

中国农业转基因技术投资、研发能力及进展*

蔡金阳¹ 胡瑞法¹ 黄季焜² 王晓兵²

内容提要: 利用 200 家单位 505 个研究团队的调查数据, 本文研究了中国农业转基因技术研发投资、研发能力的变化和研发进展。研究结果表明: 中国农业转基因技术研发投资保持较快增长, 2005~2010 年年均增长率高达 39.9%; 农业转基因技术研发的人力资本和论文质量显著改善, 研发能力稳步提升; 中国在基因克隆、基因转化和新品种培育方面都取得了不少成就, 但也面临挑战。政府需要在人员和经费方面加强顶层设计, 探索新的评估考核机制, 以集中力量研发出更多具有重大应用价值的技术和产品。

关键词: 转基因 农业生物技术 投资 研发能力

一、引言

自1996年转基因棉花、玉米和大豆等转基因作物商业化以来, 转基因技术在激烈的争论中快速发展 (FAO, 2000; 黄大昉, 2001; 郭淑静等, 2012)。全球转基因作物种植面积从1996年的170万公顷增加到2014年的1.8亿公顷, 已超过2014年中国农作物总播种面积 (James, 2014)。2014年, 已有28个国家的1800万农户 (90%为发展中国家小农户) 从种植转基因作物中受益。农业转基因技术发展已成为21世纪全球新的经济增长点并成为近年来应用最为迅速的作物技术, 其迅速发展给农民带来了巨大利益: 1996~2013年, 转基因农作物种植使农民增产折合1333亿美元 (James, 2014)。除此以外, 仅2013年, 转基因农作物种植就使全球二氧化氮排放量减少280亿公斤, 相当于减少1240万辆汽车的出行; 1996~2013年, 全球因转基因农作物种植减少农药施用量5亿公斤。转基因技术已显示出其在环境保护、减少温室气体排放等方面的巨大技术潜力 (James, 2014)。转基因技术的巨大潜力引起了中国对转基因技术研发与产业化的高度重视。2008年, 中国启动了转基因生物新品种培育重大专项, 该重大专项预算投入约240亿元。其中, 中央财政计划投入约120亿元, 其目标是要获得一批具有重要商业应用价值和自主知识产权的基因, 培育一批抗病虫、抗逆、优质、高产、高效的重大转基因生物新品种, 提高农业转基因生物研究和产业化的整体水平, 为中国农业可持续发展提供强有力的科技支撑。虽然国家在转基因专项中投资巨大, 但到目前为止, 中国转基因生物技术研发在基因克隆、基因转化及新品种培育方面取得了哪些成就, 尚没有相关的详细研究。本文将利用对转基因专项所有承担单位的调查数据, 一方面分析中国转基因生物技术研发的投资和研发能力, 另一方面从基因克隆、基因转化以及新品种培育方面描述中国转基因生物技术研发的进展情况。

*本文研究得到国家自然科学基金青年项目“转基因科研人员的知识产权保护和利用行为研究”(编号: 71403019), 国家自然科学基金重大国际合作项目“农作物转基因技术的研发、管理及相关政策研究”(编号: 71210004), 北京理工大学基础研究基金项目“转基因知识产权自主研发及科研人员的专利利用行为研究”(编号: 20132142012)、“中国农业转基因生物技术研发现状、问题及对策研究”(编号: 20142142008)的资助。

二、研究数据来源

本文研究数据为2010年9月对所有转基因重大专项承担单位^①的调查数据。本次调查覆盖了全国28个省份200个研究单位的505个研究团队。调查共包括两份调查问卷：第一份问卷内容包括2005~2010年各科研单位研究人员、研究经费和发表论文的情况；第二份问卷内容包括各研究团队在基因克隆、基因转化、新品种培育研究中所涉及的基因和转基因技术研发情况。该调查包括植物、动物、微生物三大生物系统，涉及水稻、小麦、玉米、棉花、大豆5种作物和猪、牛、羊3种动物。

本文在样本中剔除了12个从事生物安全性评价的研究团队，因为他们并不涉及基因克隆、基因转化和新品种培育的内容。因此，本文研究进展部分所用的样本最终为493个研究团队。其中，386个研究团队从事植物领域的转基因生物技术研发，动物领域和微生物领域的研究团队数分别为101个和6个。从单位属性来说，有130个团队来自国家级研究单位，102个团队来自省级研究单位，属于大学和公司的研究团队数分别为249个和12个。本次调查单位占全国生物技术研究单位总数的80%以上，其2005~2010年研究经费占当年全国生物技术研究经费总额的90%以上。

三、中国农业转基因技术研发投资

2005~2010年，中国生物技术研究经费^②快速增长（见表1）。所调查的200个研究单位的经费总收入由2005年的100.3亿元增加到2010年的273.9亿元（现价），年均增长率为22.2%；即使扣除物价上涨因素后，年均增长率也达到了18.8%。同期，课题经费由2005年的33.6亿元增加到2010年的129.7亿元（现价），年均增长率为31.0%；在扣除物价上涨因素后，年均增长率也高达27.3%，高于同期农业生物技术研究单位总收入的增长速度。

表1 2005~2010年转基因专项承担单位农业转基因技术经费收入变化 单位：亿元

	经费收入（现价）			经费收入（2010年不变价）		
	总收入	课题经费	生物技术 课题经费	总收入	课题经费	生物技术 课题经费
2005年	100.3	33.6	7.9	115.9	38.8	9.2
2006年	110.5	38.8	9.2	125.8	44.1	10.5
2007年	132.5	51.3	12.0	144.0	55.7	13.1
2008年	165.5	67.5	22.1	169.7	69.3	22.7
2009年	192.5	80.5	28.4	198.9	83.2	29.3
2010年1~8月	182.6	86.5	32.8	182.6	86.5	32.8
2010年（估计值）	273.9	129.7	49.2	273.9	129.7	49.2
2005~2010年年均增长率（%）	22.2	31.0	44.0	18.8	27.3	39.9

注：①经费总收入包括本年度从事农业转基因技术研究的所有单位的事业费收入（由国家定期下拨且较为固定的费用，包括人员费、办公费等）、课题经费收入、基建费收入（包括国家财政部门批准建设的科研与办公用房、实验室及设备等的建设或购置费用）、各项专项费收入（包括财政部门下拨的非科研项目专项费用）等合计。②课题经费指本年度从事农业转基因技术研究的所有单位承担的各种类型课题的经费总收入，包括政府部门、企业及国际合作项

^①研究机构以研究所为单位，高校以院系为单位。

^②由于本文研究所使用的经费收入数据为截止到2010年8月的实际到账经费，2010年经费估计数据按照后4个月的到账经费等于全年的1/3进行折算。

目等来源课题的经费收入等。③生物技术课题经费包括有关生物技术研发的所有课题经费，包括“863项目”、“973项目”、转基因重大专项以及有关生物技术的国际合作研究项目的经费等。

从表1可以看出，以2010年不变价计算，2005~2010年，中国转基因专项承担单位的农业生物技术课题经费增长了4.4倍。以前的研究表明，虽然政府对农业生物技术研究投资的增长速度在1990~1995年期间略有降低，但总体看，中国政府的农业生物技术研发投资每隔5年便翻一番，若按购买力平价计算，2003年，中国为国际上仅次于美国的政府农业生物技术研发投资最多的国家(Huang et al., 2005)。本次调查发现，中国政府的生物技术研发投资进入新世纪后增长显著加快，由2005年的7.9亿元增加到2010年的49.2亿元（现价），年均增长率达44.0%。扣除物价上涨因素后，年均增长率也高达39.9%。如果与1986~2003年年均16%的增长率相比较（黄季焜等，2010），这一速度明显加快。其中，2008年政府生物技术研发投资便比2005年翻了1.3番，2010年比2008年又翻了1番。

本文将生物技术课题经费按经费来源分为“863项目”经费、“973项目”经费、转基因专项课题经费和其他生物技术课题经费（见表2）。从经费增长趋势来看，“863项目”经费从2005年到2008年呈稳步增长的趋势，年均增长率为25.9%，扣除物价上涨因素后年均增长率也达到20.9%。但是，从2008年起，“863项目”经费中生物技术研究经费呈现回落的趋势。这可能与2008年中国转基因重大专项的启动以及政府部门的项目资金政策调整相关。“973项目”经费中生物技术研究经费呈稳步增加的趋势，年均增长率为27.9%，扣除物价上涨因素后年均增长率也达到了24.3%。国际合作项目经费数额较小，经费金额也变化不大。从表2可以看出，2008~2010年转基因专项课题经费远高于其他几条渠道的课题经费。2008年，中国启动了转基因专项，截至2010年8月，转基因专项中生物技术课题经费已累计投入38.2亿元，按照2010年的估计值计算，年均增长率高达88%，扣除物价上涨因素后年均增长率为85.6%。其经费的年均增长率远高于“863项目”经费和“973项目”经费的年均增长率。

表2 2005~2010年转基因专项承担单位各种生物技术课题经费情况 单位：亿元

	生物技术课题经费（现价）				生物技术课题经费（2010年不变价）			
	“863项目”经费	“973项目”经费	转基因专项课题经费	国际合作项目经费	“863项目”经费	“973项目”经费	转基因专项课题经费	国际合作项目经费
2005年	2.0	1.9	0	0.4	2.4	2.2	0	0.5
2006年	2.1	2.1	0	0.4	2.4	2.4	0	0.5
2007年	2.9	2.6	0	0.8	3.1	2.8	0	0.8
2008年	4.1	3.3	7.6	1.1	4.2	3.3	7.8	1.1
2009年	3.9	4.4	12.7	1.1	4.0	4.5	13.1	1.2
2010年1~8月	3.3	4.4	17.9	1.2	3.3	4.4	17.9	1.2
2010年（估计值）	4.9	6.6	26.9	1.8	4.9	6.6	26.9	1.8
2005~2010年均增长率（%）	19.1	27.9	88.0	32.5	15.7	24.3	85.6	28.5

注：本文计算转基因专项课题经费年均增长率的时间跨度是2008~2010年。

四、中国农业转基因技术研发能力

本文从转基因专项承担单位的转基因技术研发人员数量、职称和学历构成以及科研人员的论文发表情况和SCI论文占论文总数的比例等方面来衡量中国农业转基因技术研发能力。

(一) 中国农业转基因技术研究人员数量及职称、学历构成

从研究人员数量来看，虽然中国农业科研人员总数逐年下降，但是，从事农业转基因技术的科研人员数量却逐年稳步增加。中国政府在上世纪末启动的科研体制改革，在将一些研究单位企业化的同时精简了保留下来从事纯公益性研究的科研单位的人员，使中国农业科研人员总数呈下降趋势（胡瑞法、黄季焜，2011；Huang et al., 2012），农业科研人员总数由2005年的95608人下降到2010年的95300人（见表3）。然而，即使在政府严格控制编制的条件下，从事农业转基因技术的科研人员总数不减反增，从2005年的10239人增加到2010年的13626人，增长了33%。农业转基因技术科研人员占农业科研人员总数的比例也快速上升，由2005年的10.7%增长到2009年的13.7%。与此同时，农业转基因科研人员的职称结构基本保持不变（见表3），高级、中级和中级以下职称人员所占比例分别保持在47%、32%和21%左右。拥有博士学位的农业转基因科研人员数由2005年的3417人增加到2010年的6079人，增长了78%；硕士学位人员数增加了1002人；而学士学位及以下人员总数有所下降。从学历构成来看，农业转基因技术科研人员中博士学位科研人员的比重逐年快速上升，硕士学位科研人员的比重基本保持不变，而学士及以下学位科研人员的比重逐年下降。从图1可以看出，博士学位科研人员比例由2005年的33%上升到2010年的45%，硕士学位科研人员比例基本保持不变，而学士学位及以下科研人员比例则由2005年的39%下降到2010年的27%。

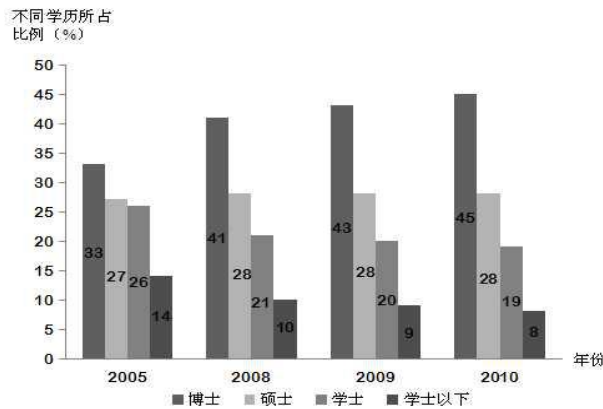


图1 2005~2010年农业转基因技术研究人员学历结构

与此相比，1986年，拥有博士学位人员的比例仅为1.6%，而拥有本科及以下学历人员的比例高达79.8%（黄季焜等，2010）。这说明，经过24年的发展，中国农业转基因技术科研人员的人力资本快速提升，研发人员的质量和结构得到了非常大的改善，中国农业生物技术的研究实力获得了很大的提高。

		2005年	2008年	2009年	2010年
农业科研人员合计		95608	93567	94976	95300
农业转基因技术科研人员合计		10239	12161	13052	13626
农业转基因技术科 研人员按职称分	高级	4727	5875	6303	6558
	中级	3247	3824	4128	4361
	中级以下	2265	2462	2621	2707
农业转基因技术科 研人员按学位分	博士	3417	4998	5668	6079
	硕士	2777	3402	3644	3779

(续表 3)

学士	2670	2571	2553	2622
学士以下	1375	1190	1187	1146

注：农业科研人员总数数据来源于农业部《全国农业科技统计资料汇编》（农业部科技教育司内部编印资料），其他有关农业生物技术科研人员数据均来自本文作者调查。

（二）中国农业科研人员的论文发表情况

从表4可以看出，转基因专项承担单位-科研人员发表的论文数量呈现稳步增长的趋势，2005~2009年发表论文总数的年均增长率为7.3%。发表农业生物技术论文数量的年均增长率高于发表论文总数的年均增长率，达到9.1%。从论文总数的结构看，农业生物技术论文所占比例逐年上升。以上情况都说明，中国农业科研人员正逐渐将研究的侧重点转移到转基因生物技术方面。值得注意的是，代表较强科研水平的SCI论文数量呈现更快速度的增长。无论是论文总数还是农业生物技术论文数量，其对应的SCI论文数量的年均增长率都高达16%以上，是其对应领域论文数量增长率的2倍以上。从SCI论文数量和农业生物技术SCI论文数量占论文总数的比例来看，这两个比例都呈现快速增长的趋势。SCI论文数量占论文总数的比例由2005年的17.7%上升到2009年的24.7%，而农业生物技术SCI论文数量占论文总数的比例由2005年的5.9%上升到2009年的9.0%。论文数量的快速增长说明中国农业科研领域的研究成果快速增加，而SCI论文所占比例不断提升也说明中国农业科研人员的科研能力和研究成果质量都在不断增强。

表4 2005~2009年转基因专项承担单位论文发表情况

	论文总数 (篇)	SCI 论文数量 (篇)	农业生物技术论文数量(篇)	农业生物技术 SCI 论文数量 (篇)	SCI 论文占论文总数比例 (%)	农业生物技术论文占论文总数比例 (%)	农业生物技术 SCI 论文占论文总数比例 (%)
2005 年	34756	6146	12064	2058	17.7	34.7	5.9
2006 年	37838	7365	13332	2482	19.5	35.2	6.6
2007 年	39948	8297	14348	2987	20.8	35.9	7.5
2008 年	43356	10235	15791	3533	23.6	36.4	8.1
2009 年	46136	11392	17076	4171	24.7	37.0	9.0
年均增长率 (%)	7.3	16.7	9.1	19.3	—	—	—

五、中国农业转基因技术研发进展

（一）基因克隆方面的研发进展

截至2010年8月，承担转基因专项课题的科研单位共计研发功能基因910个。其中，759个已经完成克隆，151个仍在克隆中（见表5）。按领域划分，植物和微生物领域完成克隆的基因占所有研发基因的比例接近85%；在动物领域，这一比例超过了75%。转基因专项承担单位的功能基因研发主要集中在植物领域，所有研发的910个功能基因中有82.7%（753个）属于植物领域；动物领域的功能基因占15.2%（138个）；微生物领域最少，只有19个，占2.1%。这表明，转基因专项承担单位在转基因研究中是以转基因植物为重点。

	合计	完成克隆	在研基因
合计	910	759	151
植物	753	636	117
动物	138	107	31
微生物	19	16	3

转基因专项承担单位在植物领域研发的功能基因不仅涉及单一性状，也涉及二重及多重复合性状（见表6）。在所有753个基因中，有82%（618个）为单一性状，12.0%（90个）为二重复合性状，具有三重及以上复合性状的基因只有45个，占6.0%。已完成克隆的基因共636个，占已研发的植物领域功能基因总数的84.5%（636/753）。值得一提的是，国际上已商业化种植的转基因作物中抗虫和抗除草剂是其最主要的两个性状。但是，中国在这两个性状方面的研究相对较少，已完成克隆的抗虫和抗除草剂基因共50个，只占已完成克隆植物功能基因总数的7.9%（50/636）。如果把抗旱、抗（耐）盐碱、其他抗逆等抗逆基因加在一起，涉及单一性状的抗逆基因共275个，占单一性状基因数总数的44%（275/618）。如果把涉及抗逆的二重及以上复合性状基因一起计算，抗逆基因总数达到391个，占已研发功能基因总数的52%（391/753）。这说明，转基因专项承担单位比较关注调控基因旁序列相对复杂的抗旱和抗（耐）盐碱等抗逆性状的研究。以上分析表明，中国转基因专项承担单位研发的涉及二重及以上复合性状的植物功能基因仅占已研发功能基因总数的18%（135/753）。单一性状基因的研发在转基因技术研发中占重要地位。在所有研发的基因中，涉及抗旱、抗（耐）盐碱等抗逆性状的基因占所有研发基因的一半以上。

	合计	完成克隆	在研基因
合计	753	636	117
单一性状合计	618	516	102
抗虫	46	40	6
抗除草剂	10	10	0
抗病	101	76	25
抗旱	89	82	7
抗（耐）盐碱	78	70	8
其他抗逆	108	79	29
高产	44	33	11
优质	58	54	4
其他	84	72	12
二重复合性状合计	90	79	11
抗旱、抗病	1	1	0
抗旱、高产	1	1	0
抗旱、抗（耐）盐碱	45	44	1
抗旱、其他抗逆	9	6	3
抗病、抗（耐）盐碱	5	5	0
抗（耐）盐碱、其他抗逆	9	9	0

(续表 6)

抗(耐)盐碱、其他	1	1	0
高产、优质	19	12	7
三重复合性状合计	23	19	4
抗旱、抗虫、抗病	2	2	0
抗旱、抗病、抗(耐)盐碱	1	1	0
抗旱、抗病、高产	2	2	0
抗旱、抗(耐)盐碱、其他抗逆	14	14	0
抗旱、抗(耐)盐碱、高产	4	0	4
三重以上复合性状合计	22	22	0
抗旱、抗病、抗(耐)盐碱、高产	1	1	0
高产、优质、其他抗逆、其他	21	21	0

在动物领域，转基因专项承担单位研发的138个基因全为单一性状基因（见表7）。在动物的功能基因中，优质（46个）和抗病（37个）性状的基因是研究的重点，对高产（18个）和其他性状基因的研究相对较少。所有完成克隆的基因有107个，占研发的动物基因总数的77.5%（107/138），这一比例低于植物领域中的84.5%。

表7 动物基因克隆研发的分布和进展（按性状划分） 单位：个

	合计	完成克隆	在研基因
单一性状合计	138	107	31
抗病	37	26	11
高产	18	16	2
优质	46	34	12
其他	37	31	6

在微生物领域，所研发的基因也都是单一性状基因，这方面的转基因研究主要集中在抗虫和抗病两个方面（见表8）。涉及抗病和抗虫性状的基因均为6个，所涉及的其他性状有抗除草剂（3个）、抗旱（1个）、抗(耐)盐碱（1个）和其他（2个）。已经完成克隆的基因有16个，占研发的微生物基因总数的84.2%。微生物领域完成克隆的基因比例与植物领域（84.5%）差不多，但高于动物领域的77.5%。

表8 微生物基因克隆研发的分布和进展（按性状划分） 单位：个

	合计	完成克隆	在研基因
单一性状合计	19	16	3
抗虫	6	4	2
抗除草剂	3	3	0
抗病	6	5	1
抗旱	1	1	0
抗(耐)盐碱	1	1	0
其他	2	2	0

（二）转基因技术的研发进展

基因克隆、基因转化和新品种培育的各个环节都涉及转基因技术。具体而言，转基因技术包括

分子标记技术、遗传转化技术、基因修饰和基因表达调控技术、新型安全高效转化表达体系和标记去除技术等。在转基因专项承担单位中，有95个研究团队采用了分子标记技术。其中，24个研究团队创新改良了49项次分子标记技术（见表9）。也就是说，在被采用的202项次分子标记技术中，24.3%项次的分子标记技术为中国研究人员自主研发。在AFLP、SSR、SNP、INDEL等分子标记技术中，INDEL技术的创新比例最高，达到29.4%，其他均为20%左右。转基因专项承担单位的研究人员采用最多的分子标记技术为SSR分子标记技术和SSN分子标记技术，这两种分子标记技术分别被55个和46个团队采用；其次为INDEL分子标记技术（34个）和AFLP分子标记技术（14个）。

表9 分子标记技术的自主创新情况

	总技术（项次）	自主创新技术（项次）	自主创新占总技术的比例（%）
合计	202	49	24.3
AFLP 分子标记技术	14	3	21.4
SSR 分子标记技术	55	10	18.2
SNP 分子标记技术	46	10	21.7
INDEL 分子标记技术	34	10	29.4
其他分子标记技术	53	16	30.2

在遗传转化技术、基因修饰和基因表达调控技术、新型安全高效转化表达体系和标记去除技术上，中国研发人员也有所突破（见表10），有近1/5的转基因方法为中国研究人员自主研发（或被优化改进）。在植物领域，遗传转化技术、基因修饰和基因表达调控技术和新型安全高效转化表达体系的自主创新比例分别为21.8%、16.1%和23.1%。在动物领域，以上三种转基因技术和转基因动物研究中广泛应用的标记去除技术的自主创新比例分别为16.4%、27%、11.1%和25%。在基因转化中，应用最广泛的是基因修饰和基因表达调控技术，被采用了774项次，占有技术采用总项次的57.8%。

表10 农业转基因技术自主创新情况

	全部技术（采用总项次）			自主创新技术（项次）			自主创新占总技术的比例（%）		
	合计	植物	动物	合计	植物	动物	合计	植物	动物
合计	1338	1033	305	258	191	67	19.3	18.5	22.0
遗传转化技术	422	294	128	85	64	21	20.1	21.8	16.4
基因修饰和基因表达调控技术	774	622	152	141	100	41	18.2	16.1	27.0
新型安全高效转化表达体系	126	117	9	28	27	1	22.2	23.1	11.1
标记去除技术	16	—	16	4	—	4	25.0	—	25.0

（三）新品种培育研发进展

从转基因作物研究样本在不同性状上的分布来看（见表11），在转基因技术研究中各种作物所侧重的性状各不相同。棉花新品种培育仍以抗虫性状为主。在142个棉花研究样本中，96个涉及抗虫性状，占总数的68%。水稻新品种培育在抗病、优质、抗虫和高产四个方面分布较均匀，样本各占20%左右。玉米新品种培育主要集中在优质和抗旱性状，涉及优质和抗旱性状的研究样本占玉米研究样本总数的比例分别为31%和25%。小麦新品种培育主要集中在高产和抗（耐）盐碱性状，涉及高产和抗（耐）盐碱性状的研究样本占小麦研究样本总数的比例分别为28%和21%。大豆新品种培育主要集中在抗病和抗除草剂性状，涉及抗病和抗除草剂性状的研究样本占大豆研究样本总数的比例分别为33%和25%。值得注意的是，虽然具有抗旱、抗（耐）盐碱和其他抗逆等抗逆性状的品种在各

种作物新品种培育中都占有不小的比例，但还缺乏有突破性进展的研究。

表11 主要转基因植物研究样本在不同性状上的分布 单位：个

	样本数	抗虫	抗除草剂	抗旱	抗(耐)盐碱	其他抗逆	抗病	高产	优质	其他
合计	616	161	46	101	99	65	92	90	126	44
棉花	142	96	8	16	23	11	13	10	14	6
水稻	182	35	8	25	18	19	40	34	39	12
玉米	150	10	12	37	27	25	9	18	47	18
小麦	78	8	2	10	16	6	9	22	12	7
大豆	64	12	16	13	15	4	21	6	14	1

注：因为同一种植物会涉及多个性状，所以，各种性状的样本数加总不等于样本总数。

从转基因动物研究样本在不同性状上的分布来看，所有108个样本在抗病、高产和优质三个性状上分布比较平均（见表12）。转基因猪的新品种培育主要集中于抗病性状，所有47个转基因猪的研究样本中，有近一半（21个）涉及抗病性状。转基因牛的新品种培育主要集中于优质性状，25个转基因牛的研究样本中，有64%涉及优质性状。转基因羊的新品种培育在优质、高产和抗病性状方面分布比较均匀，差不多各占1/3。

表12 主要转基因动物研究样本在不同性状上的分布 单位：个

	样本数	抗病	高产	优质	其他
合计	108	38	29	40	12
猪	47	21	10	9	8
牛	25	6	6	16	1
羊	36	11	13	15	3

注：因为同一种动物会涉及多个性状，所以，各种性状的样本数加总不等于样本总数。

六、结论与政策启示

（一）结论

1. 中国对生物技术研发十分重视，生物技术研发投资保持较快增长。从科研经费来看，中国农业生物技术科研经费呈快速增长趋势。以2010年不变价计算，2005~2010年，转基因专项课题承担单位的农业生物技术科研经费增长了4.4倍，扣除物价上涨因素后年均增长率高达39.9%。与1986~2003年生物技术投资的年均增长率16%相比，目前中国在生物技术领域投资的增长速度明显加快，而且其增速高于同期其他领域课题经费的增长速度。这说明，中国对生物技术研发十分重视。统计结果表明，从2008年转基因专项启动到2010年8月，该专项对生物技术研发已经累计投入了38.2亿元。

2. 中国农业转基因技术研发能力稳步增强。虽然中国农业科研人员数量总体呈下降的趋势，但是，农业生物技术科研人员数量却呈现稳步增长的趋势。农业生物技术领域不但科研人员数量增多，其学历结构也有很大改善。拥有博士学位的科研人员比例由2005年的33%上升到2010年的45%，而同期拥有学士学位及以下的人员比例大幅下降。从论文发表情况来看，2005~2009年，农业生物技术科研人员发表论文数量的年均增长率高达9.1%。其中，代表较强科研水平的SCI论文数量的增长速度更是高达19.3%，而且SCI论文数量占论文总数的比重也逐年上升。这说明，在中国农业转基因技术研究成果快速增加的同时，研究质量也逐步上升。所以，无论科研人员本身的学历结构还是SCI论文的发表情况都说明，中国农业转基因技术科研人员的人力资本得到了很大的提高，中国农业转

基因技术研发能力在稳步增强。

3. 中国农业转基因技术在基因克隆、基因转化和育种方面取得了不少进展, 转基因生物技术研发主要由公共研究部门承担。截止到2010年8月, 转基因专项承担单位已经成功获得759个功能基因, 获得49项次自主创新的分子标记技术和258项次自主创新的转基因技术, 在新品种培育方面共有724个新品种的研究样本正在研发。所有转基因专项承担单位的493个研究团队中, 只有12个研究团队来自公司, 其他都来自研究机构或大学。相比于国外, 中国私有部门对转基因生物技术研发较少, 中国转基因生物技术研发主要由公共部门承担。

(二) 政策启示

1. 政府需要在人员和经费分配上加强顶层设计, 集中力量研发具有重大应用价值的技术和产品。虽然无论从经费投入还是科研人员数量和质量方面中国农业转基因技术研发能力都有了很大提高, 但中国转基因生物技术研发由几百个研究单位承担, 研究力量分散, 这种以课题组为单位的研发体制较难集中精力研发具有突破性的技术。政府需要在人员和经费分配上加强顶层设计, 以集中力量研发具有重大应用价值的技术和产品。

2. 需要探索新的评估和考核机制。虽然转基因承担单位的研发取得了不少成果, 但是, 也可以看到, 转基因专项承担单位在调控基因旁序列相对复杂的抗旱和抗(耐)盐碱等抗逆性状领域的研究占较大比重, 这些领域的研究容易出些小专利和发表论文, 但取得重大技术创新的可能性不大(黄季焜等, 2014)。这种论文和专利数量导向型的激励机制很难达到转基因重大专项的新品种培育目标。应该建立产品导向型的激励机制, 促使各研究单位之间加强合作, 明确分工, 以培育出具有商业化应用价值的转基因新品种。

参考文献

1. 郭淑静、徐志刚、黄季焜:《转基因技术采用的潜在收益研究——基于中国五省的实地调查》,《农业技术经济》2012年第1期。
2. 胡瑞法、黄季焜:《中国农业科研体系发展与改革:政策评估与建议》,《科学与社会》2011年第3期。
3. 黄大昉:《转基因作物与植物保护》,《植物保护》2007年第5期。
4. 黄季焜、胡瑞法、陈瑞剑、米建伟、Scott Rozelle、Carl Pray:《转基因生物技术的经济影响——中国 Bt 抗虫棉 10 年》,科学出版社,2010年。
5. 黄季焜、胡瑞法、王晓兵、蔡金阳:《农业转基因技术研发模式与科技改革的政策建议》,《农业技术经济》2014年第1期。
6. FAO: *Implications and Development of Biotechnology*, Report for the 25th FAO Regional Conference for Asia and the Pacific, 2000.
7. Huang, Jikun; Hu, Ruifa; Cai, Jinyang and Wang, Xiaobing: A Survey of Human Research Capacity in Chinese Agbiotech, *Nature Biotechnology*, 30(10): 1007-1007, 2012.
8. James, Clive: *Global Review of Commercialized Transgenic Crops*, ISAAA, 2014.
9. Huang, Jikun; Hu, Ruifa; Scott, Rozelle and Carl, Pray: Insect-resistant GM Rice in Farmer Fields: Assessing Productivity and Health Effects in China, *Science*, 308(5722): 688-690, 2005.

(作者单位: ¹北京理工大学管理与经济学院;

²北京大学现代农学院)

(责任编辑: 黄慧芬)