

王爽, 刘建国, 汪群慧. 基于 Web of Science 数据库的纤维素质物料降解趋势分析[J]. 环境科学与技术, 2013, 36(7): 133-138. Wang Shuang, Liu Jian-guo, Wang Qun-hui. Research trend analysis of cellulose materials degradation based on Web of Science database[J]. Environmental Science & Technology, 2013, 36(7): 133-138.

基于Web of Science数据库的纤维素质物料降解趋势分析

王爽¹, 刘建国^{1,2}, 汪群慧^{1*}

(1.北京科技大学环境工程系,北京 100083; 2.内蒙古工业大学环境工程系,内蒙古 呼和浩特 010051)

摘要 纤维素类物质作为一种可再生生物质能源,对于解决世界能源紧缺问题具有重要意义,因而纤维素类物质降解技术受到人们越来越多的关注。文章从文献计量角度定量分析纤维素降解物质研究趋势。数据来源于 Web of Science 中 Science Citation Index-Expanded,对 1992-2009 年间该库收录的相关文献进行计量分析。结果表明,近几年,纤维素降解领域发文量显著增长,统计时间范围内,美国发文量居榜首。研究机构中,日本东京大学发文量位列第一,环境工程领域中影响因子较高的期刊《Bioresource Technology》对该领域的发文量较大。环境、生物及相关的能源学科和材料、医学学科是纤维素降解的主流领域。涉及的学术领域刊主要有《Biotechnology & Applied Microbiology》、《Polymer Science》、《Biochemistry & Molecular Biology》。此外,关键词分析结果表明,生物量、生物降解、热解、发酵、酶解等研究方向在近 18 年内逐渐成为研究热点。

关键词 纤维素类物质; 降解; 文献计量; 研究趋势

中图分类号 X173 文献标志码 A doi:10.3969/j.issn.1003-6504.2013.07.027 文章编号:1003-6504(2013)07-0133-06

Research Trend Analysis of Cellulose Materials Degradation Based on Web of Science Database

WANG Shuang¹, LIU Jian-guo^{1,2}, WANG Qun-hui^{1*}

(1.Department of Environmental Engineering, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China; 2.Department of Environmental Engineering, Inner Mongolia University of Technology, Hohhot 010051, China)

Abstract: As a kind of renewable biomass energy, cellulose materials are important to solve the problem of world's energy scarcity and therefore the degradation of them has attracted more attentions. Bibliometric analysis was used in the study for quantitative evaluation of current research trend on cellulose materials degradation. The research articles indexed from the Science Citation Index-Expanded in Web of Science database published from 1992 to 2009 were investigated. Results indicated that the scientific papers published on cellulose materials degradation had a significant increase over the years and America dominated the research outputs. However among all these institutes, the University of Tokyo from Japan has the largest production. In the field of environmental engineering, the journal *Bioresource Technology* has published the most articles in this area. The mainstream of cellulose materials degradation research is in the fields of environment, biotechnology and related energy, material and medical science. The most popular journals in this area are *Biotechnology & Applied Microbiology*, *Polymer Science*, *Biochemistry & Molecular Biology*. Key word analysis revealed that biomass, biodegradation, pyrolysis, fermentation and enzymolysis have become the research hotspots during the latest 18 years.

Key words: cellulose material; degradation; bibliometrics; research trend

纤维素质物料在自然界广泛存在且每年再生量巨大,随着能源危机以及环境问题的日益严重,利用纤维素质物料生产高附加值资源(乙醇、沼气、乳酸

等)也成为人类维持可持续发展的研究方向^[1-4]。由于绝大多数纤维素存在于半纤维素和木质素复杂的包裹结构中,纤维素的降解成为人类利用纤维素的关键。

《环境科学与技术》编辑部 (网址)http://fjks.chinajournal.net.cn (电话)027-87643502 (电子信箱)hjkxyjs@126.com

收稿日期 2012-09-28; 修回 2012-11-19

基金项目: 国家高技术研究发展“863”计划项目(2008AA06Z34)

作者简介: 王爽(1986-)女,硕士研究生,主要研究方向为环境工程 (电子信箱)jgliu_yxc@163.com; * 通讯作者 教授,博士生导师 (电话)010-62332778 (电子信箱)wangqh59@sina.com。

因此,针对不同类型纤维素质物料的降解技术在世界范围内广泛展开^[5-6]。从20世纪60年代末起,学术界对该领域的探索逐渐开始。此后,不同的降解技术被研究和应用于纤维素质物料的资源化过程^[7-10]。迄今为止,纤维素质物料的降解和资源化研究已在世界范围内展开40多年,与此同时,其相关研究文献数量迅速增加,涉及的学科领域也越来越多,主要包括生物技术、环境科学、能源和燃料、高分子材料和医学等,其中,学科交叉现象也越来越明显^[11-14]。

文献是科学研究的成果体现,文献计量分析可系统地评估某一领域内科研结果的相对重要程度,揭示出该领域在一段时期内的发展方向,表征该项研究的地域分布情况^[15]。近年来,纤维素降解领域发文量较大且有跳跃式增长趋势,但从文献计量角度研究其发展动态的报道相对较少。本文就此问题,对纤维素降解的相关检索文献进行研究趋势计量分析,以便准确掌握该领域的研究现状及发展方向,帮助科研工作者了解该领域在全球范围内的整体研究情况,明确未来的研究方向。

1 数据来源与方法

ISI Web of Science 是全球最大、覆盖学科最多的综合性学术信息资源,其引文数据库 SCI (Science Citation Index) 已成为国际间学者交流的主要平台,也是研究人员进行学术检索的主要工具。本研究以“fibrin or cellulose”与“degradation or degrade or degrading or degradable or degradative or degradability or degraded or degrades or degradations”为检索词,在 ISI Web of Science 数据库中检索获得 6 819 篇文献信息,采用 Ho 等归纳出的文献数据分析方法^[16],应用 Microsoft Excel 2007 软件对文档类型、语言、文档所属国家及机构、文献作者、关键词、引文量、引用次数、页数、学科分类、出版物名称等信息进行统计整理。最后对整理出的数据信息结合具体专业进行研究领域的研究趋势分析。

2 结果与讨论

经统计分析,得到 9 种可被 ISI 收录的文献类型。研究型论文(83%)是最常采用的文献形式,其次是会议论文(10.51%)、综述(3.97%)、会议摘要(1.38%)、注解(0.57%)、社论材料(0.18%)、信件(0.18%)、更正(0.06%)、再版(0.02%)、报道记事(0.02%)、附加修正(0.02%),与研究性论文相比,影响较小。因此,研究型论文是文献的主要形式。本文仅对检出的 6 819 篇研究型论文进行统计分析。

通过对纤维素降解发文语种计量分析得出,

97.1%的期刊论文语言选用英语(7 973),其后依次为德语(64)、法语(38)、汉语(28)、俄语(26)、日语(26)、葡萄牙语(18)、西班牙语(14)、波兰语(9)、捷克语(5)、韩语(4)、塞尔维亚语(2)、土耳其语(2)、匈牙利语(1)以及克罗地亚语(1)。与众多领域相似,在纤维素降解研究中,英语仍占绝对主导地位。由于 ISI 出版期刊更倾向于使用英语,预计未来英语将会有更高的普及率。

2.1 文献产出整体趋势分析

纤维素降解的研究在 21 世纪飞速发展。2006-2008 年间,年总计发文量从 266 篇猛增至 765 篇。由图 1 可知,有关厌氧发酵产沼气的论文数量在 2005 年以前处于平稳波动状态,此后发文量突然减少后又显著提升。由于纤维素之类废物数量增长较快以及人类对能源的迫切需求,纤维素质类物质资源化、能源化已成为全球范围内的研究热点。

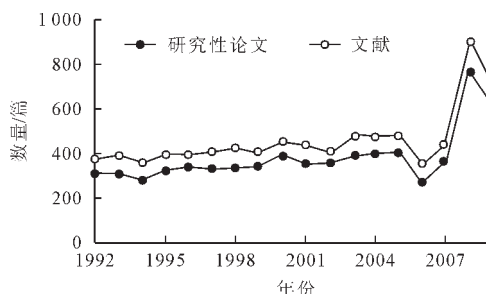


图1 1992-2009年纤维素降解相关SCI文献数量
Fig.1 Number of SCI publications referring to cellulose degradation during 1992 to 2009

1992-2009年,有关纤维素降解历年发文基本情况见表1。由表1可知,篇均引文数量从28篇(1992年)增加至34篇(2009年),增长幅度约为21%;同期作者人数则从3.8人增加到4.7人,表明参与该研究的人员总数在逐渐增加。论文长度基本保持稳定,平均篇幅为8.3页。每篇论文涉及科研机构总数从1.5增加到1.9个,参与项目的国家从1.1增加到1.2个。由此表明,各国家及其科研机构进一步加深了对纤维素降解技术的探索,该项研究在全球范围内的关注度也在逐步提升。

2.2 主要国家及研究机构情况分析

通过对期刊论文作者(至少1位)所提供的地址及附属单位进行统计,得出不同地区发文量分布情况。重新分类后,源于英格兰、苏格兰、北爱尔兰及威尔士的论文,归属地定为英国;源于香港的论文含在中国内。对检出的6 819篇论文分析可知,在提供有作者信息的论文中,253篇(3.7%)为独立作者,6 566篇(96.3%)为合作论文。统计时间跨度内选取发文量居前10位国家作分析,并统计各国总发文量、独立发文

表 1 1992-2009 年历年发文基本特征
Table 1 Basic characteristics by year of publication outputs from 1992 to 2009

年份	TP	AU/TP	NR/TP	PG/TP	NC/TP	NI/NP
1992	311	3.8	28	8.1	1.1	1.5
1993	308	4.1	29	7.9	1.1	1.5
1994	281	4.1	30	7.7	1.1	1.6
1995	323	4.3	28	8.1	1.2	1.5
1996	331	4.2	30	8.0	1.2	1.6
1997	327	4.0	30	7.8	1.2	1.6
1998	334	4.2	31	8.5	1.3	1.8
1999	332	4.2	30	8.4	1.2	1.7
2000	383	4.2	31	8.4	1.2	1.8
2001	353	4.3	30	8.0	1.2	1.8
2002	344	4.4	30	8.4	1.2	1.9
2003	382	4.5	31	8.5	1.3	1.8
2004	398	4.4	32	8.6	1.3	1.8
2005	411	4.4	32	8.7	1.2	1.8
2006	266	4.3	35	8.8	1.2	1.9
2007	369	4.8	32	8.4	1.3	2.0
2008	765	4.5	33	8.5	1.2	1.9
2009	603	4.7	34	8.4	1.2	1.9
总计	6 821					
平均		4.3	31	8.3	1.2	1.8

注:TP:总发文量;AU/TP:篇均作者人数;NR/TP:篇均引量;PG/TP:篇均页数;NC/TP:篇均参与国家个数;NI/TP:篇均参与研究机构个数。

量以及按第一作者、通讯作者统计的论文数量,且按所占百分比进行排名(见表 2)。结果显示,美国的发文量占全球总量的 22%,达到 1 476 篇,高出排在第二的日本发文量近 1 倍。另外,日本、德国、英国和法国的发文量都超过 400 篇以上,其合作发文占总发文量的比例分别为 29%、16%、35%、43%和 42%。由此表明,前 5 位发文较多的国家中,美国和日本在纤维素降解领域的独立研究能力最强。一个国家在纤维素降解领域研究趋势的发文量可以表明这个国家对能源需求的紧迫性、对环境污染的重视程度以及科研力量的储备程度。1992-2009 年间发文量居前 8 位国家统计情况见图 2。数据显示,在此时间范围内,美国、中国和日本从 2006 年开始迅速增加,其中,中国在 1998 年以前的发文总量在 8 个国家中最少,2006-2009 年 3 a 时间发文量迅速增加为世界第二,仅次于美国。表明纤维素降解在我国成为一个研究热点,越来越多的科研机构 and 人员开始从事这方面的研究,这也和我国近年来社会经济迅速发展,对能源和资源的需求急剧增长,国民对环境污染意识的提高相吻合。

通过统计论文作者(至少 1 位)所属单位,对不同研究机构发文情况进行分析。独立发文及机构间合作发文总数分别为 3 417 篇(50.1%)、3 393 篇(49.8%),在 ISI Web of Science 数据库中,有 9 篇论文没有附作者信息。经统计,检出的 6 819 篇论文共由 4 136 个研究机构发表。其中,仅发表 1 篇论文的机构有 2 480

表 2 1992-2009 年发文量居前 10 位国家/地区
Table 2 Top 10 countries/territories of articles during 1992 to 2009

国家	TP	TPR/%	SPR/%	FPR/%	RPR/%	CR/%
美国	1 476	1(22)	1(19)	1(18)	1(17)	29
日本	801	2(12)	2(12)	2(11)	2(11)	16
德国	510	3(7.5)	3(5.9)	3(6)	3(6)	35
英国	453	4(6.7)	5(4.6)	4(5.1)	5(4.9)	43
法国	431	5(6.3)	6(4.5)	6(4.9)	6(4.7)	42
中国	396	6(5.8)	4(5.2)	5(5)	4(5.4)	26
加拿大	317	7(4.7)	8(3.4)	7(3.8)	8(3.6)	40
荷兰	280	8(4.1)	9(3.2)	9(3.3)	9(3.2)	36
印度	267	9(3.9)	7(4.1)	8(3.7)	7(3.7)	14
意大利	258	10(3.8)	10(3.2)	10(3.2)	10(3.1)	31

注:TP:总发文量(篇);TPR:总发文量排名及所占百分比;SPR:独立发文量排名及所占百分比;FPR:按第一作者统计发文量排名及所占百分比;RPR:按通讯作者统计发文量排名及所占百分比;CR:合作发文占发文总数百分比。

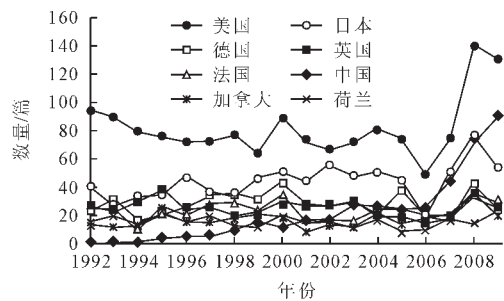


图 2 1992-2009 年发文量前 8 位国家
Fig.2 The publication output of the top 8 countries during 1992 to 2009

个(60%) 发文量为 2 篇及 3 篇以上的机构数量分别为 633 个(15%)、1 023 个(25%)。由表 3 可知,发文量居前 15 位的研究机构中,美国占 5 个,日本占 3 个,法国占 2 个,其余国家各占 1 个。日本东京大学、日本京都大学、法国农业科学研究院发文量位列前三。其中,日本京都大学独立研发能力较强,日本东京大学的合作研究开展较多,而法国农业科学研究院通讯作者发文量位居榜首,表明该机构开展纤维素降解研究较早,适合学者到此进修学习。此外,日本东京大学、日本京都大学、法国农业科学研究院合作发文占总发文量比例分别为 70%、63%、61%,由此可知,发文量居前 3 位的机构中,法国农业科学研究院独立研究能力较强。以上分析可知日本在纤维素降解领域的综合研究能力很强,这与日本作为岛国资源严重缺乏,非常重视新能源的开发与利用的政策有关。中国科学院发文量虽然排在第六,但该机构在国内比较分散,所以其研究实力也比较分散,不能确定其具体研究机构的研究能力。1992-2009 年间,中国在纤维素降解领域发文量最多的 3 所研究机构分别为中国科学技术研究院(55 篇)、华南理工大学(33 篇)和中国农业大学(27 篇),但在总发文量排名中,它们分别位于 6 名、27 名和 42 名。表明在该领域研究中,中国相较于其他国家仍有一定差距,尤其高校的研究能力有待加强(见表 4)。

表3 1992-2009年发文量居前15位的研究机构
Table 3 Top 15 most productive institutes of articles during 1992 to 2009

研究机构	TP	TPR/%	SPR/%	CPR/%	FPR/%	RPR/%	CR/%
日本东京大学	81	1(1.2)	5(0.7)	1(1.7)	4(0.66)	4(0.67)	70
日本京都大学	79	2(1.2)	1(0.85)	2(1.5)	2(0.72)	3(0.69)	63
法国农业科学研究所	72	3(1.1)	2(0.82)	4(1.3)	1(0.79)	1(0.82)	61
美国农业部农业研究局	64	4(0.94)	7(0.67)	5(1.2)	5(0.62)	2(0.76)	64
美国加州大学戴维斯分校	59	5(0.87)	2(0.82)	13(0.91)	3(0.7)	7(0.54)	53
中国科学院	55	6(0.81)	5(0.7)	13(0.91)	7(0.54)	5(0.61)	56
美国乔治亚州大学	54	7(0.79)	24(0.38)	5(1.2)	11(0.47)	27(0.3)	76
法国科学研究中心	53	8(0.78)	245(0.088)	2(1.5)	16(0.41)	23(0.34)	94
俄罗斯科学研究所	53	8(0.78)	4(0.76)	22(0.8)	6(0.57)	6(0.59)	51
美国南卡罗莱纳州州立大学	48	10(0.7)	16(0.47)	10(0.94)	8(0.5)	7(0.54)	67
斯洛伐克科学研究所	46	11(0.68)	20(0.44)	13(0.91)	19(0.37)	11(0.47)	67
巴西圣保罗大学	46	11(0.68)	20(0.44)	13(0.91)	8(0.5)	11(0.47)	67
美国康奈尔大学	46	11(0.68)	10(0.56)	22(0.8)	12(0.46)	13(0.42)	59
日本北海道大学	44	14(0.65)	14(0.5)	22(0.8)	8(0.5)	9(0.52)	61
荷兰应用科学研究所	42	15(0.62)	174(0.12)	7(1.1)	40(0.26)	39(0.27)	90

注:TP:总发文量(篇),TPR:总发文量排名及所占百分比,SPR:独立发文量排名及所占百分比,FPR:按第一作者统计发文量排名及所占百分比;RPR:按通讯作者统计发文量排名及所占百分比,CR:合作发文占发文总数百分比。

表4 1992-2009年发文量居前10位的中国研究机构
Table 4 Top 10 most productive Chinese institutes of articles during 1992-2009

研究机构	TP	TPR/%
中国科学技术研究院	55	1(10.5)
华南理工大学	33	2(6.3)
中国农业大学	27	3(5.1)
山东大学	26	4(5)
四川大学	19	5(3.6)
浙江大学	19	5(3.6)
上海交通大学	10	7(1.9)
天津大学	10	7(1.9)
东华大学	9	9(1.7)
中国科学技术大学	9	9(1.7)

注:TP:总发文量(篇),TPR:总发文量排名及所占百分比。

2.3 相关学科及学术期刊情况分析

基于 ISI 的期刊引用报告(JCR)中的学科分类,近 18 a 内,有关纤维素降解的论文共分布在 158 个学科中。由图 3 可知,检出论文涉及最多的学科按降序排列如下:Biotechnology & Applied Microbiology(生物技术和应用微生物学)(1 006,15%)、Polymer Science(高分子材料科学)(752,11%)、Biochemistry & Molecular Biology(生物化学和分子生物学)(748,11%)、Hematology(血液学)(627,9.2%)、Hematology(微生物学)(537,7.9%)、Peripheral Vascular Disease(血管疾病)(435,6.4%)。由上述分析可知,与纤维素降解研究相关最密切的行业为生物、环境、材料和医学,这些学科均为人类生活中非常重要的学科,其中生物技术和应用微生物学是纤维素类物质降解后资源化过程的重要手段,表明纤维素降解成为减缓能源危机和环境污染的重要技术。

此外,根据发文量及其所占百分比排名,得到 1992-2009 年间世界范围内该领域前 10 位高产期刊

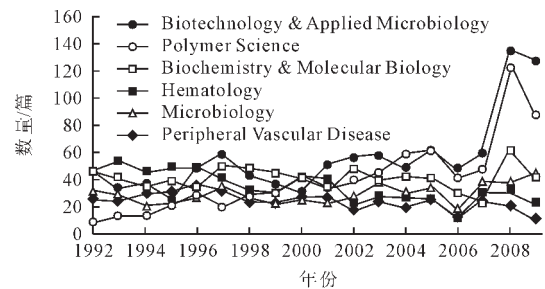


图3 1992-2009年研究论文涉及最多的6个学科
Fig.3 Top 6 productive subjects involved during 1992-2009

(见表 5) 总计共占发文总数的 16.1%。其中与环境相关的有 6 类、与材料相关的有 4 类、与医学相关的有 2 个。中国纤维素降解的文章主要发表在如表 6 所示的期刊中,总计共占全部中国发文的 26.3%。其中有 2 种期刊来自中国,但影响因子均相对较低。

由此表明,中国期刊在该领域影响力较低。中国作者在 1992-2009 年间总计发文 396 篇,研究的深度和广度有待提高。影响因子常用来评估同一研究领域不同期刊的相对重要程度,发表中国纤维素降解文献影响因子最高的期刊为环境工程领域的《Bioresource Technology》,但有时影响因子未必能判定某一期在该领域的影响程度。《Environment Science and Technology》期刊虽然影响因子和《Bioresource Technology》基本相同,但其影响力更大,而中国的研究人员在该期刊上的发文量很低。

2.4 关键词分析

统计分析作关键词的目的在于寻找科学研究趋势,有助于研究者快速掌握科研动态。近几年,出现了可进行此项分析的文献计量学方法,同时也开始利用高频词汇归纳研究热点。本次研究共检出 1992~2009

表 5 1992–2009 年发表纤维素降解文献居前 10 位期刊
Table 5 Top 10 journals publishing articles of anaerobic digestion for methane during 1992 to 2009

排名	期刊名称	TP	IF	学科分类
1	Thrombosis and Haemostasis	154	4.451	Hematology ;Peripheral Vascular Disease
2	Journal of Applied Polymer Science	137	2.094	Polymer Science
3	Applied and Environmental Microbiology	127	1.349	Biotechnology & Applied Microbiology ;Microbiology
4	Bioresource Technology	127	4.253	Agricultural Engineering ;Biotechnology & Applied Microbiology ;Energy & Fuels
5	Thrombosis Research	109	2.406	Hematology ;Peripheral Vascular Disease
6	Polymer Degradation and Stability	96	2.154	Polymer Science
7	Carbohydrate Polymers	93	0.189	Chemistry, Applied ;Chemistry, Organic ;Polymer Science
8	Cellulose	87	2.107	Materials Science, Paper & Wood ;Materials Science, Textiles ;Polymer Science
9	Journal of Biological Chemistry	84	2.094	Biochemistry & Molecular Biology
10	Applied Microbiology and Biotechnology	76	1.349	Biotechnology & Applied Microbiology

注 :TP :总发文章(篇) ;IF :影响因子。

表 6 1992–2009 年发表中国纤维素降解文献居前 10 位期刊
Table 6 Top 10 journals publishing China's articles of anaerobic digestion for methane during 1992 to 2009

排名	期刊名称	TP	IF
1	Journal of Applied Polymer Science	26	1.240
2	Carbohydrate Polymers	16	3.463
3	Polymer Degradation and Stability	12	2.594
3	Bioresource Technology	12	4.365
5	Journal of Agricultural and Food Chemistry	8	2.816
5	Energy & Fuels	8	2.444
7	Journal of Environmental Sciences–China	7	1.513
8	Spectroscopy and Spectral Analysis	5	0.843
8	Journal of Chemical Technology and Biotechnology	5	1.818
8	Chemical Journal of Chinese Universities–Chinese	5	0.656

注 :TP :总发文章(篇) ;IF :影响因子。

年纤维素降解领域 11 169 个作者关键词,并将其进行计算与排名,最终分析得到 30 个最常用高频词汇(见表 7)。其中,除“degradat*”、“cellulose”和“fibrin*”等本领域作者关键词外,“biodegradation”、“pyrolysis”、“thermal degradation”、“fermentation”和“endoglucanase、xylanase、beta–glucosidase”等词的高频使用,表明目前纤维素降解的方式主要为生物降解、热解、发酵和酶解。其中“biodegradation”和“thermal degradation”的检索排名在 1992–1997 年分别在 28 和 270 位,到 2004–2009 年时已经分别大幅提升到第 5 和第 10 位,说明这 2 种纤维素降解技术已经逐渐成为当前的研究重点和热点。此外,“biomass”代表纤维素类物质资源化利用方向,该关键词在 1992–1997 年和 1998–2003 年间的检索排名一直在 125 位左右,但是在 2004–2009 年间大幅上升到第 8 位,这是由于近年来能源危机的出现,使得对新能源的需求快速增加,因此,研究纤维素物质降解生产高附加值的能源成为了研究热点。因此,分析所得的数据基本反映了目前的研究现状。同时表 7 也反映出当前研究最多的纤维素类物质降解原料是麦秸和木材,这是由于

这 2 种物料的来源最为广泛,可满足新能源对原料的大量需求。

3 结论

通过对 Science Citation Index–Expanded、Derwent Innovations Index of the Web of Science 数据库的纤维素类物质降解领域文献检索结果进行计量分析,明确了 1992–2009 年间纤维素类物质降解领域的整体研究趋势。结果表明,随着世界经济的发展、能源危机的爆发以及对环境影响的重视纤维素类物质降解的研究已引起世界范围内的广泛关注,越来越多的国家及其科研机构 and 人员参与其中。其中,日本东京大学是发文章最多的研究机构,主流领域的相关学科主要包括生物、环境、材料和医学以及能源;关键词分析结果表明,生物降解、热解、发酵和酶解成为近期内的纤维素降解研究热点。统计时间范围内,美国发文章居榜首,其次是日本和德国。中国的发文章数量增长最快,2009 年首次跃居第二位,但是,中国现阶段在该领域研究与其他一些发达国家相比还存在存在差距,虽然近几年内上升趋势明显,但研究能力仍有待加强。

表 7 1992–2009 年检索频率前居 25 位作者关键词
Table 7 Top 30 author key words in the ranking of frequency during 1992 to 2009

作者关键词	TP	R/%			
		1992–2009 年	1992–1997 年	1998–2003 年	2004–2009 年
cellulose	540	1(11)	1(8.5)	1(12)	1(12)
fibrinolysis	235	2(5)	2(7.7)	2(7.1)	6(2.3)
cellulase	204	3(4)	6(3.7)	3(4.6)	2(4.4)
lignin	173	4(4)	5(4.1)	4(3.3)	4(3.7)
degradation	142	5(3)	11(1.8)	9(2.3)	3(4)
cellulose degradation	122	6(3)	7(3)	6(2.8)	7(2.3)
D-dimer	117	7(2)	3(4.9)	8(2.4)	15(1.5)
fibrinogen	102	8(2)	4(4.3)	7(2.6)	41(0.86)
biodegradation	101	9(2)	28(1.1)	11(2.1)	5(2.7)
coagulation	97	10(2)	11(1.8)	5(2.9)	14(1.6)
fibrin	84	11(2)	8(2.7)	9(2.3)	31(1)
kinetics	78	12(2)	19(1.3)	15(1.5)	12(1.9)
endoglucanase	77	13(2)	23(1.2)	13(1.7)	13(1.8)
pyrolysis	75	14(2)	28(1.1)	18(1.3)	11(2)
thermal degradation	74	15(2)	270(0.2)	12(1.8)	10(2)
hemicellulose	67	16(1)	18(1.4)	18(1.3)	16(1.5)
mechanical properties	59	17(1)	167(0.3)	57(0.66)	9(2.1)
biomass	58	18(1)	122(0.4)	125(0.4)	8(2.2)
cell wall	57	19(1)	14(1.7)	24(1.1)	28(1)
disseminated intravascular coagulation	56	20(1)	10(2.1)	18(1.3)	58(0.68)
xylanase	56	20(1)	59(0.71)	14(1.6)	26(1.1)
wheat straw	54	22(1)	28(1.1)	37(0.86)	20(1.4)
wood	53	23(1)	47(0.81)	41(0.79)	16(1.5)
rumen	51	24(1)	19(1.3)	24(1.1)	34(0.95)
lignocellulose	50	25(1)	34(1)	96(0.46)	16(1.5)
thrombosis	50	25(1)	11(1.8)	24(1.1)	58(0.68)
purification	49	27(1)	23(1.2)	48(0.73)	24(1.2)
fermentation	49	27(1)	72(0.61)	15(1.5)	39(0.9)
beta-glucosidase	47	29(1)	47(0.81)	33(0.93)	26(1.1)
xylan	46	30(1)	72(0.61)	22(1.2)	31(1)

注 :TP 总发文量(篇) R 排名(按百分比)。

[参考文献]

- [1] Sun Y ,Cheng J Y. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production :a review[J]. *Bioresource Technology* , 2002 , 83 :1–11.
- [2] Sun F B ,Chen H Z. Enhanced enzymatic hydrolysis of wheat straw by aqueous glycerol pretreatment[J]. *Bioresource Technology* ,2008 , 99(14) :6156–6161.
- [3] Singhvi M ,Joshi D ,Adsul M ,et al. D-(–)-Lactic acid production from cellobiose and cellulose by *Lactobacillus lactis* mutant RM2–24[J]. *Green Chemistry* ,2010 ,12(6) :1106–1109.
- [4] Chen W H ,Tu Y J ,Sheen H K. Disruption of sugarcane bagasse lignocellulosic structure by means of dilute sulfuric acid pretreatment with microwave-assisted heating[J]. *Applied Energy* ,2011 ,88(8) :2726–2734.
- [5] Divya Nair M P ,Padmaja G ,Moorthy S N. Biodegradation of cassava starch factory residue using a combination of cellulases ,xylanases and hemicellulases[J]. *Biomass and Bioenergy* ,2011 ,35(3) :1211–1218.
- [6] Foston M ,Ragauskas A J. Changes in the structure of the cellulose fiber wall during dilute acid pretreatment in populus studied by H–1 and H–2 NMR[J]. *Energy & Fuels* ,2010 , 24 :5677–5685.
- [7] Liu C Z ,Cheng X Y. Improved hydrogen production via thermophilic fermentation of corn stover by microwave-assisted acid pretreatment[J]. *International Journal of Hydrogen Energy* ,2010 ,35(17) :8945–8952.
- [8] Moilanen U ,Viikari L. Enzymatic modification of lignin for enhanced hydrolysis[J]. *Journal of Biotechnology* ,2010 , 150(S) :574–575.
- [9] Zheng M X ,Li X J ,Li L Q ,et al. Enhancing anaerobic biogasification of corn stover through wet state NaOH pretreatment[J]. *Bioresource Technology* ,2009 ,100(21) :5140–5145.
- [10] Liu Y ,Yu P ,Song X ,et al. Hydrogen production from cellulose by co-culture of *Clostridium thermocellum* JN4 and *Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum* GD17 [J]. *International Journal of Hydrogen Energy* ,2008 , 33(12) : 2927–2933.
- [11] Abdel-Rahmana M A ,Yukihiro T ,Sonomoto K. Lactic acid production from lignocellulose derived sugars using lactic acid bacteria overview and limits[J]. *Journal of Biotechnology* ,2011 ,156(4) :286–301.
- [12] Quye A ,Littlejohn D ,Pethrick R A ,et al. Investigation of inherent degradation in cellulose nitrate museum artefacts[J]. *Polymer Degradation and Stability* ,2011 , 96(7) :1369–1376.
- [13] Chen Y ,Li G ,Yang F ,et al. Mn/ZSM–5 participation in the degradation of cellulose under phosphoric acid media[J]. *Polymer Degradation and Stability* ,2011 ,96(5) :863–869.

(下转第 156 页)

与微核率进行相关性分析得知,总磷含量与微核率呈现较显著相关性(见图5),相关方程 $y=0.1773x-1.0785$ ($R^2=0.7605$)。

表6 新立河各采样点总磷测定结果与水质类别
Table 6 Total phosphorus determination results and water quality categories of each site in Xinli River

采集样点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
总磷/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	0.13	0.24	0.38	1.24	1.62	2.81	1.98	0.34	0.28
水质类别				劣	劣	劣	劣		

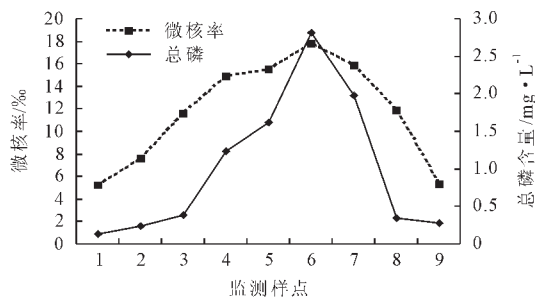


图5 各采样点总磷含量和微核率的比较
Fig.5 Comparison of total phosphorus content and micronucleus rate of each sampling point

3 结论与讨论

(1)利用蚕豆根尖细胞微核技术检测新立河水体污染状况时发现,各样点均可诱导蚕豆根尖细胞微核率的增加,表明新立河水有致突变活性物质的存在,这些化合物可诱导根尖细胞在分裂过程中出现异常,形成大量的微核。

在黄五桥至黄十五桥河段,微核率显著增加,污染指数高,水体严重污染,属劣类水质,表明该段致突变物含量较高。目前,由于新立河水体组成成分比较复杂,致突变活性物质的成分和含量还需进一步研究。但有大量研究显示,水体中重金属成分对蚕豆微核的形成有重要作用。易志刚等^[10]认为, Pb^{2+} 、 Cr^{3+} 和 Cd^{2+} 的浓度对蚕豆根尖细胞微核的形成有剂量效应。李海云等^[11]认为在一定浓度范围内, Cu^{2+} 、 Cr^{6+} 及 Hg^{2+} 浓度与微核率呈正相关,但重金属的不同组合对微核的影响较为复杂,既有协同作用,又有拮抗作用。

(2)新立河起自滨州市南海水利风景区,是新立河的源头,河道全长31.2 km,经滨城区滨北镇坡杜村东北入潮河。河道两端污染较轻,在黄五桥至黄十五桥河段,分布大量的排污管口,污水颜色发黑,水体臭味非常明显,是新立河主要的污染来源。该河段微核检测结果与水体COD、

DO、氨氮、总磷等指标相关性较高。水体中常规指标对蚕豆微核的影响还未有报道。本研究通过统计结果,分析了两者的相关性,但其单因子对微核的影响效应并没有深入研究。笔者认为,水体中COD、DO、BOD、氨氮、总磷等含量可能对蚕豆微核的形成起到直接或间接的促进作用。尤其是氨氮和磷的含量,会引起水体的富营养化现象,导致蓝细菌的过度生长,其分泌的毒素对生物体有严重的致畸变作用,如微囊藻毒素,可能是通过诱导氧化损伤或抑制蛋白磷酸酶活性造成细胞有丝分裂异常。

(3)微核试验结果与水体COD、BOD、DO、氨氮、总磷等监测指标皆表明新立河水质已达重度污染。因此,应加强水质监测,及时掌握水质变化的动态规律,采取有效措施减少生活污水、工业废水对河区水体生物的毒害影响,保护景区水体水质,维护滨城景观生态系统的平衡。

[参考文献]

- [1] 龚婧婧, 黄海涛, 米其利, 等. 微核技术研究进展[J]. 生物技术通报, 2012(3): 49-56.
- [2] 鲍乐, 施米德. 化学诱变后三亚胺酮对哺乳动物中国仓鼠骨髓血液的影响[J]. 人类遗传, 1970, 11(1): 35-54. Boller K, Schmid W. Chemical mutagenesis in mammals of the Chinese hamster bone marrow as an *in vivo* test system hematological findings after treatment with trenimon [J]. Humangenetik, 1970, 11(1): 35-54. (in Chinese)
- [3] 李雅轩, 胡英考, 蔡民华, 等. 应用微核技术对北京三海水域污染状况的研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(9): 1106-1109.
- [4] 张平, 汪珍春, 姚焱, 等. 蚕豆根尖微核技术研究水体中铊的遗传毒性[J]. 生态环境, 2008, 17(1): 47-49.
- [5] 白延明, 杨永军, 杨辉. 蚕豆微核试验法检测工业废水污染的研究[J]. 环境导报, 1997(2): 5-7.
- [6] 陈瑞娇, 邹佩贞, 马丽霞, 等. 利用蚕豆根尖微核技术监测韶关市区河段水质的研究[J]. 生态科学, 2006, 25(2): 165-167.
- [7] 宋晶, 野大君. 东辽河辽源境内水质监测评价分析[J]. 吉林水利, 2012(2): 32-34.
- [8] 肖健, 王璐. 有关蚕豆根尖微核试验的问题分析及改进策略[J]. 河北农业科学, 2010, 14(7): 166-169.
- [9] 国家环保局. 环境监测技术规范[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991: 281-284.
- [10] 易志刚, 傅巧娟. 应用蚕豆根尖微核技术研究3种重金属的遗传毒性[J]. 福建农林大学学报, 2009, 38(4): 396-399.
- [11] 李海云, 侯明, 陈召桂. $\text{Cu}(\text{II})$ 、 $\text{Cr}(\text{VI})$ 、 $\text{Hg}(\text{II})$ 诱导蚕豆根尖细胞微核效应[J]. 桂林工学院学报, 2005, 25(4): 538-542.

(上接第138页)

- [14] Ben Mansour M, Majdoub H, Bataille I, et al. Polysaccharides from the skin of the ray *Raja radula*. Partial characterization and anticoagulant activity[J]. Thrombosis Research, 2009, 123(4): 671-678.
- [15] Cimmino M A, Maio T, Ugolini D, et al. Trends in oto-

- laryngology research during the period 1995-2000: a bibliometric approach[J]. Otolaryngol Head Neck Surg, 2005, 132(2): 295-302.
- [16] Ho Y S. Bibliometric analysis of biosorption technology in water treatment research from 1991 to 2004[J]. International Journal of Environment and Pollution, 2008, 34(1-4): 1-13.