

## 基于 SCI 的分子印迹技术文献计量学研究\*

赵 焱<sup>1,2</sup>, 李 龙<sup>1,2</sup>, 秦 伟<sup>1</sup>

(1 中国科学院烟台海岸带研究所海岸带环境过程与生态修复重点实验室, 烟台 264003; 2 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要** 以科学引文索引(Science Citation Index, SCI)数据库中 1991—2013 年分子印迹技术相关文献为研究对象, 通过对文献类型、语言及数量、作者所属的国家/地区和机构、发表文献的期刊分布和学科类别等信息进行文献计量学的分析, 发现 1991—2013 年文献数量随时间呈指数函数增长, 论文(Article)是最主要的文献类型, 英语是使用最广泛的书写语言。中国是发表分子印迹技术相关论文最多的国家, 而瑞典是发表高水平论文最多的国家。中国科学院是分子印迹技术论文高产量机构, 瑞典隆德大学是高产量高被引机构。发表论文最多的学术期刊为 *Analytica Chimica Acta* 和 *Journal of Chromatography A*, 主要的学科类别为化学分析(Chemistry analytical)。本文研究所获信息用来评价分子印迹技术的研究进展和发展趋势, 以期从事分子印迹技术的研究人员提供文献参考。

**关键词** 分子印迹技术 科学引文索引 文献计量学

中图分类号: O641.3; G350 文献标识码: A DOI: 10.11896/j.issn.1005-023X.2015.05.018

## An SCI-based Bibliometric Study on Molecular Imprinting Technique

ZHAO Yan<sup>1,2</sup>, LI Long<sup>1,2</sup>, QIN Wei<sup>1</sup>

(1 Key Laboratory of Coastal Environmental Processes and Ecological Remediation, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003; 2 University of Chinese academy of Sciences, Beijing 100049)

**Abstract** Using the literatures in the molecular imprinting technique (MIT) research field published between 1991 and 2013 in the Science Citation Index (SCI) database, bibliometric analyses on document types, languages, publication outputs, the distribution of countries and institutes, as well as journals and subject categories, are conducted. The publication outputs show that MIT research exponentially increases over the past 23 years, the main type of document is research article, and the most widely used publication language is English. The most productive country and institution are China and the Chinese Academy of Sciences, while the high productivity and highly cited country and institution are Sweden and Lund University. *Analytical Chimica Acta* and *Journal of Chromatography A* are the top 2 most productive journals, and chemistry analytical is the primary subject category. The obtained information can be used to evaluate the research progress and development trend in MIT, which provides valuable references for the researchers.

**Key words** molecular imprinting technique, science citation index, bibliometric analysis

## 0 引言

分子印迹技术(Molecular imprinting technique, MIT)是一种合成具有特异性识别位点的聚合物受体的方法<sup>[1]</sup>, 该方法合成的分子印迹聚合物由于具有构效预定性、特异识别性和广泛适用性等优点而受到广泛关注, 并在色谱固定相、固相萃取、有机合成、药物开发、仿酶催化和仿生免疫分析与传感器等领域具有重要的应用前景<sup>[2]</sup>。目前, 全世界至少有包括瑞典、日本、德国、美国、中国、法国在内的几十个国家、上百个学术机构和企事业单位在从事分子印迹的研究和开发工作, 并将研究成果发表在不同类别的学术期刊上。1993 年 Mosbach 等<sup>[3]</sup>在 *Nature* 上发表有关茶碱分子印迹聚合物的

报道后, 此类文章数量迅速上升, 但目前还少有对分子印迹相关文献进行科学系统的计量学分析。

文献计量学是用数学和统计学的方法, 以文献体系和文献计量特征为研究对象, 定量地分析文献的分布结构、数量关系和变化规律, 掌握科学知识体系结构及其演化规律, 快速、全面形象地把握科学总体态势, 分析各个国家和机构的优势领域和发展重点的学科领域<sup>[4, 5]</sup>。通过周期性的文献分析, 可以监测研究领域的演化路径和变化趋势。近年来, 文献计量学被广泛地应用到科技论文的统计研究中, 以便掌握某个领域的文献数量, 以及文献在国家、机构、期刊和学科类别的分布, 确定核心文献, 评价出版期刊和预测未来研究方向。美国科学信息研究所(Institute for Scientific Informa-

\* 国家自然科学基金(20977073); 中国科学院科研装备研制项目(YZ201161)

赵焱: 女, 1989 年生, 硕士生, 研究方向为分子印迹合成 E-mail: yanzhao@yic.ac.cn 秦伟: 通讯作者, 男, 1970 年生, 博士后, 研究员, 博士生导师, 研究方向为环境分析化学 Tel: 0535-2109156 E-mail: wqin@yic.ac.cn

tion, ISI) 的科学引文索引的网络科学数据库(Web of Science Databases)收录了世界各学科领域内优秀的期刊,为文献计量分析提供了重要的数据,统计分析其收录的论文能够反映科学前沿的发展动态。

为了掌握分子印迹技术的研究进展和发展趋势,本文从文献计量学的角度,分析了分子印迹相关文献的文献类型、语言及数量、作者所属的国家和科研机构、论文的期刊和学科分布以及论文被引用情况等信息,以期对相关科研工作者提供方向指导。

## 1 数据来源与方法

本文以美国科学信息研究所出版的 Web of Science 网络数据库之下的 Web of Science™ 核心合集作为数据来源。该平台共包含 2 个引文数据库,分别是 Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED), 收录时间 1900 年至今; Conference Proceedings Citation Index-Science (CPCI-S), 收录时间 1991 年至今。此外,还包含 2 个化学数据库,即 Current Chemical Reactions (CCR-EXPANDED), 收录时间 1985 年至今; Index Chemicus (IC), 收录时间 1993 年至今。以“molecular\* imprint\*”作为主题检索词,在标题(Title)、摘要(Abtract)和关键词(Keyword)中搜索 1991—2013 年的文献。其中来自英格兰(England)、苏格兰(Scotland)、北爱尔兰(Northern Ireland)和威尔士(Wales)的文献统一划分为英国。期刊的影响因子来自 2012 年期刊引用报告(Journal Citation Report, JCR)。使用 SCI 自带的统计工具和 Origin 8.0 数据处理软件统计分析文献的类型、语言、出版年、来源期刊、国家、机构和学科分布等情况,以期系统地揭示分子印迹的研究进展和发展趋势。

## 2 分子印迹研究文献类型与语言分布

1991—2013 年 Web of Science™ 核心合集数据库中,题目、摘要和关键词中包含“molecular\* imprint\*”的文献共 6322 篇,包括 10 种文献类型。其中论文(Articles)5159 篇,占总文献数 81.6%;其次为会议论文(Proceeding papers)635 篇,占 10%;综述(Reviews)566 篇,占 9.0%;会议摘要(Meeting abstracts)257 篇,占 4.1%;编辑材料(Editorial materials)28 篇,占 0.44%;书籍章节(Book chapters)24 篇,占 0.38%;补充修正(Correction)20 篇,占 0.32%;新闻条目(News items)12 篇,占 0.19%;书信(Letters)11 篇,占 0.17%;随写(Notes)6 篇,占 0.095%。在学术研究中论文(Articles)、会议论文(Proceeding papers)和综述(Reviews)是最主要的文献类型,并在该领域被同行参考阅读,也指示着该学科的发展方向,因此精炼检索结果为“文献类型=(Articles or proceeding papers or reviews)”,最终得到 5988 条相关文献并对其做进一步的研究分析,笔者统称其为论文。

对 5988 篇分子印迹相关文献进行语言种类分析,发现英语是最广泛的书写语言,包含 5644 篇文献,占文献总数的 94%,这是因为英语是文献发表的主要语言,也是大多数国

际会议的官方语言,并且 SCI 收录的大多数期刊为英文期刊。然而分子印迹技术的迅速发展引起了全球的关注,非英语类的文献也占有越来越大的比例,其中汉语 284 篇、日语 16 篇、葡萄牙语 10 篇、德语 7 篇、法语 6 篇、波兰语 4 篇、韩语 3 篇以及俄语 2 篇。

## 3 分子印迹研究年代分布

分子印迹概念起源于免疫学,20 世纪 40 年代著名的诺贝尔奖获得者 Pauling 提出了“抗体形成”学说<sup>[6]</sup>。1949 年, Dickey 提出了“特异性吸附”的概念<sup>[7]</sup>,实际上可以看作“分子印迹”的萌芽,但并没有引起重视。1972 年,德国科学家 Wulff 课题组首次成功制备出了分子印迹聚合物<sup>[8]</sup>(Molecularly imprinted polymers, MIPs),并在 1977 年发表了第一个共价印迹实例<sup>[9]</sup>,使分子印迹技术有了突破性的进展。在这个时期,分子印迹技术仅限于催化领域应用,而在分子识别领域的应用并没有展开。20 世纪 80 年代 Mosbach 领导的研究小组首次提出了非共价印迹聚合物的合成,并于 1993 年在 *Nature* 上发表了有关茶碱的分子印迹吸附免疫测定的研究报告<sup>[3]</sup>,展示了 MIPs 惊人的通用性和立体专一识别性,自此之后人们对分子印迹的研究也越来越多。综合分子印迹的发展历史和每年的文献数量(图 1)可知,1993 年以前,分子印迹发展较为缓慢,年出版数量较低( $\leq 5$  篇);1993—2013 年,分子印迹相关研究迅速增长,年出版论文数和总文献数均以指数形式增长,到 2013 年年出版论文数量达到 853 篇,并且还有继续增长的趋势。

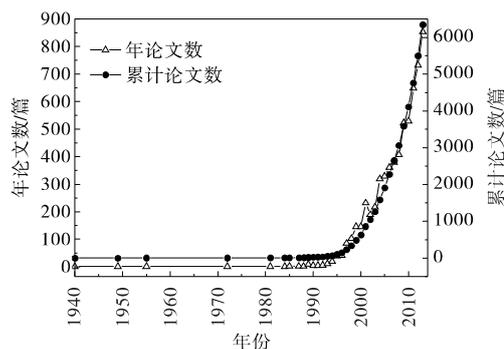


图 1 1940—2013 年文献总数量和年文献数量随时间的变化

Fig. 1 Annual and cumulative numbers of MIT papers during 1940—2013

## 4 分子印迹研究国家分布

1991—2013 年发表的 5988 篇分子印迹相关论文中有 12 篇(0.2%)不含作者地址信息,5976 篇具有通信作者的地址信息。从表 1 中国际上发表分子印迹论文的国家分布情况看,1991—2013 年被 SCI 收录较多的有中国、美国、日本、英国、瑞典、德国、法国、伊朗和意大利等国家的作者,其中中国作者的发文量遥遥领先于其它国家,共发表论文 2063 篇,占总数的 34.45%,且每年论文发表量呈指数形式迅速增长(如图 2 所示),可谓论文高产量国家,但论文篇均被引频次较

低,只有 12.47 次/篇,在发文量前 10 个国家中排名第 9。美国论文总数 634 篇,位居第二。相比于中国和美国,瑞典的论文总数只有 330 篇,占总数的 5.5%,是中国的 1/6,美国的 1/2,但其每篇平均被引频次高达 61 次,是中国的 5 倍,美国

的 2 倍,被引频次不小于 100 次的论文有 61 篇,是分子印迹领域论文高质量国家。按篇均被引频次排序可知分子印迹领域高影响力论文发表国家依次是瑞典、德国、英国、法国和美国等欧美国家。

表 1 1991—2013 年发表分子印迹技术研究论文较多的国家及其论文被引情况

Table 1 Most productive countries and citation information for the MIT papers during 1991—2013

序号	国家	TP(%)	总被引频次	他引频次	他引率/%	篇均被引频次	按篇均被引频次排序	被引频次不小于 100 次的论文数/篇
1	中国	2063(34.5)	25718	15228	59.21	12.47	9	22
2	美国	634(10.6)	20640	18783	91.00	32.56	5	48
3	日本	513(8.6)	15603	13438	86.12	30.42	6	28
4	英国	352(5.9)	14338	13041	90.95	40.73	3	38
5	瑞典	330(5.5)	20391	17777	87.18	61.78	1	61
6	西班牙	310(5.2)	9254	8209	88.71	29.85	7	21
7	德国	305(5.1)	14155	13232	93.48	46.41	2	33
8	法国	211(3.5)	7605	7125	93.69	36.04	4	15
9	伊朗	206(3.4)	1701	1268	74.54	8.26	10	0
10	意大利	191(3.2)	4872	4538	93.14	25.51	8	7

注:TP(%)为总论文数量及所占比例(TP/5988)

欧美国家的研究工作开启了分子印迹技术这一重要研究领域,而我国第一篇分子印迹研究于 1997 年公开发表<sup>[10]</sup>,之后到 1999 年有 9 篇相关论文发表,中国起步较晚,但发展较为迅速,如图 2 所示,论文数量呈指数形式增长。美国、日本、英国和瑞典在 1991—2004 年之间发文量增长较快,在 2004—2013 年之间发文量增长缓慢,美国、日本和瑞典有走低趋势。中国的论文注重分子印迹的应用研究,所以发文量持续增长;而欧美国家注重分子印迹的理论研究,相比于应用研究,理论研究发展较慢,所以论文数量增长缓慢。

内的 970 所著名研究机构或大学都开展了与分子印迹技术相关的工作。中国科学院的发文总数在国际同类研究机构中居首位,其次为瑞典隆德大学(非共价键分子印迹技术即由隆德大学的 Mosbach 教授等发展起来)、中国南开大学、英国克兰菲尔德大学和奥地利维也纳大学等。

在这 15 个发文量较多的科研机构中,瑞典隆德大学的篇均被引频次最高,达 76 次/篇;其次为瑞典林奈大学和英国克兰菲尔德大学,篇均被引频次大于 37 次。从被引频次大于等于 100 次的论文数可知,瑞典隆德大学有 51 篇,其次为英国克兰菲尔德大学 14 篇,中国科学院 8 篇。综合考虑发文量、篇均被引频次和高被引论文数等因素可知,瑞典隆德大学为分子印迹领域高产量高被引机构,发表的论文不仅数量多,而且质量高,指引着分子印迹技术的发展方向。

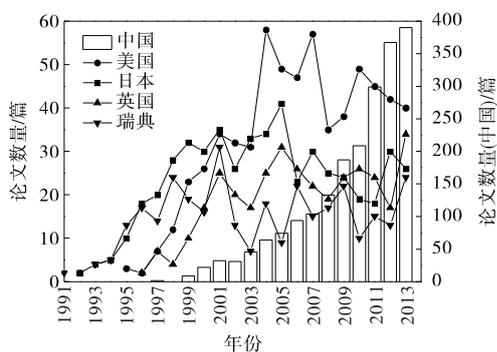


图 2 1991—2013 年前 5 个论文高产国家发表论文数量随时间的变化  
Fig. 2 Top 5 most productive countries during 1991—2013

## 6 分子印迹研究期刊与学科类别分布

1991—2013 年,5988 篇分子印迹相关文章发表在 448 种学术期刊上。表 3 列出分子印迹相关论文的前 10 种学术期刊发表论文的情况,包括发表论文的数量、期刊影响因子(2012 年)以及期刊所属的学科类别和在该类别中的排名,其中学科类别由期刊引证报告(JCR)划分。*Analytica Chimica Acta* 作为化学分析领域杂志,发表 336 篇论文,排名第一;其次依次为 *Journal of Chromatography A* (323 篇)、*Biosensors & Bioelectronics* (209 篇)、*Analytical and Bioanalytical Chemistry* (193 篇)、*Analytical Chemistry* (157 篇)等期刊。

## 5 分子印迹研究机构分布

依据文献的机构分布,表 2 列出前 15 个分子印迹相关研究的国内外研究机构,包括中国科学院、瑞典隆德大学、中国南开大学、英国克兰菲尔德大学和奥地利维也纳大学等在

根据 ISI 数据库对期刊的学科分类数据分析得知,1991—2013 年分子印迹研究论文有 46% 以上分布在化学分析和化学相关领域,还有一部分分布在材料科学和聚合物科学领域,另一部分将分子印迹应用于电化学、食品科学和环境科学等领域,说明分子印迹技术在各个学科应用广泛。

影响因子(Impact factor)是美国科学信息研究所 JCR 中的一项数据,即某期刊前两年发表的论文在统计当年的被引用总次数除以该期刊在前两年内发表的论文总数。这是一个国际上通行的期刊评价指标。由表 3 可知,排在前 5 的期

刊都具有较高的影响因子,特别是 *Analytical Chemistry* 和 *Biosensors & Bioelectronics*,2012 年影响因子均大于 5,作为分析化学和生物技术领域的权威期刊,发表了许多高质量研究论文,促进了该研究领域的发展。

表 2 1991—2013 年发表分子印迹研究论文较多的机构及其论文被引情况

Table 2 Most productive institutes and citation information for the MIT papers during 1991—2013

序号	机构名称	TP(%)	总被引 频次	他引频次	他引/总 被引/%	篇均被引 频次	按篇均被引 频次排序	被引频次不小于 100 次的论文数/篇
1	中国科学院	236(3.9)	4802	4324	90.05	20.35	9	8
2	瑞典隆德大学	209(3.5)	15885	14369	90.46	76	1	51
3	中国南开大学	186(3.1)	3541	3145	88.82	19.04	11	3
4	英国克兰菲尔德大学	112(1.9)	4151	3829	92.24	37.06	3	14
5	奥地利维也纳大学	96(1.6)	2540	2260	88.98	26.46	5	4
6	土耳其哈切佩特大学	77(1.3)	1547	1228	79.38	20.09	10	3
7	中国湖南大学	76(1.3)	1284	1222	95.17	16.89	12	0
8	中国清华大学	70(1.2)	1473	1361	92.40	21.04	7	1
9	土耳其安纳多鲁大学	66(1.1)	1643	1348	82.05	24.89	6	4
10	中国江苏大学	65(1.1)	373	271	72.65	5.74	15	0
10	日本京都工艺纤维大学	65(1.1)	1728	1446	83.68	26.58	4	0
11	中国河北大学	63(1.1)	756	662	87.57	12	13	0
12	中国暨南大学	57(1.0)	379	356	93.93	6.65	14	0
13	瑞典林奈大学	56(0.9)	2104	1809	85.98	37.57	2	3
13	法国贡比涅技术大学	56(0.9)	1162	1015	87.35	20.75	8	2

注:TP(%)为总论文数量及所占比例(TP/5988)

表 3 1991—2013 年发表分子印迹技术论文较多的期刊及其学科类别

Table 3 Most productive journals and their subject category for the MIT papers during 1991—2013

序号	期刊名称	TP(%)	IF(2012)	学科类别	排名/期刊总量
1	Analytica Chimica Acta	336(5.6)	4.387	Chemistry, analytical	7/75
2	Journal of Chromatography A	323(5.4)	4.612	Biochemical research methods	12/75
				Chemistry, analytical	6/75
				Biophysics	10/72
				Biotechnology & applied microbiology	14/160
3	Biosensors & Bioelectronics	209(3.5)	5.437	Chemistry, analytical	4/75
				Electrochemistry	1/26
				Nanoscience & nanotechnology	15/69
				Biochemical research methods	18/75
4	Analytical and Bioanalytical Chemistry	193(3.2)	3.659	Chemistry, analytical	9/75
5	Analytical Chemistry	157(2.6)	5.695	Chemistry, analytical	3/75
6	Journal of Separation Science	155(2.6)	2.591	Chemistry, analytical	25/75
6	Talanta	155(2.6)	3.498	Chemistry, analytical	12/75
7	Journal of Applied Polymer Science	145(2.4)	1.395	Polymer science	41/83
				Chemistry, analytical	11/76
8	Sensors and Actuators B: Chemical	130(2.2)	3.535	Electrochemistry	8/26
				Instruments & instrumentation	2/57
9	Analyst	126(2.1)	3.969	Chemistry, analytical	8/75
10	Chinese Journal of Analytical Chemistry	108(1.8)	0.769	Chemistry, analytical	61/75

注:TP(%)为在该期刊上发表的总论文数及所占比例(TP/5988),IF 为影响因子

## 7 分子印迹研究论文被引次数分布

1991—2013 年分子印迹相关的 5988 篇论文共被引 144552 次,平均每篇被引 24.12 次。如表 4 所示,截止到 2013 年 12 月,从未被引用过的文献有 749 篇,占 12.51%;被引次数在 1~100 的论文最多,有 4972 篇,占 83.03%;被引次数在 100~500 的文献有 257 篇,在 500~1000 的文献有 7 篇,大于 1000 次的论文有 3 篇。在这 3 篇高被引论文中,来自法国的作者 Dalko 和 Moisan 在 2004 年发表在 *Angewandte Chemie—International Edition* 的综述“*In the golden age of organocatalysis*”<sup>[11]</sup>的被引频次最高,达 1837 次,但这篇文章主要侧重于有机催化领域,只用一个小篇章阐述了分子印迹在催化领域的应用。

第 2 篇高被引论文为 1995 年发表在 *Angewandte Chemie—International Edition* 的“*Molecular imprinting in cross-linked materials with the aid of molecular templates—a way towards artificial antibodies*”<sup>[1]</sup>,至 2013 年共被引 1625 次,由来自德国杜塞尔多夫大学的 Wulff 教授单独著作。Wulff 教授是共价键分子印迹的创始人,1977 年发表了第一个共价印迹实例,使分子印迹技术取得了突破性进展。

第 3 篇高被引论文是由瑞典科学家 Mosbach(非共价键分子印迹创始人)于 2000 年发表在 *Chemical Reviews* 上的分子印迹相关综述,题名为“*Molecularly imprinted polymers and their use in biomimetic sensors*”<sup>[12]</sup>,共被引 1028 次,这篇文章综述了分子印迹的发展和进步,尤其侧重论述在仿生传感器方面的应用。

表 4 1991—2013 年分子印迹技术研究论文被引情况

Table 4 Citation analysis of the MIT papers during 1991—2013

被引次数 $N$	TP	$P/\%$
$N \geq 1000$	3	0.05
$500 \leq N < 1000$	7	0.12
$100 \leq N < 500$	257	4.29
$1 \leq N < 100$	4972	83.03
$N = 0$	749	12.51

注:TP、P 为总论文数及所占比例(TP/5988)

## 8 结语

通过对分子印迹技术研究论文的文献计量分析,可以了解各国、各主要研究机构在分子印迹方面的发展态势。对 Web of Science™ 网络数据库所收录的分子印迹相关研究论文进行文献计量分析,反映出从 20 世纪 90 年代以来,分子印迹的文章数量随时间迅速增长,上升趋势满足指数函数。

按全部著者统计,1991—2013 年中国是分子印迹领域增长最快的国家,也是发表论文最多的国家。瑞典、德国、英国、法国和美国为论文被引频次较高的国家。

国际上在分子印迹技术方面发文量较多的科研机构为

中国科学院、瑞典隆德大学、中国南开大学、英国克兰菲尔德大学和奥地利维也纳大学。其中瑞典隆德大学的论文篇均被引频次和被引频次大于 100 次的论文数最高,遥遥领先于其它国家,发表了很多高水平高质量文章,为其它科研机构提供文献参考,引领着分子印迹技术的发展方向。

发表分子印迹相关论文的学术期刊主要属于化学分析学科,*Analytica Chimica Acta* 和 *Journal of Chromatography A* 发表分子印迹相关学术文章较多,*Biosensors & Bioelectronics* 和 *Analytical Chemistry* 期刊的影响因子较高, $IF > 5.0$ ,所发表的学术论文可促进该研究领域的发展。

分析论文被引频次可知,被引用 1~100 次之间的论文数最多,占 83.03%,被引次数大于 1000 次的论文有 3 篇,其文献类型都是综述,这些高质量综述为其它研究者提供了文献参考,促进了该领域的发展。

## 参考文献

- 1 Wulff G. Molecular imprinting in cross-linked materials with the aid of molecular templates—A way towards artificial antibodies [J]. *Angew Chem Int Ed*, 1995, 34(17): 1812
- 2 谭天伟. 分子印迹技术及应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2010
- 3 Vlatakis G, Andersson L I, Müller R, et al. Drug assay using antibody mimics made by molecular imprinting [J]. *Nature*, 1993, 361: 645
- 4 Zhou F, Guo H C, Ho Y S, et al. Scientometric analysis of geostatistics using multivariate methods [J]. *Scientometrics*, 2007, 73(3): 265
- 5 潘教峰, 张晓林, 王小梅, 等. 科学结构地图 2009 [M]. 北京: 科学出版社, 2010
- 6 Pauling L. A theory of the structure and process of formation of antibodies [J]. *J Am Chem Soc*, 1940, 62(10): 2643
- 7 Dickey F H. The preparation of specific adsorbents [J]. *PNAS*, 1949, 35(5): 227
- 8 Wulff G, Sarhan A, Zabrocki K. Enzyme-analogue built polymers and their use for the resolution of racemates [J]. *Tetrahedron Lett*, 1973, 14(44): 4329
- 9 Wulff G, Vesper W, Grobe Einsler R, et al. Enzyme-analogue built polymers, 4. On the synthesis of polymers containing chiral cavities and their use for the resolution of racemates [J]. *Makromol Chem*, 1977, 178(10): 2799
- 10 Meng Z H, Zhou L M, Wang Q H, et al. Molecular imprinting of (R)-(+)-alpha-methylbenzylamine for chiral stationary phase [J]. *Chinese Chem Lett*, 1997, 8(4): 345
- 11 Dalko P I, Moisan L. In the golden age of organocatalysis [J]. *Angew Chem Int Ed*, 2004, 43(39): 5138
- 12 Haupt K, Mosbach K. Molecularly imprinted polymers and their use in biomimetic sensors [J]. *Chem Rev*, 2000, 100(7): 2495

(责任编辑 杨 霞)