老师的回复。表11选编了其中一些代表性案例。

表11 课程思政案例选编

案例名称	思政元素(要点)	导入章节
屠呦呦与青蒿素的发现	科学精神，社会责任感，社会主义核心价值观	绪论
结晶牛胰岛素的全合成	科学精神，团队协作精神，制度自信，文化自信	绪论，多肽合成
邢其毅与有机化学	家国情怀，创新精神，科学精神	绪论，多肽合成
F. Wöhler及其人工合成尿素的故事	创新精神，科学精神，科学方法论	绪论部分：有机化学发现史
黄鸣龙与Wolff-Kishner-黄鸣龙反应	家国情怀，科学的发展规律和方法论	醛酮的还原反应
周其林与手性螺环催化剂	创新精神，科学精神，科学方法论	立体化学
铬氧化剂发展历程	科学方法论	醇和醛的氧化反应
诺贝尔与硝酸甘油	创新创业精神，科学精神	醇的硝酸酯化反应
V. Grignard和Grignard试剂的发明	创新精神，科学精神，科学方法论	醛和酮的亲核加成反应
原子经济性反应	绿色化学理念，社会责任感和环保意识培养	Diels-Alder反应等
光反应	绿色合成，绿色发展意识	电环化和[2+2]环加成
阿司匹林的发明	创新精神，科学方法论，社会责任感培养	羧酸的酸性
能量最低原则	科学的方法论	原子轨道和分子轨道理论； 反应过渡态理论
S _N 1和S _N 2的竞争	辩证思维模式，科学世界观	饱和碳原子上的亲核取代反应
安全使用有机锂试剂	实验室安全	金属有机化合物
反应停事件	社会责任感，科学伦理	立体化学
三聚氰胺事件	国家法律法规、社会责任感和职业道德教育，科学伦理	杂环化合物

2 存在的问题与建议

本次调研得到了101所各类高校212位老师的积极参与, 调研结束后我们对少量存在疑问的问卷进行了核实和修订, 以保证调研数据的准确性。此外, 由于我国化学生物学专业、分子科学与工程专业以及能源化学专业都是近年来成立的, 专业数量较少, 其中分子科学与工程专业仅成功回收10份问卷, 这些新专业的调研数据可能存在较大统计误差。

总体上看, 大部分化学类专业有机化学理论课教学内容达到了《高等学校化学类专业教学质量国家标准》^[1]和《化学类专业理论教学建议内容》^[2]中有机化学部分的基本要求, 但少部分专业的课时数偏少, 有些基本内容(知识点)完全没有涉及。例如, 19.35%的化学专业学时数不足90学时, 16.81%的应用化学专业、35.48%的化学生物学专业、20%的分子科学与工程专业、33.33%的能源化学专业课时数不足60学时。

3 教学建议

针对调研中发现的问题, 我们提出以下建议:

(1) 结合办学定位、专业的人才培养要求, 确定有机化学课程培养学生德育、知识、能力、素养等的教学目标, 依据目标导向对课程进行系统设计, 提出课程建设需要解决的问题, 制定改革目标/途径和具体措施。

(2) 化学专业的教学学时数不低于96学时或6学分, 其他化学类专业可根据专业特色和培养方案设置必要的学时/学分, 但建议不低于64学时或4学分。

(3) 梳理课程教学内容, 深入挖掘知识传授与价值引领的结合点, 用不脱离教学内容的生动案例, 教育和引导学生树立正确的世界观和方法论, 培养学生勇于探索未知、追求真理、勇攀科学高峰的责任感和使命感。

(4) 建议所有高校化学类专业参考教育部高等学校化学类专业教学指导委员会制订的《化学类专业化学理论教学建议内容》^[2]有机化学理论课程相关内容, 并结合学校和专业特色^[3], 优化教学大纲和课程内容。

(5) 课程内容与时俱进, 把现代化学理论体系贯穿于有机化学课程教学全过程, 用分子轨道理论并结合计算化学来讨论电子效应、立体电子效应、结构与性质等科学问题。课时数较多的化学专业, 应加强反应机理和立体选择性及其研究方法方面的教学, 提高课程的深度和难度; 此外, 可适当增设一些与基本内容相关的新反应、新试剂、新方法方面的内容或研究进展。

(6) 结合“101计划”, 探索并不断完善基于知识图谱的有机化学课程教学方式, 进一步提高拔尖人才培养质量。

参 考 文 献

- [1] 2013–2017年教育部化学类专业教学指导委员会. 普通高等学校化学类专业教学质量国家标准(上). 北京: 高等教育出版社, 2018: 130–137.
- [2] 2013–2017年教育部高等学校化学类专业教学指导委员会. 大学化学, 2016, 31 (11), 11.
- [3] 张树永, 魏忠, 倪刚, 孙春艳, 李建平, 徐华龙, 韩喜江, 曹秋娥, 王彦广, 杨屹, 等. 大学化学, 2025, in press.
doi: 10.12461/PKU.DXHX202404002