

农药残留快速检测技术国际发展态势与行业战略分析

邢颖 董瑜 袁建霞 杨艳萍

中国科学院文献情报中心 北京 100190

摘要：本研究对 2003~2014 年农药残留快速检测技术领域的国际研发态势进行了系统的定量分析和行业发展的战略分析。研究主要采用了文献计量方法、聚类和多维尺度统计分析等方法，通过分析国际主要领先国家和机构的论文和专利揭示该领域的发展态势，利用 SWOT 分析对行业发展战略进行了思考。研究表明，农药残留快速检测技术的研发近年快速发展，生物传感器，免疫分析技术是重要的研究热点，以纳米技术为代表的新兴技术不断涌现；我国研发产出较多，但研究质量有待提高。

关键词：农药残留快速检测，文献计量学，SWOT 分析法，研究态势

Bibliometrical Analysis of International Research Status of Rapid Detection of Pesticide and A SWOT Analysis

Xing Ying, Dong Yu, Yuan Jianxia, Yang Yanping

National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190

[Abstract] In order to give a systematic profile of the International research on rapid detection of pesticide from 2003 to 2014, this paper conducted a bibliometrical analysis combined with a multi variate statistical analysis, and co-word cluster analysis on the research articles and patents in this field. A followed SWOT analysis was implemented to help thinking strategically. It is concluded from the study that the research area of rapid detection of pesticide develop quickly, and biosensor and immunoassay are highlight technologies. The emerging technologies such as nano-related technology come to the force continually. China has plenty of research outcomes while the research quality is still need to improve.

[Keywords] rapid detection of pesticide, bibliometrics, SWOT analysis, research status

农药残留快速检测技术国际发展态势与行业战略分析

邢颖 董瑜 袁建霞 杨艳萍

中国科学院文献情报中心 北京 100190

1 引言

农药残留检测是食品安全领域的重要研究问题。农药残留检测技术主要分为以气相色谱法、高效液相色谱法、质谱法、红外光谱法、毛细管电泳、超临界流体色谱、薄层色谱等为主的常规实验室仪器检测技术和以生物传感器技术、免疫分析技术为代表的快速现场检测技术。^[1~2]

近年我国食品农药残留超标问题严重,日益引起广泛关注。要保证从农田到餐桌的食品安全,需要从种植基地、到众多流通环节、到农产品成品的整个产品生命周期都进行质量安全控制。国家相继出台了多项食品安全检测体系建设规划。^[3]这对农药现场、快速、实时、检测技术提出了重大需求。近年来,能够实现快速农药检测的各种便携式、低成本、高灵敏度的新方法、新技术及新产品不断研发出来。这些技术应用了免疫学、纳米技术、光电技术等生物、化学、物理等领域的最新前沿进展,克服了传统实验室农药检测技术的局限性。^[4~13]

本研究将分析世界主要国家在快速、现场农药残留检测技术领域的国际研发态势。具体包括分析该领域的前沿热点技术,系统研究农残快检技术的发展趋势,对比分析领域内主要领先国家、国际主要研究机构和技术公司的研发状况,并利用 SWOT 法对行业发展战略进行了分析。

2 方法及数据来源

本研究围绕分析的问题,主要采用文献计量方法、聚类和多维尺度统计分析方法、SWOT 方法等,针对论文和专利开展全面的分析。分析工具包括 TDA、TI、Innography、SPSS 等,数据主要来自 web of science (SCI-E)、Derwent Innovation Index (DII) 和 Innography 等数据库。分析的时间区间限定在 2004 年至 2013 年。利用关键词检索共获得研究论文 2268 篇,利用关键词结合 IPC 国际分类号共获得专利家族量 756 项,以及将 756 项专利导入 Innography 数据库获得的专利 1276 件(视分析指标不同选取专利家族量或专利件数)。

3 文献计量分析

3.1 农药残留快速检测技术研究论文分析

3.1.1 论文产出

2004-2013 年,农药残留快速检测技术领域的发文量基本呈逐年增长趋势,除 2009 年外,其他年份稳步增长。2004 年发文量最少,为 146 篇,2013 年最多,为 330 篇,比 10 年前增加了一倍多,总体增长速度较快。(见图 1)。

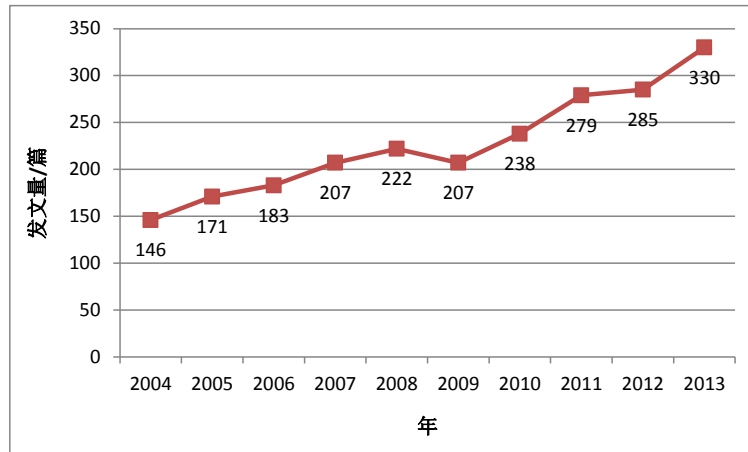


图 1 2004-2013 年农药残留快速检测技术发文量的年度变化趋势

3. 1. 2 基于论文的研究热点分析

3. 1. 2. 1 研究主题的词频数量分布

统计并清洗 2004-2013 年农药残留快速检测技术发文的关键词，即合并同义关键词，剔除无意义关键词，分析所涉及的技术领域和热点技术，计算各技术点的发文量，及 2004-2008 年、2009-2013 年两个时间段各技术点的发文量，结果列于表 1 中。

数据显示，发文量最多的技术点为以乙酰胆碱酯酶为主的胆碱酯酶相关研究，其他发文较多的酶还包括有机磷水解酶。研究最多的技术方法还包括酶联免疫吸附分析、分子印迹技术、酶抑制法、流动注射分析、化学发光免疫分析等。安培法是应用最多的电化学信号检出方法，其他较多的电化学信号检出方法还包括伏安法、方波伏安法、电化学阻抗谱。丝网印刷电极是利用最多的电极类型。检测技术应用的材料研发方面发文最多的是碳纳米材料和金纳米材料，其他材料及制备方法的研发还包括石墨烯、壳聚糖、自组装单层膜等。一些新型研究方法如表面等离子体共振、石英晶体微天平、微流控、表面增强拉曼散射、量子点等，也有一定数量的发文。这些技术涉及生物、化学、物理等多学科，体现了农药残留快速检测技术领域的高度学科交叉性和前沿性。

分析 2004-2008 年、2009-2013 年两个时间段的主要技术点，胆碱酯酶、分子印迹、金和碳等纳米材料等相关研究发文量有明显增长，某种程度上显示这些技术领域正不断增长。此外，伏安法、方波伏安法、电化学阻抗谱等电化学信号检测方法有一定增加，抗体、抗原相关研究出现增加。新兴技术如石英晶体微天平、石墨烯、纳米传感器和离子液体也有所增加。其中纳米材料、石墨烯等近来国际科技领域的研究热点在农残速测领域的研发增加尤为明显，体现了农残速测技术领域的发展受到国际科技发展的有力推动，农残速测技术的研发成果得益于其他学科领域和技术的发展成果。量子点、微流控、表面增强拉曼散射的相关论文数量不多，前后两个时间段数量差距不大或不明显，可能意味着相关技术作为

前沿技术仍处于探索阶段。

表 1 农药残留快速检测技术发文的主要技术点及时间趋势

关键词	发文量			关键词	发文量		
	全部	2004-2008	2009-2013		全部	2004-2008	2009-2013
胆碱酯酶	354	142	212	溶胶凝胶法	21	11	10
生物传感器	208	92	116	酶传感器	20	6	14
酶联免疫吸附分析	197	99	98	自组装单层膜	19	10	9
分子印迹	119	37	82	方波伏安法	19	5	14
酶抑制	107	53	54	抗体	18	6	12
免疫分析	101	56	45	电化学阻抗谱	18	6	12
金纳米结构	74	15	59	酶	18	8	10
碳纳米结构	64	14	50	固定化	17	7	10
安倍法	60	32	28	免疫层析法	16	4	12
丝网印刷电极	56	28	28	微流控	15	5	10
单克隆抗体	48	21	27	表面增强拉曼光谱	15	5	10
免疫传感器	46	22	24	胆碱酯酶生物传感器	14	5	9
生物标记	45	16	29	石墨烯	14	0	14
流动注射分析	45	33	12	壳聚糖	13	8	5
表面等离子体共振	41	25	16	交叉反应	13	7	6
传感器	40	21	19	基体效应	13	4	9
半抗原	37	13	24	量子点	13	5	8
化学发光免疫分析	36	19	17	酶固定	12	4	8
纳米材料	35	8	27	多残留分析	12	5	7
电化学	31	14	17	电化学传感器	11	2	9
荧光	29	14	15	普鲁士蓝	11	3	8
石英晶体微天平	29	10	19	重活化剂	11	6	5
伏安法	27	7	20	选择性	11	5	6
多克隆抗体	26	11	15	离子液体	10	1	9
有机磷水解酶	24	15	9	纳米传感器	10	2	8
分光光度计	22	10	12	酪氨酸酶	10	5	5

3.1.2.2 研究主题的结构分析

共词分析法利用文献集中词汇对共同出现的情况来确定该文献集所代表学科中各主题之间的关系。统计一组文献的主题词两两之间在同一篇文献出现的频率，频率越高，则代表这两个主题的关系越紧密；由这些词对关联可形成共词网络，网络内节点之间的远近便可以反映主题内容的亲疏关系^[14]。依据这一原理，本研究以清洗后的作者关键词为统计对象，构建频次为前 20 次的高频词共词矩阵和相异矩阵，进行聚类分析和多维尺度分析，以图形表示各研究主题间的结构关系，剖析农药残留快速检测技术领域的研究热点和研究主题类别。图 2 及图 3 分别给出了农药残留快速检测领域联系紧密的热点技术聚类结果和反映主要热点技术类团在领域内的相对位置、研究结构的多维尺度分析拟合结果。农药残留快速检测可以分为 5 个主要类团。

第 1 大类为胆碱酯酶生物传感器相关研究。目前国内外基于特定酶活性抑制原理设计的酶传感器备受关注。最主要的酶传感器为乙酰胆碱酯酶生物传感器，其主要的研究内容包括酶活性的测定与筛选、酶的固定方法的研究、电极材料的选择及改良和传感器信号转换模式等。丝网印刷电极、纳米材料修饰电极是重要的电极材料及制备方法，安倍法、伏安法等是重要的信号转换方法。

第 2 类为免疫生物传感器相关研究。免疫传感器在农药残留快速检测中应用较广泛。研究内容包括传感器信号转换和检测材料制备等相关研究。信号转换包括安倍法、伏安法、方波伏安法等电化学方法转换方法，表面等离子体共振等光学传感方法。器件材料制备的热点方法涉及纳米材料修饰电极等。

第 3 类为酶联免疫吸附分析等免疫分析相关研究。免疫分析是农药检测最有发展和应用潜力的方法之一，其中酶联免疫吸附分析（ELISA）方法将抗原、抗体的特异性反应与酶对底物的高效催化作用结合起来，敏感性很高，是目前农药残留检测中应用最广泛的酶免疫分析技术。而根据农药结构设计合成适当结构的半抗原及制备效价高、特异性强的抗体对分析效果十分关键。

第 4 类是流动注射化学发光免疫分析技术。该技术是将化学发光免疫分析和流动注射相结合的一种高灵敏度的微量及痕量分析技术，其分析速度快、仪器设备简单，是当前分析化学领域中研究的热点。

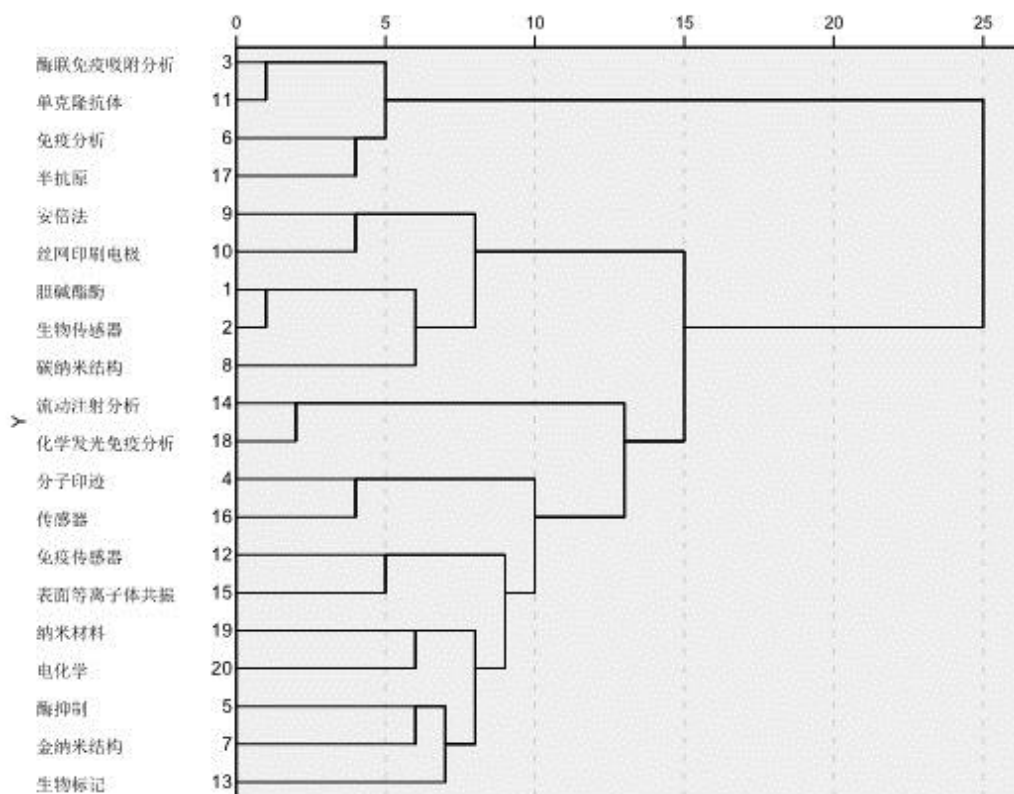


图 2 农药快速检测技术研究主题的聚类图

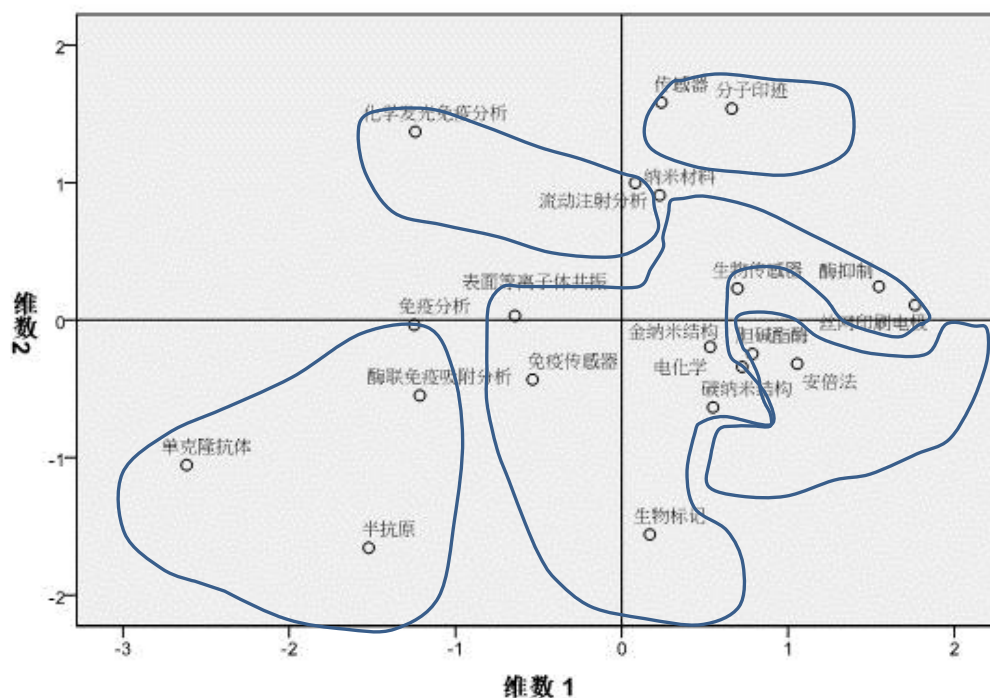


图 3 农药快速检测技术多维尺度分析图

第 5 类为分子印迹传感器技术。该技术以分子印迹聚合物为识别元件，结合不同种类转换器而制得分子印迹传感器，既有生物传感器的专一识别性，又有化学传感器的机械稳定性和热稳定性，在农药快速检测领域应用广泛。

综合来看，酶生物传感器、免疫生物传感器、酶联免疫吸附分析、流动注射化学发光免疫分析、分子印迹技术等研究是农药残留快速检测技术领域的核心主题。

3.1.2.3 高被引论文分析

高被引论文体现了相关研究领域发文中最为基础、核心的文献。通过分析高被引论文能够在侧面反映领域的研究热点、重点。表 2 列出了农药残留快速检测技术领域的高被引论文的题目和被引频次。高被引论文的主题基本围绕生物传感器的制备和应用，包括电化学生物传感器、酶生物传感器、量子点生物传感器，表面等离子体共振生物传感器等。此外，与生物传感器有关的重要技术还包括碳纳米管修饰电极、普鲁士蓝修饰电极、丝网印刷电极等以及分子印迹等技术。

表 2 农药残留快速检测技术排名前 15 的高被引论文

序号	论文中文题目	论文英文题目	被引频次
1	基于普鲁士蓝修饰电极的传感器和生物传感器的制备、优化和应用	Sensor and biosensor preparation, optimisation and applications of Prussian Blue modified electrodes	340
2	用于流动注射/安倍检测有机	Biosensor based on self-assembling acetylcholinesterase on	234

	磷农药和神经毒剂的基于碳纳米管上自组装乙酰胆碱酯酶的生物传感器	carbon nanotubes for flow injection/amperometric detection of organophosphate pesticides and nerve agents	
3	酶抑制生物传感器用于食品安全和环境监测	Enzyme inhibition-based biosensors for food safety and environmental monitoring	206
4	发光半导体量子点生物传感	Biosensing with luminescent semiconductor quantum dots	179
5	一次性碳纳米管修饰丝网印刷生物传感器用于有机磷农药和神经毒剂的安倍检测	Disposable carbon nanotube modified screen-printed biosensor for amperometric detection of organophosphorus pesticides and nerve agents	146
6	综述: 分子印迹聚合物在选择性检测环境污染物中的作用	Role of molecularly imprinted polymers for selective determination of environmental pollutants - A review	142
7	基于分子印迹凝胶膜的对硫磷传感器	Parathion sensor based on molecularly imprinted sol-gel films	134
8	利用聚合物封装的 Eu 掺杂 Gd ₂ O ₃ 作为荧光标签对苯氧基苯甲酸进行微阵列免疫分析	Microarray immunoassay for phenoxybenzoic acid using polymer encapsulated Eu: Gd ₂ O ₃ nanoparticles as fluorescent labels	128
9	基于碳纳米管修饰厚膜电极的一次性有机磷神经毒剂生物传感器	A disposable biosensor for organophosphorus nerve agents based on carbon nanotubes modified thick film strip electrode	123
10	表面等离子体共振生物传感器的简要综述	Surface plasmon resonance for biosensing: A mini-review	117
11	利用碳纳米管/有机磷水解酶电化学生物传感器分析有机磷农药	Determination of organophosphate pesticides at a carbon nanotube/organophosphorus hydrolase electrochemical biosensor	116
11	功能性碳纳米管和纳米纤维在生物传感领域的应用	Functionalized carbon nanotubes and nanofibers for biosensing applications	116
13	丝网印刷碳电化学传感器/生物传感器用于生物医药、环境和工业品分析中的进展	Some recent designs and developments of screen-printed carbon electrochemical sensors/biosensors for biomedical, environmental, and industrial analyses	113
14	生物传感器用于环境监测的进展	Recent advances in biosensor techniques for environmental monitoring	108
15	利用基于普鲁士蓝修饰的丝网印刷电极技术的胆碱酯酶生物传感器检测水中氨基甲酸酯和有机磷农药	Detection of carbamic and organophosphorous pesticides in water samples using a cholinesterase biosensor based on Prussian Blue-modified screen-printed electrode	106

3.1.3 论文产出主要国家和机构分析

3.1.3.1 主要国家和机构的论文数量

统计主要国家和国际主要机构 2004 年至 2013 年发表的 SCI 论文数量, 数据列于表 3 中。我国是发文量最高的国家, 达到 618 篇, 远远超过位于第二位的美国 (362 篇) 和第三位的西班牙 (201 篇)。其他发文量较高的国家还包括印度、法国等。主要机构中, 发文量最多的机构是华中师范大学, 有 60 篇, 西班牙国

家研究委员会和中国科学院分别以 48 篇和 47 篇列第 2、3 位。位居前 15 位的机构中，属于中国的机构有 6 家，属于西班牙的机构有 3 家，隶属美国的机构有 2 家，此外，法国、意大利、巴西和俄罗斯各有 1 家机构。15 家机构有 11 家为大学，4 家为研究所。

表 3 2004~2013 年主要国家和机构的发文量

排名	国家	发文量	排名	机构	发文量
1	中国	618	1	华中师范大学	60
2	美国	362	2	西班牙国家研究委员会	48
3	西班牙	201	3	中国科学院	47
4	印度	151	4	西班牙瓦伦西亚理工大学	41
5	法国	132	5	法国佩皮尼昂大学	36
6	意大利	98	6	浙江大学	36
7	英国	96	7	西班牙瓦伦西亚大学	35
8	德国	84	8	美国加州大学戴维斯分校	34
9	巴西	80	9	美国西北太平洋国家实验室	33
10	韩国	80	10	意大利国家研究委员会	25
11	日本	76	11	天津科技大学	25
12	捷克	58	12	巴西圣保罗大学	25
13	加拿大	47	13	中国农业大学	24
14	伊朗	40	14	俄罗斯莫斯科国立大学	23
15	俄罗斯	39	15	南京农业大学	23

从发表研究论文数量角度分析，将 2004 年到 2013 年的 10 年时间分为 5 年一个周期的前后两个阶段，统计 10 年中发文量最多的 10 个国家在两个阶段的发文情况（图 4）。数据显示，我国后 5 年发文量激增，总计达 458 篇，是前 5 年 160 篇的近 3 倍。相比较而言，其他国家发文量在两个阶段变化不大，只有美国、印度、巴西等国在 2008 年至 2013 年有少量增加。

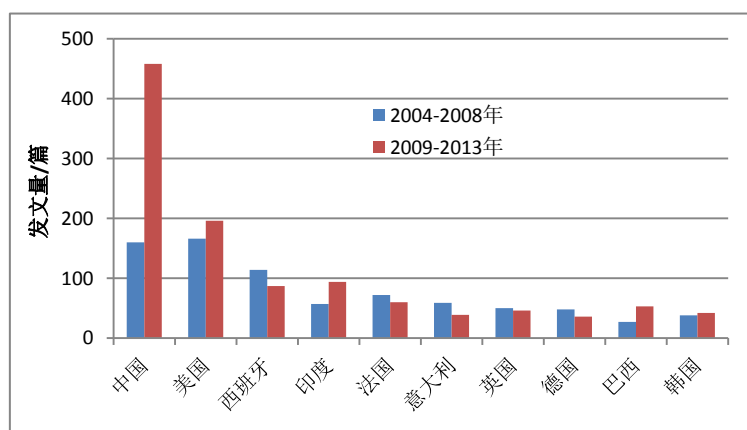


图 4 2004~2008 年、2009~2013 年主要国家的发文量

3.1.3.2 主要国家和机构的论文质量

统计 2004 年到 2013 年发文量排名前 10 位国家的论文被引情况，分析篇均被引次数，绘制各国发文量和篇均被引频次二维坐标图（图 5）。美国和西班牙

属于发文量和篇均被引频次都较高的国家，研究产出和质量较高，在 10 个国家中属于领先型国家，尤其美国篇均被引次数达 21.6 次，位列第 1；中国属于发文量较高、篇均被引频次较低的国家，研究产出较多，但质量还有待提升；意大利、法国和英国属于篇均被引频次较高的国家，虽然研究产出不突出，但研究质量较高；德国、印度、韩国和巴西的发文量和篇均被引频次相对较低。

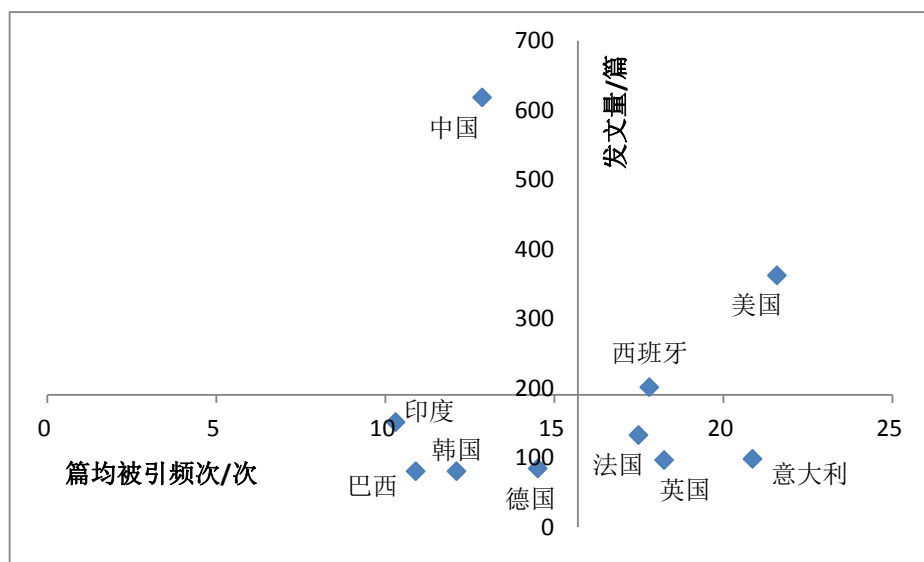


图 5 发文量排名前 10 国家的发文与被引证相对位置

统计 2004 年到 2013 年发文量排名前 10 位的 12 家机构的论文被引情况，分析篇均被引次数，得到各个机构发文量和篇均被引频次在二维坐标上的相对位置（图 6）。数据显示，美国西北太平洋国家实验室相对发文量不高但篇均被引频次特别高，研究质量最高；华中师范大学和西班牙国家研究委员会属于发文量和篇均被引频次都较高的机构，研究产出和质量均较高；中国的机构普遍表现出发文量多，论文被引情况居中的现象。

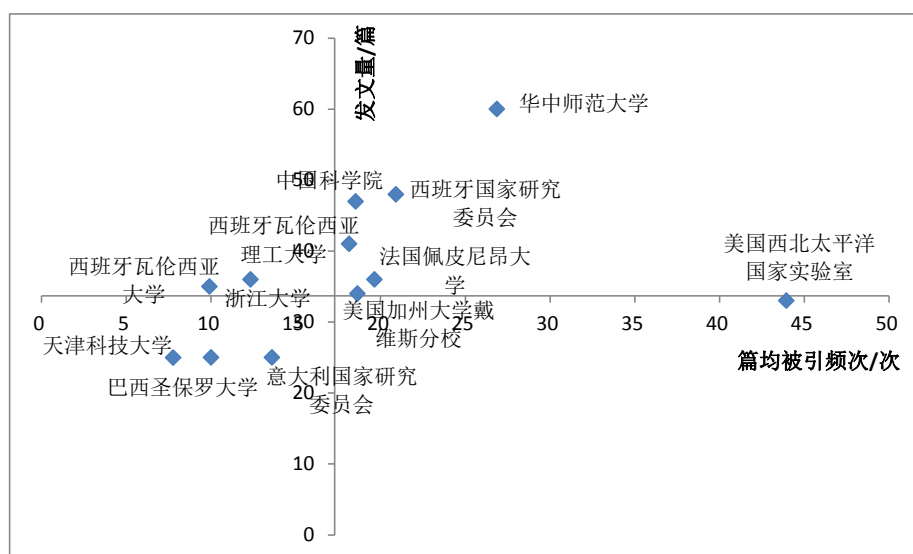


图 6 发文量排名前 10 机构的发文与被引证相对位置

分析高被引论文的来源机构。表 4 列出了农药残留快速检测技术领域的高被引论文的被引频次及来源机构。排名前 15 的高被引论文来源机构主要来自美国、意大利、以色列、德国等国家。美国西北太平洋国家实验室、新墨西哥州立大学和意大利罗马第二大学等是研究水平较高的机构。其中没有中国机构。

表 4 被引频次排名前 15 的高被引论文所属机构

序号	被引频次	发文机构
1	340	意大利罗马第二大学
2	234	美国西北太平洋国家实验室
3	206	摩洛哥 Fac Sci & Tech, 意大利罗马第二大学
4	179	美国乔治梅森大学, 美国约翰霍普金斯大学, 美国海军部
5	146	美国新墨西哥州立大学, 美国西北太平洋国家实验室
6	142	巴黎工业物理化学学校
7	134	以色列希伯莱大学, 以色列生物研究所
8	128	美国加州大学戴维斯分校
9	123	美国新墨西哥州立大学, 美国加州大学河滨分校
10	117	以色列内盖夫本吉瑞大学, 加拿大 Biophage Pharma 公司, 美国宾夕法尼亚州立大学
11	116	德国格赖夫斯瓦尔德大学, 美国新墨西哥州立大学, 美国西北太平洋国家实验室, 美国加州大学河滨分校, 波兰华沙大学
11	116	美国西北太平洋国家实验室
13	113	英国西英格兰大学
14	108	美国环保局
15	106	摩洛哥 Fac Sci & Tech, 意大利罗马第二大学

从 SCI 发文影响力角度分析, 统计 2004-2008、2009-2013 年两个阶段 SCI 发文目前的被引次数, 比较发文量排名前 10 国家在两个时间段篇均被引次数排名的变化。数据显示 (表 5), 美国在两个时间段均为篇均被引频次最高的国家; 2009-2013 年中国的篇均被引频次排名从第 6 位上升到第 4 位, 表明研究质量相对有所提高。

表 5 2004-2008、2009-2013 年主要国家篇均被引频次及排名

排名	2004-2008 年		2009-2013 年	
	国家	篇均被引频次	国家	篇均被引频次
1	美国	32.6	美国	12.2
2	意大利	27.3	西班牙	11.4
3	英国	26.1	意大利	11.1
4	法国	24.6	中国	10.2
5	西班牙	22.7	英国	9.8
6	中国	20.6	法国	9.0
7	德国	20.3	印度	8.1
8	巴西	19.3	韩国	7.8
9	韩国	16.9	德国	6.8
10	印度	13.9	巴西	6.6

3.2 农药残留快速检测技术专利分析

3.2.1 专利产出

专利家族的优先权年反映了一项专利技术最早产生的时间。利用 DII 数据库中的优先权年指标统计 2004-2013 年农药残留快速检测技术领域的专利发展趋势。数据显示,相关专利家族最早的优先权年为 1997 年,从 2002 年开始,专利产生数量出现大幅上升,从 2005 年至 2009 年专利数量处于波动状态,2011 年专利数量达到最高,为 114 项,此后,专利数量下降(见图 7)。由于专利公开有 18 个月的时滞,因此 2013、2014 年的专利数据仅作参考。总体来说,农残快速检测技术的专利产出成果处于上升阶段。

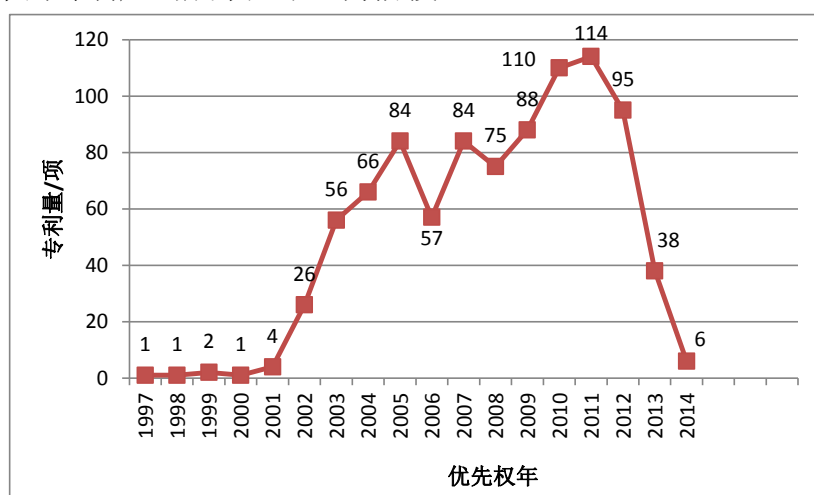


图 7 2004-2013 年农药残留快速检测技术专利数量的变化趋势

3.2.2 基于专利的研究热点分析

3.2.2.1 专利技术领域数量分布

结合 IPC 国际专利分类,分析 2004-2013 年农药残留快速检测技术专利的主要热点,在表 6 中列出专利家族数量居前 15 位的 IPC 国际专利分类号及对应的含义。数据显示,农药残留快速检测技术专利的主要热点为利用农药的物理或化学性质、利用酶或微生物、高分子材料合成、光学测量、纳米材料等相关技术开发。

表 5 同时给出了各 IPC 专利分类号对应的技术相对成长率指标值。该指标为单一技术领域专利申请数的年平均增长率与所有技术领域专利申请数的年平均增长率的比值,反应各技术领域相对于全部技术领域的成长幅度的高低。数据表明,利用化学或物理方法如催化作用和胶体化学,加工、配料的一般工艺过程,利用碳-碳不饱和反应制备高分子材料等在最近 10 年相对全部专利增长较快。

表 6 农药残留快速检测技术专利的 IPC 国际专利分类号

排序	IPC 分类号	专利量 (项)	技术相对成长率	含义
1	G01N	625	0.98	借助于测定材料的化学或物理性质来测试或分析材料

2	C12Q	109	0.28	包含酶或微生物的测定或检验方法
3	C12N	54	3.87	微生物或酶；其组合物
4	C12M	47	0.13	酶学或微生物学装置
5	C07K	42	6.30	肽
6	B01J	37	12.01	化学或物理方法，例如，催化作用、胶体化学；其有关设备
7	C08J	30	7.79	加工；配料的一般工艺过程
8	C08F	27	7.18	仅用碳-碳不饱和键反应得到的高分子化合物
9	G01J	21	-0.82	红外光、可见光、紫外光的强度、速度、光谱成分，偏振、相位或脉冲特性的测量；比色法；辐射高温测定法
10	B82Y	19	2.24	纳米结构的特定用途或应用；纳米结构的测量或分析；纳米结构的制造或处理
11	C07C	19	6.55	无环或碳环化合物
12	C07F	19	5.24	含除碳、氢、卤素、氧、氮、硫、硒或碲以外的其他元素的无环，碳环或杂环化合物
13	C07D	15	2.49	杂环化合物
14	C40B	15	2.47	组合化学；化合物库，如化学库、虚拟库
15	B01D	14	-2.91	分离

3.2.2.2 热点专利分布结构

本研究利用汤森路透专利分析平台 TI 的聚类 and 可视化功能给出了技术热点布局图（图 8）。



图 8 基于专利的农药残留快速检测技术热点分布图

结合对专利的内容判读，分析农药残留快速检测技术领域的热点分布。结果表明，农药残留快速检测仪器制备、胶体金速测条/速测卡、利用乙酰胆碱酯酶的检测技术、抗原与抗体制备、生物传感器技术等是主要的技术研发热点。分析不同时间段的专利热点分布，在较早一些的 2004 年~2008 年，利用乙酰胆碱酯

酶的检测技术、抗原与抗体制备等技术研发较集中，而 2009 年~2012 年，农药残留快速检测仪器及相关光电组件、胶体金速测条/速测卡、分子印迹聚合物制备等较为集中。表明最近几年，面向商业应用的市场化产品技术开发受到重视。

3.2.2.3 核心专利分析

通过分析 Innography 数据库提供的专利强度（Patent Strength）指标来挖掘农药残留快速检测技术的核心专利。该指标是根据专利权利要求数量、引用先前技术文献数量、专利被引用次数、专利及专利申请案的家族情况、专利申请时长、专利年龄、专利诉讼等十余个专利价值相关指标计算得到的。专利强度高的专利代表了该技术领域具有高价值的核心专利。本研究分析了数据库中获得的 1276 件专利，提取专利强度大于 9（专利强度共分为 10 级，最高为 10）的 7 件专利，列于表 7 中。核心专利的主题主要是均质酶免疫分析法、拉曼光谱表面增强基底的制备、微流控技术、光学检测技术等。

表 7 专利强度大于 9 的核心专利名称及优先权年

	专利申请号	专利名称	优先权年
1	US7560239 B2	均质酶免疫分析法同时检测多种物质	2002
2	US7361313 B2	将金属均匀浸渍到硅基纳米多孔材料以增强拉曼光谱散射的方法	2003
3	US20100089529 A1	一种微流控设备制备方法	2005
4	US7846391 B2	利用光源系统的生物分析设备	2006
5	US8343437 B2	基于金属薄膜或金属微粒蚀刻技术的检测系统和过程	2008
6	US8455844 B2	时间分割多路复用光学检测生物传感器系统和方法	2009
7	US8211715 B1	可为消费者使用并可发送远程信息的便携式食品污染检验设备	2011

3.2.3 主要机构的专利产出

3.2.3.1 主要机构的专利数量

各机构在 2004-2013 年专利拥有量位居前 15 位的机构有 16 家，排在前 3 位的依次是中国科学院（17 项）、日本富士公司（15 项）和江南大学（13 项）（图 9）。位居前 15 位的机构中，属于中国的机构有 13 家，属于日本、印度和美国的机构各有 1 家，可见，相关领域技术开发机构的主体主要来自中国。值得注意的是，中国的 11 家机构在地域分布上都集中于经济发达地区，除了分布在北京、上海、天津等直辖市各有 2 家机构外，江苏省还分布有 4 家机构，即江南大学、江苏大学、南京农业大学和江苏省农业科学院。15 家机构中有 11 家为大学，4 家为研究机构，仅有 1 家为来自日本的公司。总体而言，中国科学院等中国的研究机构和大学在农残快检领域的专利产出具有较大优势。

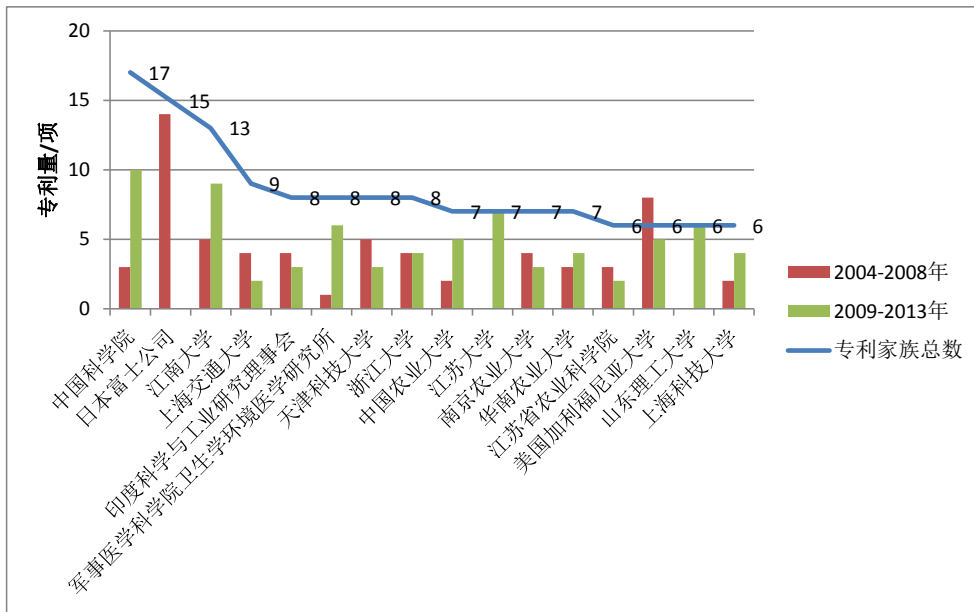


图9 国际主要机构农药残留快速检测技术的专利

专利家族数量排名靠前机构在 2004-2008、2009-2013 年不同阶段的专利数量，数据显示，后 5 年专利量显著高于前 5 年的机构均为中国机构。日本富士公司的专利主要产生于 2004 年至 2008 年时间段，印度科学与工业研究理事会各时间段的专利产出量差别不大。

总体来看，农药检测技术领域研发的重要机构以大学和研究机构为主，公司、企业的实力较小，国内外公司的专利产出都比较薄弱。

3.2.3.2 核心专利所属机构

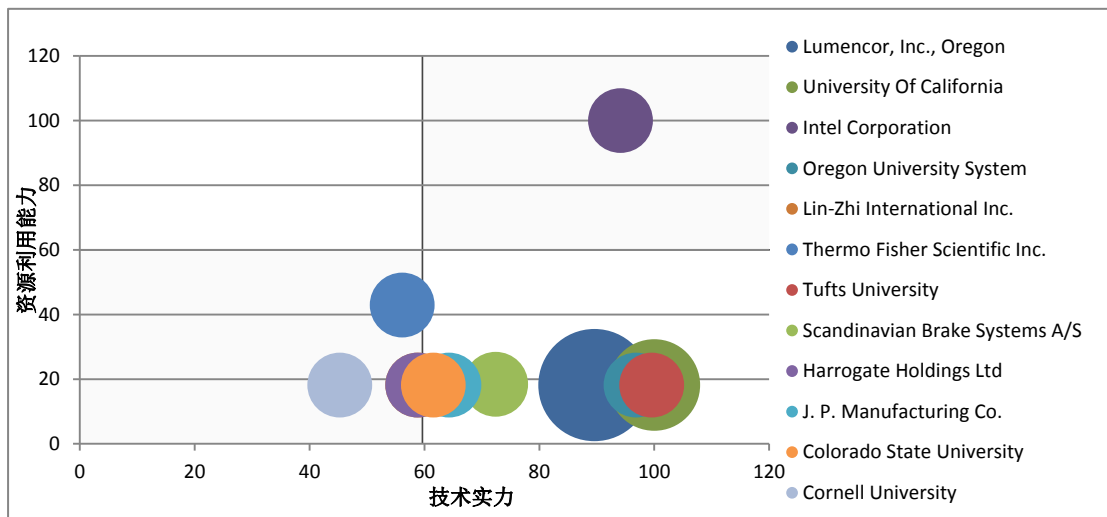


图10 高专利强度（大于8）专利权人气泡图

注：图中横轴包括专利权人专利总量、IPC 分类号数量、单篇引用的相对数量的综合信息，在图中越靠右，表示目标公司越关注和参与到所分析的技术领域中。纵轴包含专利权人总收入、诉讼量和发明人区域相对数量等综合信息，图中越靠上，表明该公司利用专利的能力就越强。气泡大小表示专利权人的专利量。

分析拥有高专利强度的专利权人，得到专利强度大于 8（最高为 10）的专利权人气泡图（图 10）。图 10 显示，专利强度大于 8 的专利权人有 12 个，均为国

外机构。其中美国加州大学、美国塔夫斯大学、美国英特尔公司、俄勒冈大学和美国 Lumencor 公司在农药残留检测技术领域占有重要的核心地位，在资源利用能力上，英特尔公司明显强于其他机构。15 件核心专利有 13 件来源于美国，来自德国和丹麦的各有一件，没有隶属中国机构的专利。

从专利重要性角度研究，分析不同优先权年时间段各国核心专利的数量排名，结果显示于表 8 中（仅列出专利数量大于 1 件的情况）。专利强度大于 6 的核心专利中，2008 年之前美国的核心专利数量最多，远远高于其他国家。2009 年至 2013 年，中国数量大幅增加，超过了美国。其他国家核心专利均很少。而当统计专利强度大于 8 的核心专利时可见，美国两个时间段均领先于所有国家；中国没有专利强度大于 8 的核心专利。数据表明，最为核心、质量最高的专利多属于美国；质量较高的专利在早期主要属于美国，而近期则更多来自中国。

表 8 各国不同专利强度的核心专利数量

专利强度	排名	2008 年之前		2009-2013 年	
		国家	核心专利数量 (件)	国家	核心专利数量 (件)
大于 6	1	美国	70	中国	11
	2	以色列	3	美国	6
	3	日本	4		
	4	比利时	2		
	5	丹麦	2		
	6	印度	2		
	7	法国	2		
	8	英国	2		
专利强度	排名	2004-2008 年		2009-2013 年	
		国家	核心专利数量 (件)	国家	核心专利数量 (件)
大于 8	1	美国	10	美国	3

3.2.4 主要受理国家分布

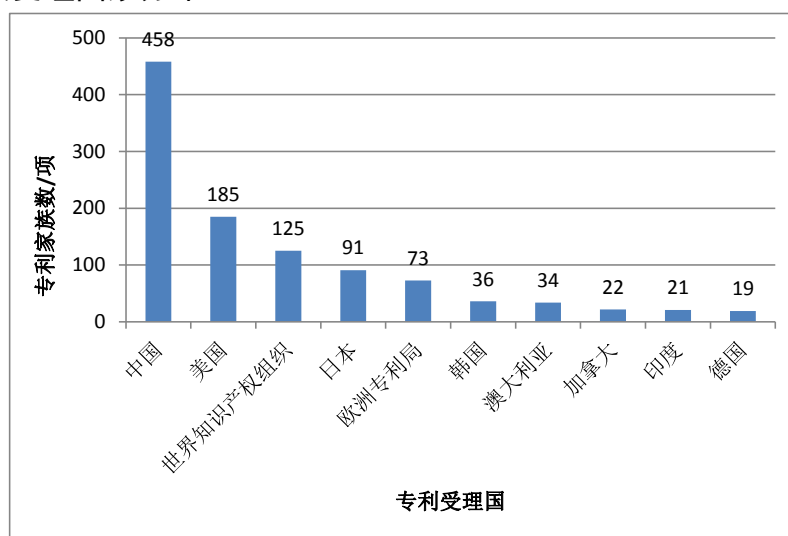


图 11 农药残留快速检测技术专利的主要受理国

分析相关专利的主要受理国家或地区，排在前 10 位的国家/地区绘制于图 11 中。排名前 3 位的国家/地区分别为中国、美国和世界知识产权组织。共计有 458 项专利在中国受理，占全部专利总数的 60.6%，远高于其他受理国；分别有 185 项（24.5%）和 125 项（16.5%）专利在美国和世界知识产权组织受理。中国是农药检测技术的主要市场。

4、行业 SWOT 战略分析

结合基于文献计量学的定量研究和农药快速检测行业发展的定性研究，分析我国这一行业发展的优劣势与机会、威胁。

（1）优势

我国农药快速检测技术行业技术研发产出数量大，在论文和专利成果数量上都有很好表现，甚至超过了美欧等世界发达国家。我国目前已经形成了一批高产出的研究机构和企业，如中国科学院、华中师范大学、江南大学、浙江大学、天津科技大学等研究机构和大学与其他国际机构相比有相对较多的基础研究成果，长春吉大小天鹅仪器有限公司、北京智云达科技有限公司、常州创伟电机电器有限公司、无锡安迪生物工程有限公司、北京勤邦生物技术有限公司等国内仪器厂家均拥有相对较多的技术开发产出。这些机构和企业为我国该领域的国际竞争积累了一定的技术储备。

此外，近年我国该领域研发成果产出增加，研发活跃，表现优于其他国家；我国机构如华中师范大学、中国科学院、江南大学和军事医学科学院卫生学环境医学研究所等成果产出增长较大。我国论文的影响力和专利的重要度近期都得到提高，论文篇均被引频次的相对排名上升，核心专利近期的产出增加，总体上技术实力有所提升。

我国科学检测仪器产业发展较快，近年来已经逐步建立并完善了科学仪器设备自主创新原理研究、技术开发、产业化研究和应用示范的完整链条，取得了许多令人瞩目的成绩。2010 年，我国科学测试仪器行业工业总产值 1899 亿元，同比增幅 27.3%，其中实验分析仪器行业规模以上企业数 315 家，工业总产值 165.07 亿元，同比增幅 34.24%^[3]。国产检测仪器市场占有率也逐年攀升。国内各仪器厂家和生物技术公司相继研发并推出了多种食品安全快速检测仪，在处理突发性食品安全事件、市场流通领域、进出口岸现场筛查上发挥了重要作用。

（2）劣势

虽然我国研发机构和企业的研发产出数量多，但高质量研究成果少，研究水平偏低。相比美国、意大利、西班牙和英国等国家，我国从论文影响力来看该领域的研究质量不高，仅有少数机构的论文影响力较高；重要论文、核心专利主要来自美国等国家，我国贡献很少；研发有较多的模仿创新和跟踪创新，原创性的

重大成果少，依靠新型纳米技术、光学、电子学、材料学、生物学及传感器的复杂技术的创新少。

农药残留快速检测技术有大量成果隶属于研究机构和大学，无论是对于论文还是专利，研发成果的数量、质量及其提高幅度，研究机构和大学的表现都远远优于企业。而目前国内研究机构和大学的技术成果向企业转移转化机制尚不完善，技术转化效果不好，研发成果难以快速有效地为企业和行业所用，导致行业缺乏市场竞争力。

我国分析检测技术公司普遍规模较小，多为民营的中小型科技公司，研发竞争力薄弱，其产品相对国外企业来说仍多为中低端，同时价格也相对低廉，利润较低，进一步限制了企业快速发展及开发高端产品。

在技术层面，我国农残快检技术本身往往存在准确度不够、检出限高、再现性不强、抗干扰性不佳等问题，同时，快速检测设备尚未实现理想的模块化和微型化。由于农药残留种类繁多，农药残留的污染途径多样，而能满足在各种条件下、各种污染媒介中可以同时检测多种农药的设备、技术较少，实现多目标同时测定的模块化的设备研发仍然存在较大的难度。此外，食品安全检测技术和设备与其他相关设备、技术配套兼容等标准化问题有待解决。这些技术弱点影响了产品的市场应用^[15]。

(3) 机会

近年来，我国公众对食品安全问题十分重视。农药残留污染是我国的突出食品安全热点问题，尤其受到了广泛关注。在食品生产、存储、销售现场对食品进行非实验室的、大范围的快速检测大大迎合了公众需求。

目前我国十分重视食品安全监管工作。为适应不断变化的食品安全监管需求，我国近几年开展了新一轮食品安全管理机构与法规调整。包括 2009 年设立了食品安全委员会；2013 年组建了国家食品药品监督管理总局；2009 年颁布了《食品安全法》，并于 2013 年发布了《食品安全法》修订草案；2014 年发布了食品安全国家标准《食品中农药最大残留限量》。同时，相关部门发布了一系列农产品监管体系建设规划。2012 年，国务院发布了《国家食品安全监管体系“十二五”规划》，提出食品污染物监测将覆盖全部县级行政区域，在优势农产品主产区建立食用农产品质量安全风险监测点^[16]。一些专项规划如《全国农产品质量安全检验检测体系建设规划（2011-2015 年）》^[17]、《食品药品监督管理系统基础设施项目》^[18]和《提升食品质量安全检（监）测能力专项规划（2010 年-2015 年）》^[19]等均提出投入巨额资金建设各级食品安全检测机构。这些举措将对食品安全检测技术和设备研发提出大量需求，为行业发展起到巨大的推动作用。

在科技发展领域，我国对食品安全检测技术和仪器研发十分重视，先后发布

了多项重要规划指导该领域的研发。国家《“十二五”科学和技术发展规划》提出要加强食品污染物高新检测技术与装备研发。《国家食品安全监管体系“十二五”规划》提出将推进检验仪器设备自主化，重点研究食品中有毒有害物质检测技术，研发新型快速检测、在线监测技术和设备^[16]。科技部《食品产业科技发展“十二五”重点专项规划》提出系统研究开发特征指纹、基因芯片、生物和仿生快速检测技术、可视芯片仪等快速便携检测设备。^[20]国家质检总局《“十二五”科技发展规划》提出开展食品污染物现场、快速、在线等高新检测技术、试剂盒与装备研发。^[21]近年来，国家相继资助了多项重大计划支持相关检测技术和仪器装备的研发，必将提高行业的整体研发水平。研发资助主要有两个途径：一是通过科技部资助的科技攻关计划、科技支撑计划这样的对重大公益技术及产业共性技术研发进行支持的大型计划，连续多年设置多项重大课题；另一个途径是通过国家自然科学基金委、科技部的科学仪器研发专项资助检测设备仪器的研发。

国家鼓励农药残留快速检测技术研发的产学研合作，推动领域内高新技术企业的快速发展和技术研发，相关领域技术研发企业和研究机构都将面临新的机遇。主要举措为于 2010 年成立了食品安全检测试剂和装备产业技术创新战略联盟。其宗旨是建立产学研结合的技术创新体系，推动提高产业整体水平^[22]。联盟成员共有 32 家，其中企业 14 家，国内知名的高校、科研院所 18 家。

中国是农药检测技术的主要市场。根据 DII 数据库中农药快速检测技术相关专利的主要受理国家数据，中国是专利受理量最多的国家，有 458 项，占全部专利总数的 60.6%，远高于其他国家。我国相关行业在本土市场会对体制、规则及信息等条件更加熟悉，易于获得更优质的资源，某种程度上将拥有得天独厚的竞争优势。

（4）威胁

农药残留快速检测技术的重要成果仍然主要掌握在发达国家的高水平研究机构手中，体现在高被引论文的来源机构主要为美国、意大利等国的研究机构，高强度专利主要来源于美国公司，美国仍然是该领域的技术强国。

虽然大型跨国分析检测技术公司的研发重点是大型高端实验室检测设备，以往在农残快检领域涉足较少，但近来不断向便携式检测仪器领域拓展。如 2010 年，美国手持式分光计领域世界领先创新公司 Ahura Scientific Inc. 被著名分析测试公司赛默飞世尔科技公司收购^[23]。发达国家的进口检测仪器商逐步向“中低端”扩张，极大地威胁了以低端产品为主的本土企业。

世界著名科学仪器公司具备先进的技术水平、完善的市场规划、富有成效的营销手段和强大的盈利能力，一直都在争夺中国市场^[24]。国外企业通常还具备很强的专利封锁能力，我国企业很难抗衡。

近年来，随着免疫化学技术、传感器技术、纳米技术、高分子材料技术及光学技术等多学科新兴热点技术的发展和运用，农药残留快速检测技术发展迅速，各种新方法、新技术不断涌现，在国际上不断催生高科技水平的生物技术检测公司和仪器设备公司。这些公司往往依靠几项核心技术就占领了某一方向的制高点，在市场上获得很大的竞争力。

对农药快速检测技术行业的优势、劣势、机会和威胁各要素进行系统分析，在此基础上，本文构建了行业发展的 SWOT 矩阵（表 9）。

表 9 我国农药残留快速检测技术行业 SWOT 矩阵

优势 (Strengths):	劣势 (Weaknesses):
<ul style="list-style-type: none"> ● 拥有大量研发成果，形成了一批高研发产出的机构和企业，储备了技术； ● 近年我国研发活跃，技术实力有所提高； ● 我国科学检测仪器产业快速发展，已推出众多农药快速检测产品。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高质量研究成果少，研究水平偏低； ● 技术转移转化机制不顺畅； ● 企业规模较小，产品多为中低端，利润低； ● 技术发展尚未成熟，本身仍存在不足。
机会 (Opportunities):	威胁 (Threats):
<ul style="list-style-type: none"> ● 公众关注可促进相关技术及行业的发展； ● 国家法规调整和检测体系建设规划带来了巨大的内需； ● 科技研发规划及资助有助于提高行业的研发水平； ● 国家鼓励行业层面的产学研结合，企业和研究机构都面临新机遇； ● 我国企业在本土市场拥有更好的竞争资源。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 高水平成果仍然主要掌握在美国等发达国家； ● 世界著名科学仪器公司开始在国内市场攻城略地； ● 国外企业具备强大技术和市场战略； ● 技术发展迅速不断催生国际高科技检测技术公司。

5、结论与建议

以上对农药残留快速检测技术的国内外发展态势进行的系统分析表明：

(1) 近 10 年来，随着免疫化学技术、传感器技术、纳米技术、高分子材料技术及光学技术等多学科新兴热点技术的发展和运用，农药残留快速检测技术发展迅速，各种新方法、新技术不断涌现，包括研究论文和专利技术在内的研究产出大幅增长。

(2) 农药残留快速检测技术主要的研究热点是生物传感器，以酶联免疫吸附分析为主的免疫分析技术。一些新型研究方法如表面等离子体共振、石英晶体微天平、微流控、表面增强拉曼散射等得到逐步开发。生物传感器、纳米技术、分子印迹技术、石墨烯、量子点等近来国际科技领域的新兴热点技术不断应用于农药检测技术领域，相关论文和专利成果增加明显。这些技术涉及生物、化学、

物理等多学科，体现了农药残留快速检测技术领域的高度学科交叉性和前沿性。

(3) 从农药残留快速检测技术研发的实施国家来看，我国是具有较大优势的国家，拥有大量的成果产出和数量较多、实力较强的研发机构。我国研发产出数量大，近年研究较活跃，研究质量有所提高，这与我国对农残速测技术的需求大、国家的重视支持、食品安全的严峻形势密不可分。然而我国高质量、高影响力研究成果少，研究水平偏低，研发有较多的模仿创新和跟踪创新，原创性的重大成果少，依靠新型纳米技术、光学、电子学、材料学、生物学及传感器的复杂技术的创新少。除我国外，相关领域的理论与基础研究以美国、西班牙等国实力较强，技术开发以美国、日本等国实力较强。美国是重要论文、核心专利的主要来源国，仍是研究实力最强的国家。

(4) 农药残留快速检测技术领域研发的高产出机构主要包括中国科学院、华中师范大学、西班牙国家研究委员会、日本富士公司和江南大学等，我国的高产出机构显著多于美国、西班牙等国家。美国西北太平洋国家实验室、华中师范大学、西班牙国家研究委员会发表的论文质量较高；美国加州大学、英特尔公司和塔夫斯大学等机构的专利价值更大。该领域研发的论文和专利产出以大学和研究机构为主，公司、企业的产出较少。

为提高我国该领域研究水平，促进行业发展，提高国际竞争力，本研究根据以上的分析给出了提高行业技术水平和市场竞争力的综合建议：

(1) 抓住国家大力发展农药快速检测技术行业的契机，鼓励研究机构和企业积极争取承担国家科研项目，产生更多科研成果，提高研究水平。一方面利用多学科的前沿交叉方法开发新型检验检测技术；同时使研究条件得以改善、研究队伍得到锻炼。

(2) 针对目前的技术发展瓶颈开展攻关研究，面向农药检测的实际需求开展研发，重点针对目前农药快速检测技术的局限和不足，开发稳定性好、灵敏度高、集成化水平高、满足多残留快速检测的分析技术。在我国大规模建设食品安全检验检测体系的过程中积极提供多种成本低、适用性好、易于推广的仪器设备，借此扩大企业的生产能力和规模，做大做强，提高其市场竞争力和国际竞争力。

(3) 引导大学和研究机构与企业的研发合作，促进大学、研究机构的成果转化为商业化产品，将研究机构的先进技术引入产品开发，通过提供高技术水平、高质量、多功能的产品来拓展市场、提高产品盈利能力。

(4) 在行业蓬勃兴起的大趋势下，引导支持具备一定市场竞争力的检测技术公司参与国际竞争，利用金融手段、市场购并、营销等方式与国际大公司抗衡。

(5) 从政策、机制层面采取风险投资、税收优惠、中介服务等措施鼓励扶持依托突破性技术的创新创业，培育高科技初创企业。

致谢: 中国科学院生态环境研究中心赵利霞副研究员、北京联合大学刘洋副教授等专家对本文的技术领域分析工作给予了很大帮助, 谨致谢忱!

参考文献:

- [1]朱国念. 农药残留快速检测技术. 北京: 化学工业出版社:2008. 1-9.
- [2]朱赫, 纪明山. 农药残留快速检测技术的最新进展. 中国农学通报, 2014, 30(4): 242-250.
- [3]王静. 民生安全之重中国科学检测何以承受?. 中国科技财富, 2011, 13: 28-30.
- [4]陈令新, 关亚风, 杨丙成. 压电晶体传感器的研究进展. 化学进展, 2002, 14(1): 68-76.
- [5]管华, 石茂健, 崔亚男. 免疫分析技术研究进展. 亚太传统医药, 2007, 3(10): 33-36.
- [6]Jiang X, Li D, Xua X. Immunosensors for detection of pesticide residues. Biosensors and Bioelectronics, 2008, 23: 1577-1587.
- [7]韦明元, 郭良宏. 环境污染物的免疫传感检测方法进展. 化学进展, 2009, 21(2/3): 492-502.
- [8]刘建云, 黄乾明, 王显祥, 等. 量子点在电化学生物传感研究中的应用. 化学进展, 2010, 22 (11): 2179-2190.
- [9]何建安, 付龙, 黄沫, 等. 石英晶体微天平的新进展. 中国科学: 化学, 2011, 41(11): 1679-1698.
- [10]刘继超, 姜铁民, 陈历俊, 等. 电化学免疫传感器在食品安全检测中的研究进展. 中国食品添加剂, 2011, 1: 216-222.
- [11]汪美凤, 胡娟, 郑刚, 等. 微流控芯片在食品安全分析中的应用. 食品工业科技, 2011, 32(2): 401-407.
- [12]孙旭东, 郝勇, 刘燕德. 表面增强拉曼光谱法检测农药残留的研究进展. 食品安全质量检测学报, 2012, 3 (5): 421-426.
- [13]左海根, 苗珊珊, 杨红. 分子印迹技术在农药残留检测中的研究进展. 南京农业大学学报, 2012, 35(5): 175-182.
- [14]钟伟金, 李佳, 杨兴菊. 共词分析法研究(三)——共词聚类分析法的原理与特点. 情报杂志, 2008, 7: 118-120.
- [15]中研网. 新农残留标准下食品安全快速检测技术成瓶颈. [2014年10月29日]. <http://www.chinairn.com/news/20141008/11204987.shtml>.
- [16]中国政府网. 国务院办公厅关于印发国家食品安全监管体系“十二五”规划的通知. [2014年10月15日]. http://www.gov.cn/zwggk/2012-07/21/content_2188309.htm.
- [17]农业部. 农业部关于印发《全国农产品质量安全检验检测体系建设规划(2011-2015年)》的通知. [2014年12月15日]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/FZJHS/201209/t20120926_2950575.htm.
- [18]中国网. 国家投入88亿加强食品药品监管系统基础设施建设. [2014年12月15日]. http://www.china.com.cn/policy/txt/2007-08/08/content_8647232.htm.
- [19]海南质量网. 质检总局《提升食品质量安全检(监)测能力专项规划管理办法(试行)》研讨会召开. [2014年12月15日]. <http://www.orac.hainan.gov.cn/zjxw/gnzjzhxw/2012/10/42608.shtml>.
- [20]科技部. 食品产业科技发展“十二五”重点专项规划. [2014年12月15日]. www.most.gov.cn/tztg/201206/W020120608407720628625.doc.
- [21]宁夏出入境检验检疫局. 国家质检总局“十二五”科技发展规划. [2014年12月15日]. <http://www.nxciq.gov.cn/info/1061/4018.htm>.
- [22]食品安全检测试剂与装备产业技术创新战略联盟. “食品安全检测试剂和装备产业技术创新战略联盟”简介. [2014年12月15日]. <http://www.fsdafood.com/sitePages/channelPages/page.action?pid=5163>.
- [23]赛默飞世尔科技公司. 赛默飞世尔科技签约收购手持式分光计领域的领先创新企业

Ahura Scientific. [2014 年 12 月 19 日]. <http://www.thermo.com.cn/News487.html>.

[24] 弗戈包装网. 食品安全检测仪器行业的发展现状与挑战. [2014 年 12 月 15 日].
http://pack.vogel.com.cn/2012/0106/news_266385.html.