

七、农业

1 工程研究前沿

1.1 Top10 工程研究前沿发展态势

农业领域工程研究前沿 Top10 中，主要分为三大类：传统深入研究前沿。包括农业资源科学学科的“全球气候变化与作物生产”、应用生态学学科的“土壤菌群多样性与生物固氮”、应用生态学学科的“植物多样性与全球生物安全”、农业资源科学学科的“土壤重金属污染及对农作物的胁迫”、作物科学学科的“作物营养供给与农业可持续发展”、林业工程学科的“森林结构对森林碳循环的影响”。新兴研究前沿。包括作物科学学科的“主要农作物分子设计育种”、农业工程学科的“智能农机装备”和农业资源科学学科的“植物对生物与非生物胁迫反应机理”。颠覆性研究前沿。包括农业生物工程学科的“CRISPR/Cas9 农业生物基因编辑”。

每个前沿支撑核心论文数差异较大，最多为“智能农机装备”的 491 篇，最少为“植物对生物与非

生物胁迫反应机理”的 18 篇，平均约 123 篇。篇均被引频次约 82 次，平均出版年为 2014 年 8 月（见表 1.1.1）。8 个研究前沿的论文在 2012 年至 2017 年间变化规律不明显。而“CRISPR/Cas9 农业生物基因编辑”和“智能农机装备”发表论文数均有十分明显的上升趋势（见表 1.1.2）。

（1）主要农作物分子设计育种

属于作物科学学科，是新兴研究前沿。广义上的分子设计育种包括定向分子育种、系统分子育种和分子设计育种。狭义分子设计育种以生物信息学为平台，以基因组学和蛋白质组学的数据库为基础，综合作物育种学流程中的作物遗传、生理生化和生物统计等学科的有用信息，根据具体作物的育种目标和生长环境，先设计最佳方案，然后开展作物育种试验的分子育种方法。分子设计育种通过多种技术的集成与整合，对育种程序中的诸多因素进行模拟、筛选和优化，提出符合育种目标（最佳基因型）的亲本选配和后代选择策略，以提高作物育种中的预见性和育种效率，实现从传统的“经验

表 1.1.1 农业领域 Top10 工程研究前沿

序号	工程研究前沿	核心论文数	被引频次	篇均被引频次	平均出版年	常被引论文占比	被专利引用的文献占比
1	主要农作物分子设计育种	70	5829	83.27	2014.23	—	—
2	CRISPR/Cas9 农业生物基因编辑	157	17 299	110.18	2015.20	—	—
3	智能农机装备	491	2213	4.51	2015.37	—	—
4	全球气候变化与作物生产	63	6457	102.49	2014.51	—	—
5	土壤菌群多样性与生物固氮	215	18 377	85.47	2014.54	—	—
6	植物多样性与全球生物安全	70	6190	88.43	2014.74	—	—
7	土壤重金属污染及对农作物的胁迫	26	2639	101.50	2015.12	—	—
8	作物营养供给与农业可持续发展	60	4028	67.13	2014.65	—	—
9	植物对生物与非生物胁迫反应机理	18	1330	73.89	2014.61	55.60%	0
10	森林结构对森林碳循环的影响	56	5695	101.70	2014.34	—	—

表 1.1.2 农业领域 Top10 工程研究前沿逐年核心论文数

序号	工程研究前沿	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
1	主要农作物分子设计育种	15	11	14	10	13	7
2	CRISPR/Cas9 农业生物基因编辑	7	17	26	32	38	37
3	智能农机装备	26	44	71	73	133	144
4	全球气候变化与作物生产	8	13	11	12	8	11
5	土壤菌群多样性与生物固氮	38	34	34	31	38	40
6	植物多样性与全球生物安全	11	9	10	12	13	15
7	土壤重金属污染及对农作物的胁迫	1	5	3	5	5	7
8	作物营养供给与农业可持续发展	10	6	9	15	10	10
9	植物对生物与非生物胁迫反应机理	1	3	4	4	6	0
10	森林结构对森林碳循环的影响	9	12	6	13	12	4

育种”到定向、高效的“精确育种”的转化。

(2) CRISPR/Cas9 农业生物基因编辑

属于农业生物工程学科，是颠覆性研究前沿。基因组编辑技术是通过核酸内切酶特异切割 DNA 靶位点，产生 DNA 双链断裂，诱导 DNA 的损伤修复，从而实现对基因组的定向编辑。CRISPR/Cas9 (clustered regulatory interspaced short palindromic repeats/CRISPR-associated protein 9) 技术是其中一种准确、高效、便捷的生物基因编辑技术。CRISPR 是存在于古细菌基因组中有规律、成簇、间隔短回文的重复序列。它主要依赖 Cas9 核心蛋白，在 RNA 的介导下，识别目标序列进行切割造成 DNA 的双链断裂，修复时可为生物机体提供一种特异性免疫保护机制，以抵抗外来质粒、病毒等遗传物质的入侵。它解决了生物常规育种需要进行多代杂交、所需时间长的问题，可以定向加快育种进程。

(3) 智能农机装备

属于农业工程学科，是新兴研究前沿。农用装备控制技术的智能化，重点是各种传感器、通信系统、图像处理及计算机视觉等信息化技术的深入与扩展，包括传感器在车辆转向控制、车辆地面作业部件的提升与下降控制、车辆位置与电液一体化控制等；基于植物/作物特性与果蔬等农产品成熟度

图像传感监测系统，综合图像处理与视觉传感功能（自动视觉监测系统）的间苗与除草装置；视觉与图像处理技术（立体视觉系统）在多机协同作业中联合收获机与运粮车的协同控制，包括收获机粮仓无线电载荷控制以及可控制推送速度的粮食推送控制器，联合收获机脱粒机构与集粮箱性能的改进等。无人机和机器人在农业领域应用前景广泛。在物联网和大数据时代，智能农机装备快速发展。

(4) 全球气候变化与作物生产

属于农业资源科学学科，是传统深入研究前沿。全球气候变化是指由于人类活动向大气排放了过量的二氧化碳等温室气体，导致大气中的温室气体浓度过高，从而在全球平均气温基础上产生了以增温为主要特征的全球范围的气候变化现象。其结果：

将导致作物生长环境的变化，严重影响农作物的生长发育和农业的可持续发展；将影响农作物种植区域与种植制度的变化；将影响农业生产成本及管理方式的变化。为了应对气候变化，人类社会必须从策略、理念、方法和技术等方面进行顶层设计，在作物领域建立应对气候变化的科学、技术及生产体系。

(5) 土壤菌群多样性与生物固氮

属于应用生态学学科，是传统深入研究前沿。

氮循环与农业生产和生态环境息息相关，人类通过对农业土壤施入氮肥来增加作物产量。但与此同时，氮肥的流失又破坏了原有的氮素平衡，进而导致全球的环境问题。大量研究表明自然界的氮循环主要是由微生物介导的。固氮微生物广泛存在于自然界，可以分为自生、共生和联合固氮微生物。固氮微生物将大气中的氮还原成氨的过程称为固氮作用。硝化反应直接利用铵态氮作为底物，是氮循环的中心环节，一般由氨氧化微生物和亚硝酸盐氧化微生物共生介导。生物固氮研究在基础理论研究中主要围绕着诱导非豆科作物结瘤的最佳条件和提高共生固氮效能，包括诱导根瘤菌侵入主要农作物共生结瘤的有效方法及根瘤菌导入非豆科宿主细胞的途径、共生部位和共生机理等。在应用基础研究中，主要是通过生物技术手段改造固氮微生物和现有的农作物，使新的固氮菌与新的农作物更容易形成共生固氮关系，提高固氮效能等。

（6）植物多样性与全球生物安全

属于应用生态学学科，是传统深入研究前沿。植物多样性包括物种多样性、遗传多样性、生态环境多样性。通过对生物多样性产生机制的分析及利用不同尺度对植物多样性格局成因的解释，可以研究物种共存的中性过程和生态位过程的作用机制，监控全球生物多样性面临的各种威胁。

（7）土壤重金属污染及对农作物的胁迫

属于农业资源科学学科，是传统深入研究前沿。农作物重金属污染直接影响农业生产及粮食安全，危及人类的生存环境，已经成为当今世界面临的重大生态环境问题之一。重金属污染指由重金属或其化合物造成的环境污染。重金属主要包括铅（Pb）、镉（Cd）、汞（Hg）、铬（Cr）、类金属砷（As）等。农田重金属本身具有较强的隐蔽性，且重金属毒性大、化学行为和生态效应复杂，在土壤中存留时间长，可经农作物吸收、代谢进入食物链，或迁移进入水体、大气环境，对人类生存和可持续发展构成极大威胁。重金属对作物的影响主要表现在对

作物生长发育过程、生理生化指标及产量和品质等方面。目前土壤重金属污染修复的技术主要有两种类型，一是直接清除重金属污染的土壤；二是改变土壤中重金属的存在形态，降低其活性、迁移性和生物可利用性。修复方法主要有物理修复、化学修复、电化修复以及生物修复等。

（8）作物营养供给与农业可持续发展

属于作物科学学科，是传统深入研究前沿。在农业生产中，土壤作为基本生产资料是农作物生长的基础。而土壤肥力的提高则需要肥料的支持，保障供给及提高土壤肥料的利用效率，可为农业可持续发展奠定基础。合理的施肥技术既要满足农作物的生长需求，也可有效改善土壤肥料资源分布不均、避免环境污染及耕地退化等现象的发生，实现绿色农业的发展目标。在进行土壤施肥前，首先要进行充分的土壤成分检测工作。对于具有较高肥力的土壤来说，养分的高效利用是作物高产稳产的重要保证。

（9）植物对生物与非生物胁迫反应机理

属于农业资源科学学科，是新兴研究前沿。前沿图分析结果显示，研究最为集中的是生物和非生物胁迫两大领域。其中，生物胁迫包括昆虫、灰霉等，主要的研究方向包括防御反应、免疫反应、系统获得性抗性、诱导抗性以及信号转导等。非生物胁迫的重点内容是干旱、活性氧和氧化胁迫、高温胁迫、盐胁迫和渗透胁迫等，涉及的研究包括激素信号相关内容，包括脱落酸、水杨酸和茉莉酸等；同时，光合作用、气孔导度、抗氧化酶系统也是主要的内容。在研究方法上，基因表达、转录因子和转录调控仍然是最集中的内容。同时，现代组学，包括转录组、代谢组和蛋白质组相关的内容也比较集中。

（10）森林结构对森林碳循环的影响

属于林业工程学科，是传统深入研究前沿。碳循环对全球变化尤其是气候变暖影响巨大，森林生态系统作为陆地生物圈的核心，其碳循环动态已成为全球变化研究领域的前沿。森林生态系统碳循环

的研究主要有实验技术方法（利用生物量清单、微气象学与碳同位素技术等）、地球信息科学方法和模型方法。由于森林植被和土壤对碳元素的固存能力与碳密度布局存在很大的区域差异性和时空变异性，因此探讨全球气候变化条件下森林生态系统碳循环过程的演变趋势还需要利用计算机技术、遥感技术等进行模型推演。

1.2 Top3 工程研究前沿重点解读

1.2.1 主要农作物分子设计育种

分子设计育种的概念最早由荷兰科学家 Peleman 和 van der Voort 于 2003 年提出。随着全基因组测序技术的飞速发展和植物功能基因组研究的巨大进步，基于全基因组信息开展作物品种分子设计育种成为可能，成为今后作物育种技术发展的方向。分子设计育种的核心是基于对控制作物各种重要性状的关键基因及其调控网络的认识，利用生物技术手段获取或创制的优异种质资源作为分子设计的设计元件，根据预定的育种目标，选择合适的设计元件通过系统生物学手段加以组装，培育目标新品种。与传统育种技术相比较，分子设计育种将实现在基因水平上对农艺性状的精确调控，解决传统育种易受不良基因连锁影响的难题，大幅度提高育种效率，缩短育种周期；与分子标记辅助育种技术相比，其精准性和可控性得以极大提升。分子设计育种主要包含以下三个步骤：研究目标性状基因以及基因间的相互关系。包括构建遗传群体、筛选多态性标记、构建遗传连锁图谱、数量性状表型鉴定和遗传分析等内容。根据不同生态环境条件下的育种目标设计目标基因型。利用已经鉴定出的各种重要育种性状的基因信息，包括基因在染色体上的位置、遗传效应、基因到性状的生化网络和表达途径、基因之间的互作、基因与遗传背景和环境之间的互作等，模拟预测各种可能基因型的表现型，从中选择符合特定育种目标的基因型。制定具体的育种方

案。要实现真正意义上的分子设计育种，目前来看还存在许多困难：一是分子设计育种需要依靠生物体内错综复杂的遗传通路的清楚解析；二是分子设计育种需要对作物表型性状进行高通量、准确鉴定。

从国家地区分布（见表 1.2.1）看，核心论文产出国主要是美国，占总数约 39% 的 27 篇论文中，被引次数达 2897 次，在前十名中远高于其他国家或地区。被引数比例也高达 50%。核心论文数较多的还有澳大利亚、德国和法国。从研究机构分布（见表 1.2.2）看，以美国的康乃尔大学和印度的国际半干旱热带作物研究中心为主。从合作关系图可以看出，美国和法国之间合作关系紧密（见图 1.2.1），印度的国际半干旱热带作物研究中心和墨西哥的国际玉米小麦改良中心协作联系较多（见图 1.2.2）。中国科学院发表 5 篇核心论文，核心论文数及常被引论文数均偏少。施引核心论文的主要产出国为美国、中国和澳大利亚（见表 1.2.3），施引核心论文的主要产出机构为美国农业部农业研究局，约占 20.9%（见表 1.2.4）。

深入分析支撑数据发现，高被引代表论文有 2014 年在《Molecular Plant》期刊上发表的《A high-density SNP genotyping array for rice biology and molecular breeding》，被引频次达 68 次。前沿论文有 2017 年在《Molecular Plant》期刊上发表的《Crop breeding chips and genotyping platforms: Progress, challenges, and perspectives》。前沿论文研究机构前三位为中国农业科学院、ICRISAT 和康乃尔大学等。利用高频关键词分析结果表明，基因组选择、SNP 及 QTL 是本项目科学家关注的重点。

1.2.2 CRISPR/Cas9 农业生物基因编辑

基因组编辑技术在全球掀起了研究热潮，2012 年被《Science》杂志列入年度 10 大科学进展，2014 年被《Nature Methods》杂志评为过去 10 年

第二部分 领域报告：农业

表 1.2.1 “主要农作物分子设计育种”工程研究前沿中核心论文的主要产出国家或地区

序号	国家/地区	核心论文数	论文比例	被引次数	被引数比例	篇均被引数
1	USA	27	38.57%	2897	49.70%	107.30
2	Australia	15	21.43%	1233	21.15%	82.20
3	Germany	12	17.14%	1159	19.88%	96.58
4	France	12	17.14%	706	12.11%	58.83
5	China	10	14.29%	1067	18.31%	106.70
6	India	10	14.29%	1055	18.10%	105.50
7	Mexico	10	14.29%	1178	20.21%	117.80
8	Japan	7	10.00%	333	5.71%	47.57
9	Spain	5	7.14%	857	14.70%	171.40
10	Canada	4	5.71%	624	10.71%	156.00

表 1.2.2 “主要农作物分子设计育种”工程研究前沿中核心论文的主要产出机构

序号	机构	核心论文数	论文比例	被引频次	被引频次比例	篇均被引频次
1	Cornell Univ	10	14.29%	1422	24.40%	142.20
2	Int Crops Res Inst Semi Arid Trop	9	12.86%	1001	17.17%	111.22
3	Int Maize & Wheat Improvement Ctr	9	12.86%	1077	18.48%	119.67
4	USDA Agr Res Service	7	10.00%	977	16.76%	139.57
5	Univ Western Australia	6	8.57%	628	10.77%	104.67
6	Chinese Acad Agr Sci	5	7.14%	317	5.44%	63.40
7	Kansas State Univ	3	4.29%	365	6.26%	121.67
8	Donald Danforth Plant Sci Ctr	3	4.29%	261	4.48%	87.00
9	Leibniz Inst Plant Genet & Crop Plant Res	3	4.29%	221	3.79%	73.67
10	Limagrain Europe	3	4.29%	170	2.92%	56.67

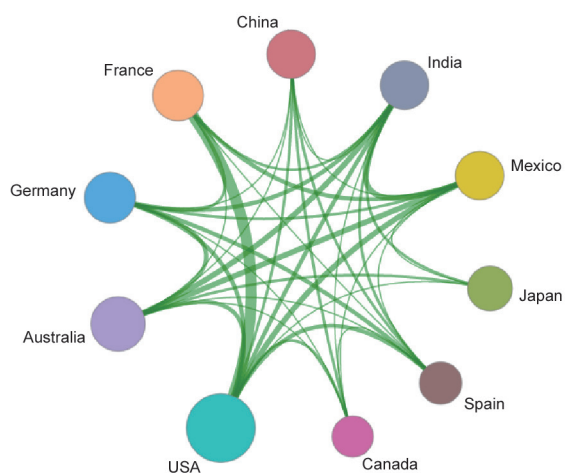


图 1.2.1 “主要农作物分子设计育种”工程研究前沿主要国家或地区间的合作网络

间对生物学研究最有影响力的10项研究方法之一。基因组编辑技术是通过核酸内切酶特异切割DNA靶位点，产生DNA双链断裂，诱导DNA的损伤修复，从而实现对基因组的定向编辑。它解决了常规育种需要进行多代杂交、所需时间长的问题，加快了育种进程；同时，由于人为增加突变效率、改变作物自然的进化过程，也增加了基因组编辑植物的环境安全和食用安全风险。基因编辑技术已经发展更新了四代，分别是：ZFNs编辑技术、TALENs编辑技术、MGN编辑技术和CRISPR/Cas9系统。CRISPR/Cas9是一种准确、高效、便

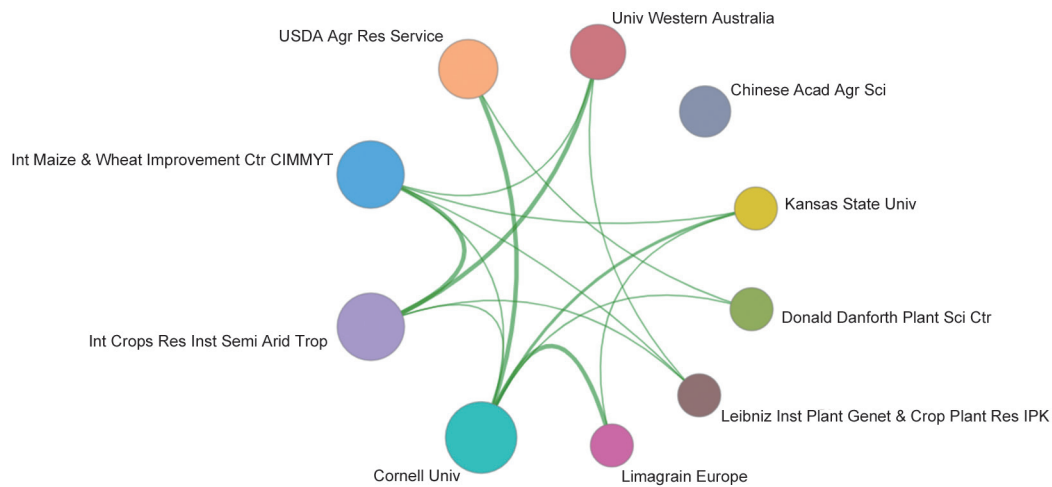


图 1.2.2 “主要农作物分子设计育种”工程研究前沿主要机构间的合作网络

表 1.2.3 “主要农作物分子设计育种”工程研究前沿中施引核心论文的主要产出国家或地区

序号	国家 / 地区	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	USA	1393	28.72%	2015.81
2	China	838	17.28%	2016.18
3	Australia	543	11.20%	2015.71
4	India	444	9.15%	2015.78
5	Germany	429	8.85%	2015.60
6	France	324	6.68%	2015.65
7	Canada	258	5.32%	2015.67
8	UK	252	5.20%	2015.97
9	Brazil	200	4.12%	2015.84
10	Mexico	169	3.48%	2015.66

表 1.2.4 “主要农作物分子设计育种”工程研究前沿中施引核心论文的主要产出机构

序号	机构	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	USDA Agr Res Service	313	20.85%	2015.9
2	Int Crops Res Inst Semi Arid Trop	164	10.93%	2015.6
3	Cornell Univ	155	10.33%	2015.5
4	Int Maize & Wheat Improvement Ctr	143	9.53%	2015.7
5	Chinese Acad Sci	137	9.13%	2016.2
6	Ins Nat Rec Agr	134	8.93%	2015.4
7	Chinese Acad Agr Sci	127	8.46%	2016.2
8	Univ Western Australia	113	7.53%	2016.0
9	Univ Queensland	109	7.26%	2015.7
10	Kansas State Univ	106	7.06%	2015.8

捷的生物基因组编辑工具。其工作的原理是外源基因组中称为 PAM (Protospacer adjacent motifs) 基序的三个保守核苷酸 NGG (N 可以为任何核苷酸) 可以被向导 RNA (sgRNA) 识别, sgRNA 引导 Cas9 蛋白在 PAM 上游切割。断链的 DNA 进行非同源末端连接修复时, 会导致插入缺失效应造成基因的移码突变, 进而达到基因敲除的目的。由于 CRISPR 的 sgRNA 只需 20 多个核苷酸的序列就能识别 PAM 基序, 并且 Cas9 蛋白单聚体就能发挥作用, CRISPR/Cas9 系统相对于其他几类基因编辑工具而言, 操作更加简便, 敲除效率更高, 基因的编辑更加精准, 可大大降低脱靶机率, 现已被广泛应用于包括重要动植物等的生物基因编辑中。

从国家或地区分布 (见表 1.2.5) 看, 核心论文产出国主要是美国、中国和德国。被引次数也是美国、中国和德国的顺序。从研究机构分布 (见表 1.2.6) 看, 中国科学院以 11 篇核心论文数位居榜首, 但被引次数仅排第 3, 篇均被引数排在第 5。从国家或地区间的合作网络图 (见图 1.2.3) 可以看出, 美国与中国和德国合作最多, 在研究中占主

导作用。从产出主要机构间的合作网络图 (见图 1.2.4) 可以看出, 中国科学院及中国科学院大学与美国的明尼苏达大学有一定的合作关系。施引核心论文的主要产出国家或地区以美国和中国为主, 施引核心论文比例也远远高于其他国家或地区 (见表 1.2.7)。中国科学院和中国科学院大学一起, 施引核心论文数近 900 篇, 施引核心论文比例超过 40% (见表 1.2.8)。

深入分析支撑数据发现, 40 篇论文被引频次超过 200 次, 其中 8 篇论文被引频次超过 500 次。2013 年在《Nature Protocols》期刊上发表的《Genome engineering using the CRISPR/Cas9 system》论文被引频次超过 1900 次。2014 年在《Cell》期刊上发表的《Development and applications of CRISPR/Cas9 for genome engineering》论文被引频次近 1600 次。这两篇论文奠定了 CRISPR/Cas9 系统成为生物基因编辑技术中的引领者地位。目前, CRISPR/Cas9 技术不但在拟南芥、酵母、鼠、人和果蝇等模式生物中广泛应用, 而且已成功在经济动物如牛、猪和羊及重要农作物如小麦、高粱、水稻和玉米等物种中实现了定点基因组编辑。利用高频关键词分析结

表 1.2.5 “CRISPR/Cas9 农业生物基因编辑”工程研究前沿中核心论文的主要产出国家或地区

序号	国家 / 地区	核心论文数	论文比例	被引次数	被引数比例	篇均被引数
1	USA	74	47.13%	10 028	57.97%	135.51
2	China	30	19.11%	2514	14.53%	83.80
3	Germany	21	13.38%	2297	13.28%	109.38
4	UK	17	10.83%	930	5.38%	54.71
5	Japan	12	7.64%	872	5.04%	72.67
6	South Korea	11	7.01%	1351	7.81%	122.82
7	The Netherlands	8	5.10%	1255	7.25%	156.88
8	Australia	8	5.10%	857	4.95%	107.13
9	Italy	8	5.10%	686	3.97%	85.75
10	France	8	5.10%	407	2.35%	50.88

表 1.2.6 “CRISPR/Cas9 农业生物基因编辑” 工程研究前沿中核心论文的主要产出机构

序号	机构	核心论文数	论文比例	被引次数	被引数比例	篇均被引数
1	Chinese Acad Sci	11	7.01%	1706	9.86%	155.09
2	Univ Minnesota	7	4.46%	395	2.28%	56.43
3	Iowa State Univ	6	3.82%	458	2.65%	76.33
4	Massachusetts Ins Tech	5	3.18%	2274	13.15%	454.80
5	Univ Calif Berkeley	5	3.18%	1895	10.95%	379.00
6	Seoul Natl Univ	5	3.18%	1103	6.38%	220.60
7	Univ Calif Davis	5	3.18%	533	3.08%	106.60
8	Harvard Med Sch	5	3.18%	179	1.03%	35.80
9	Vanderbilt Univ	4	2.55%	634	3.67%	158.50
10	Univ Chinese Acad Sci	4	2.55%	408	2.36%	102.00

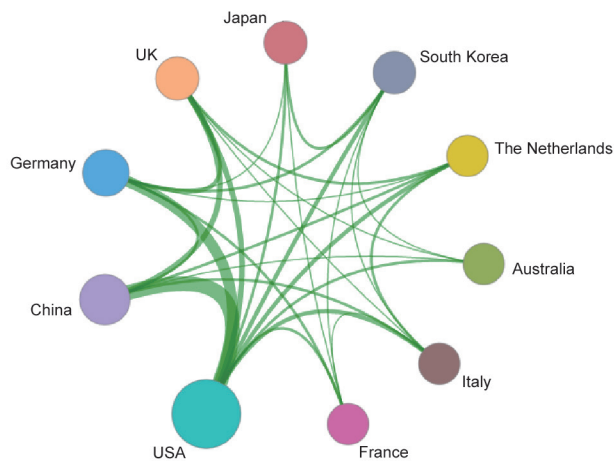


图 1.2.3 “CRISPR/Cas9 农业生物基因编辑” 工程研究前沿主要国家或地区间的合作网络

果表明，CRISPR/Cas9、TALEN 及微生物种群是本项目科学家关注的重点。

1.2.3 智能农机装备

智能农机装备：农用装备控制技术的智能化，重点是各种传感器、通信系统、图像处理及计算机视觉等信息化技术的深入与扩展。主要研究前沿包括： 农业专用传感器：研究农业传感器的新原理、新方法和新技术，多传感器信息融合测量理论与技术方法，农业传感器网络。 农业生物仪器：研究开发动植物生命信息传感器与仪器，精细育种装备

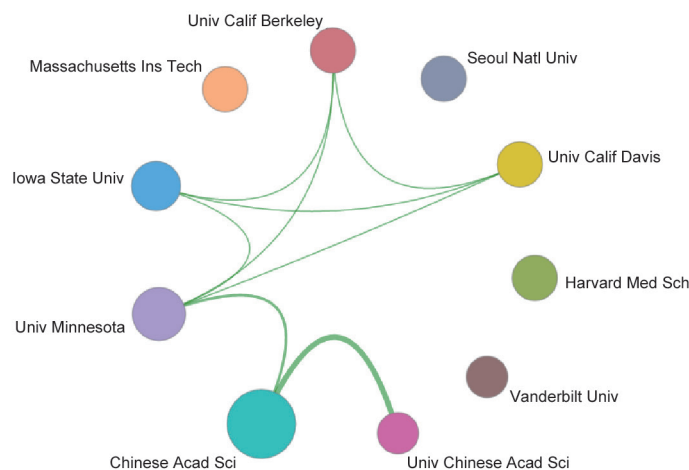


图 1.2.4 “CRISPR/Cas9 农业生物基因编辑” 工程研究前沿主要机构间的合作网络

表 1.2.7 “CRISPR/Cas9 农业生物基因编辑”工程研究前沿中施引核心论文的主要产出国家或地区

序号	国家 / 地区	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	USA	4318	36.55%	2016.2
2	China	2291	19.39%	2016.4
3	Germany	1050	8.89%	2016.3
4	UK	878	7.43%	2016.3
5	Japan	690	5.84%	2016.1
6	France	621	5.26%	2016.3
7	Australia	553	4.68%	2016.3
8	The Netherlands	506	4.28%	2016.2
9	Canada	499	4.22%	2016.4
10	Italy	408	3.45%	2016.3

表 1.2.8 “CRISPR/Cas9 农业生物基因编辑”工程研究前沿中施引核心论文的主要产出机构

序号	机构	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	Chinese Acad Sci	625	29.69%	2016.2
2	Univ Chinese Acad Sci	251	11.92%	2016.4
3	Harvard Univ	213	10.12%	2015.6
4	Univ Calif Berkeley	173	8.22%	2016.0
5	Harvard Med Sch	166	7.89%	2016.9
6	Massachusetts Ins Tech	154	7.32%	2016.0
7	Chinese Acad Agr Sci	149	7.08%	2016.7
8	Univ Calif San Diego	125	5.94%	2016.4
9	Stanford Univ	125	5.94%	2016.3
10	Univ Calif Davis	124	5.89%	2016.1

及信息化技术产品，动植物微生理信息检测设备。

智能化农机具：研究精准变量控制技术、导航技术和作业状态实时监控技术，开发支持精准作业的农业智能装备。 农业机器人：研究农业机器人仿生学原理，基础部件设计方法，路径优化、智能控制与决策支持算法，开发典型作业机器人系统。2017 年的开发前沿研究结果表明，本前沿专利项目以中国和美国公开量为主。中国约占 3/4，美国占不到 1/4。但专利被引数比例刚好相反，表明美国虽然数量少但影响力巨大。核心专利的主要产出机构主要有美国的 HUNTER IND 和中国的中国农

业大学，且美国和加拿大机构间有一定的合作关系。农业装备在满足当前不同层次需求的同时，智能装备数字化设计与仿真系统、智能装备测试平台、微机电系统农业传感器、农业机器人、智能导航控制技术，以及将物联网、大数据、云计算与云服务等技术融入智能农业装备设计将是未来智能农业装备研究的主要方向。

从国家或地区分布（见表 1.2.9）看，核心论文产出国主要是中国和美国。西班牙虽然核心论文数不足中国的一半，但被引次数位居榜首。从研究机构分布（见表 1.2.10）看，核心论文数比较分散，

表 1.2.9 “智能农机装备”工程研究前沿中核心论文的主要产出国家或地区

序号	国家 / 地区	核心论文数	论文比例	被引次数	被引数比例	篇均被引数
1	China	85	17.31%	185	8.36%	2.18
2	USA	64	13.03%	274	12.38%	4.28
3	Spain	43	8.76%	386	17.44%	8.98
4	India	40	8.15%	26	1.17%	0.65
5	Germany	35	7.13%	188	8.50%	5.37
6	Japan	24	4.89%	22	0.99%	0.92
7	Italy	23	4.68%	293	13.24%	12.74
8	Australia	21	4.28%	136	6.15%	6.48
9	Israel	18	3.67%	163	7.37%	9.06
10	The Netherlands	15	3.06%	223	10.08%	14.87

表 1.2.10 “智能农机装备”工程研究前沿中核心论文的主要产出机构

序号	机构	核心论文数	论文比例	被引次数	被引数比例	篇均被引数
1	Ben Gurion Univ Negev	9	1.83%	96	4.34%	10.67
2	Univ Florida	9	1.83%	49	2.21%	5.44
3	Univ Tecn Federico Santa Maria	8	1.63%	36	1.63%	4.50
4	Univ Sydney	8	1.63%	29	1.31%	3.63
5	Consejo Superior Invest Cient	7	1.43%	158	7.14%	22.57
6	Nanjing Agr Univ	7	1.43%	42	1.90%	6.00
7	Agr Res Org	7	1.43%	41	1.85%	5.86
8	Hokkaido Univ	7	1.43%	10	0.45%	1.43
9	Univ Sao Paulo	7	1.43%	12	0.54%	1.71
10	Wageningen Univ	6	1.22%	87	3.93%	14.50

没有特别强的机构。从主要国家或地区间的合作网络图（见图 1.2.5）可以看出，美国和中国、美国 and 印度协作较多，西班牙和意大利之间也关系密切。从机构间的合作网络图（见图 1.2.6）可以看出，只有澳大利亚的悉尼大学和巴西的圣保罗大学间存在合作关系。中国在该研究方向贡献的核心论文数排名第 1，但被引次数仅排第 5，篇均被引比例呈落后状态（见表 1.2.11）。中国科学院是施引核心论文数最多的机构（见表 1.2.12）。

深入分析支撑数据发现，与其他研究前沿相比，本项目中国科学家产出论文数较多，且会议

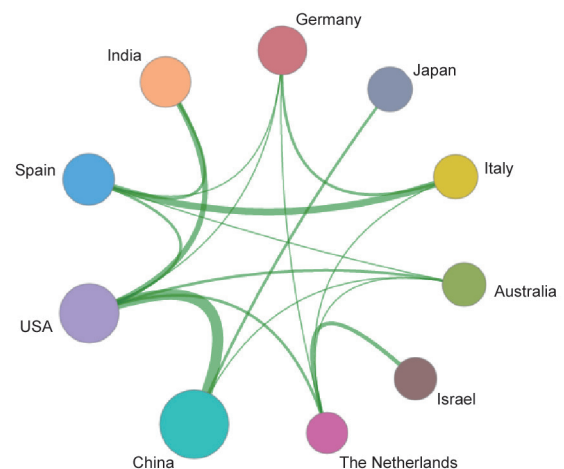


图 1.2.5 “智能农机装备”工程研究前沿主要国家或地区间的合作网络

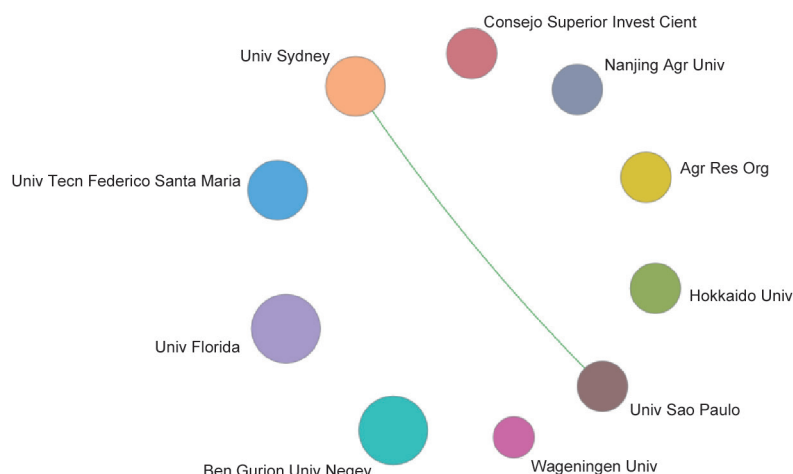


图 1.2.6 “智能农机装备”工程研究前沿主要机构间的合作网络

表 1.2.11 “智能农机装备”工程研究前沿中施引核心论文的主要产出国家或地区

序号	国家 / 地区	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	China	309	24.72%	2016.6
2	USA	252	20.16%	2016.5
3	Spain	143	11.44%	2016.3
4	Australia	117	9.36%	2016.6
5	Germany	110	8.80%	2016.3
6	Italy	84	6.72%	2016.1
7	UK	66	5.28%	2016.6
8	France	65	5.20%	2016.5
9	Canada	52	4.16%	2016.4
10	Japan	52	4.16%	2016.5

表 1.2.12 “智能农机装备”工程研究前沿中施引核心论文的主要产出机构

序号	机构	施引核心论文数	施引核心论文比例	平均施引年
1	Chinese Acad Sci	29	14.87%	2016.1
2	Consejo Superior Invest Cient	24	12.31%	2016.3
3	USDA Agr Res Service	22	11.28%	2016.5
4	China Agr Univ	22	11.28%	2016.3
5	Univ Florida	18	9.23%	2016.3
6	Mendel Univ Brno	17	8.72%	2014.2
7	Univ Tecn Federico Santa Maria	17	8.72%	2016.3
8	Wageningen Univ	16	8.21%	2016.5
9	Northwest A&F Univ	15	7.69%	2016.5
10	Univ Sydney	15	7.69%	2016.5

论文数占比较大。利用高频关键词分析结果表明，无人机、系统集成及精细农业是本项目科学家关注的重点。

2 工程开发前沿

2.1 Top10 工程开发前沿发展态势

农业领域工程开发前沿 Top10 中，主要分为三大类：颠覆性开发前沿。包括动物医学学科的“动物干细胞利用技术”、作物科学学科的“作物转基因技术”和动物医学学科的“动物模型及动物基因组编辑”。传统深入开发前沿。包括植物保护学科的“高效低毒作物病害防治化合物研制”、植物保护学科的“抗病基因的导入与抗病新品种利用”、林业科学学科的“林业信息数据库构建与生态系统建设”和作物科学学科的“作物自交系与杂交新品种选育”。新兴开发前沿。包括农业工程学科的“农业废弃物与生物质能源转化”、农业工程学科的“农业设施中太阳能的高效利用”和农业工程学科的“智能农机具的开发利用”。

本领域以“作物转基因技术”的专利公开量最多，达 738 项，平均约 310 项。“动物模型及动物基因组编辑”专利的平均被引数最高，约 33 次。

前沿专利平均被引数约 17 次。专利平均公开年为 2013 年 5 月（见表 2.1.1）。所有前沿的逐年施引专利数均呈规律性的减少态势（见表 2.1.2）。

（1）动物干细胞利用技术

属于动物医学学科，是颠覆性开发前沿。动物干细胞是一类具有自我复制能力的多潜能细胞。在一定条件下，它可以分化成多种功能细胞。根据干细胞所处的发育阶段分为胚胎干细胞和成体干细胞。根据干细胞的发育潜能分为三类：全能干细胞、多能干细胞和单能干细胞（专能干细胞）。干细胞是一种未充分分化，尚不成熟的细胞，具有再生各种组织器官和人体的潜在功能，医学界称为“万用细胞”。干细胞在动物医学基础研究及疾病治疗等方面应用广泛。

（2）农业废弃物与生物质能源转化

属于农业工程学科，是新兴开发前沿。由于长期注重高消耗、高产出的发展模式，在实现农产品供给不断增长的同时，农作物秸秆、畜禽粪便等副产品和废弃物也呈现快速增长态势，农业废弃物不合理利用造成了严重的资源和环境问题。生物质能源开发技术目前主要集中在气化、压缩燃料、燃烧发电、生产燃料乙醇以及生物柴油五个方面。其中，生物质气化燃料及生物质压缩成型技术已趋成熟。

表 2.1.1 农业领域 Top10 工程开发前沿

序号	工程开发前沿	公开量	引用量	平均被引数	平均公开年
1	动物干细胞利用技术	281	4232	15.06	2013.91
2	农业废弃物与生物质能源转化	209	4017	19.22	2012.86
3	作物转基因技术	738	14 216	19.26	2013.62
4	高效低毒作物病害防治化合物研制	170	1813	10.66	2013.29
5	动物模型及动物基因组编辑	135	4549	33.70	2013.46
6	抗病基因的导入与抗病新品种利用	308	4639	15.06	2013.40
7	农业设施中太阳能的高效利用	157	3299	21.01	2012.78
8	智能农机具的开发利用	595	12 540	21.08	2013.64
9	林业信息数据库构建与生态系统建设	210	765	3.64	2013.89
10	作物自交系与杂交新品种选育	301	4005	13.31	2013.45

表 2.1.2 农业领域 Top10 工程开发前沿的逐年施引专利数

序号	工程开发前沿	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年
1	动物干细胞利用技术	74	49	58	37	53	10
2	农业废弃物与生物质能源转化	102	56	35	12	3	1
3	作物转基因技术	187	185	173	115	73	5
4	高效低毒作物病害防治化合物研制	58	46	32	27	7	0
5	动物模型及动物基因组编辑	37	33	40	19	3	3
6	抗病基因的导入与抗病新品种利用	108	77	55	39	18	11
7	农业设施中太阳能的高效利用	82	40	23	11	1	0
8	智能农机具的开发利用	155	140	124	124	45	7
9	林业信息数据库构建与生态系统建设	40	43	56	47	19	5
10	作物自交系与杂交新品种选育	84	90	66	34	23	4

在燃烧发电方面，高效直燃发电被认为是最可行的生物质利用方式，是未来重要的发展方向。

（3）作物转基因技术

属于作物科学学科，是颠覆性开发前沿。转基因技术是利用现代生物技术，将人们期望的目标基因，经过人工分离、重组后，导入并整合到生物体的基因组中，从而改善生物原有的性状或赋予其新的优良性状。除了转入新的外源基因外，还可以通过生物体基因的加工、敲除、屏蔽等方法改变生物体的遗传特性，获得人们希望得到的性状。这一技术的主要过程包括外源基因的克隆、表达载体的构建、遗传转化体系的建立、遗传转化体的筛选、遗传稳定性分析和回交转育等。

（4）高效低毒作物病害防治化合物研制

属于植物保护学科，是传统深入开发前沿。随着高毒有机磷农药品种的不断退出，国际农药市场对“环境友好”农药的需求大增。这也为新型“环境友好”农药的发展提供了更大的发展空间，并在一定程度上引起人们对新型农药的关注与研发投入。高效、低风险农药主要具备以下几个特点：

对靶标生物活性高，单位面积使用量小；对人畜低毒；对农作物本身安全，无药害；对环境有益生物安全，如对蜂鸟鱼蚕毒性低；易降解，且降解产物安全。病虫害对化学农药也会产生抗药性。

（5）动物模型及动物基因组编辑

属于动物医学学科，是颠覆性开发前沿。动物疾病模型主要用于实验生理学、实验病理学和实验治疗学（包括新药筛选）的研究。人类疾病的动物模型是生物医学科学研究中所建立的具有人类疾病模拟性表现的动物实验对象和材料。基因组编辑技术能对生物体内源基因进行精确靶向修饰，被广泛应用于生物医学研究领域。随着基因组学、基因组编辑技术的迅速发展以及显微注射技术、体细胞克隆技术的广泛应用，分子编写育种（BMW）可以高效创制新的遗传标记并对其进行快速验证，也可以对基因组进行精确到分子水平的编写并定向培育新品种。其结果不仅能打破生殖隔离、跨物种引入新的性状，更可以对物种内个体间基因组进行精确到单个碱基的插入、删除和替换，培育出更多的动物模型。

（6）抗病基因的导入与抗病新品种利用

属于植物保护学科，是传统深入开发前沿。植物抗病基因根据植物抗病基因编码蛋白的保守结构，将植物抗病基因分成 NBS-LRR、eLRR-TM、eLRR-TM-pkinase、STK 和其他五大类。不同类型的基因在细胞水平上的分布不一样，NBS、激酶和 LRR 在不同类型的基因之间结构差异也较大，但是它们通过各不相同的作用机理参与细胞对病原体

的防御。此外，聚合多个有效抗病基因，不仅可以提高作物的抗性，而且可以提高作物的产量和营养品质。尤其是在抗病方面，单基因长时间反复利用容易丧失其抗病性，多基因聚合有利于拓宽抗谱，提高作物的抗性。

(7) 农业设施中太阳能的高效利用

属于农业工程学科，是新兴开发前沿。农地光伏太阳能是近年来刚刚兴起的将现代设施农业大棚、薄膜光伏太阳能发电和 LED 光照结合起来，既能运用农地直接低成本发电，也不影响大棚内农作物生长的一种新型农业设施。太阳能驱动喷灌机组将太阳能光伏发电技术与喷灌机进行有机结合，将传统农田灌溉方式转变为移动式喷灌，灌溉均匀度高。在节约能源的同时，节水效果亦相当显著。为了实现光伏电能的就地消纳，可以构建基于可时移农业负荷的光伏智慧农业大棚微型能源网。这种低碳农业发展新模式的开启，具有良好的生态效益和经济效益。

(8) 智能农机具的开发与利用

属于农业工程学科，是新兴开发前沿。智能化农机具研究，主要利用精准变量控制技术、导航技术和作业状态实时监控技术等，开发支持精准作业的农业智能装备。融合了信息与通信技术、计算机网络技术、控制与检测技术等先进科技的智能农机是现代农业快速发展的重要保障，其自身的发展趋势包括智能农机大数据平台的建立，多机物连、协同作业，农业机器人技术和智能农机原创性技术开发等。

(9) 林业信息数据库构建与生态系统建设

属于林业科学学科，是传统深入开发前沿。森林资源是林业的物质基础，它始终处于变化之中，为优化森林结构，合理布局，不断提高其质量与数量，必须强化森林资源管理并用计算机技术管理森林资源量化信息的存储，这种存储系统即林业信息数据库。林业信息数据库包括林业信息化中的森林资源调查管理系统、林地管理系统、林权管理

系统、林业综合决策支持系统等。林业信息化通过整合现有林业资源数据、转变传统的林业管理工作方式，可以有效增强林业资源监管能力，进一步提高林业工作管理水平及社会化服务能力。随着科技的进步，林业信息数据库还应和地理信息系统、遥感信息系统、预测预报模型系统相连接，为科学管理森林资源及森林生态系统的建设发挥更大作用。

(10) 作物自交系与杂交新品种选育

属于作物科学学科，是传统深入开发前沿。作物自交系是指一个单株经连续自交后，所获得的性状整齐一致的后代。杂种优势利用是大幅提高作物单产、改良作物品质、提高作物抗逆性、增加作物适应性的重要途径。杂种优势的基础研究包括：

利用种质资源最大限度的开发和利用杂种优势；对杂种优势群进行深入研究，在分子水平上鉴定杂种优势群；筛选与产量因素相关的杂种优势形成 QTL；研究杂种优势的适宜遗传群体。基因表达谱研究有助于杂种优势形成分子机理的解析。

2.2 Top3 工程开发前沿重点解读

2.2.1 动物干细胞利用技术

在众多类型的成体干细胞中，造血干细胞（HSC）是研究早且被公认有临床治疗效果的一类干细胞。造血干细胞是一类具有自我更新和多向分化成为各种血细胞潜能的成体干细胞，是造血系统中最为原始的细胞类型，是血液系统所有红细胞、血小板和免疫细胞（包括粒细胞、单核细胞和淋巴细胞）的来源，维系机体终身产生成熟血细胞的能力。造血干细胞主要存在于骨髓微环境（Niche）中，因此 HSC 的功能受内外多种因素调控。HSC 移植不仅可以治疗造血恶性疾病，还可应用于自身免疫性疾病、代谢病等多种疾病的治疗，在动物再生医学领域也有着重要地位。

本前沿专利项目以美国和中国公开量为主（见表 2.2.1）。美国约占 2/3，处于遥遥领先的位置。从核心专利的主要产出机构（见表 2.2.2）看，美国的 DUPO 公司公开量较多；而中国的中国农业大学核心专利的被引数较高，影响较大。从主要国家或地区间的合作网络图（见图 2.2.1）可以看出，美国和丹麦及智利合作广泛。从机构间的合作网络图（见图 2.2.2）可以看出，BROD 与 MASI 和 HARD 间联系紧密。

2.2.2 农业废弃物与生物质能源转化

生物质能，就是太阳能以化学能形式贮存在生物质中的能量形式，即以生物质为载体的能量。它直接或间接地来源于绿色植物的光合作用，可转化为常规的固态、液态和气态燃料，取之不尽、用之不竭，是一种可再生能源，同时也是唯一一种可再生的碳源。生物质能源开发技术目前主要集中在气化、压缩燃料、燃烧发电、生产燃料乙醇以及生物柴油五个方面。其中，生物质气化燃料及生物质压

表 2.2.1 “动物干细胞利用技术”工程开发前沿中核心专利的主要产出国家或地区

序号	国家 / 地区	公开量	公开量比例	被引数	被引数比例	平均被引数
1	USA	178	63.35%	2876	67.96%	16.16
2	China	54	19.22%	606	14.32%	11.22
3	Denmark	13	4.63%	223	5.27%	17.15
4	The Netherlands	11	3.91%	180	4.25%	16.36
5	France	9	3.20%	188	4.44%	20.89
6	Japan	9	3.20%	98	2.32%	10.89
7	Canada	5	1.78%	69	1.63%	13.80
8	Germany	5	1.78%	121	2.86%	24.20
9	UK	5	1.78%	56	1.32%	11.20
10	Switzerland	4	1.42%	59	1.39%	14.75

表 2.2.2 “动物干细胞利用技术”工程开发焦点中核心专利的主要产出机构

序号	机构	国家	公开量	公开量比例	被引数	被引数比例	平均被引数
1	DUPO	USA	20	7.12%	331	7.82%	16.55
2	MASI	USA	16	5.69%	421	9.95%	26.31
3	BROD	USA	15	5.34%	412	9.74%	27.47
4	HARD	USA	12	4.27%	268	6.33%	22.33
5	REGN	USA	12	4.27%	169	3.99%	14.08
6	STAM	The Netherlands	7	2.49%	103	2.43%	14.71
7	CECT	France	6	2.14%	145	3.43%	24.17
8	Recombinetics Inc	USA	6	2.14%	99	2.34%	16.50
9	REGC	USA	5	1.78%	85	2.01%	17.00
10	STRD	USA	5	1.78%	88	2.08%	17.60

注：DUPO 表示 Dupont Nutrition Biosciences Aps；MASI 表示 Massachusetts Inst. Technology；BROD 表示 The Broad Institute Inc.；HARD 表示 Harvard College；REGN 表示 Regeneron Pharm Inc.；STAM 表示 Dsm Intellectual Property Assets Manage；CECT 表示 Collectis；REGC 表示 Univ. California；STRD 表示 Univ. Leland Stanford Junior。



图 2.2.1 “动物干细胞利用技术” 工程开发前沿主要国家或地区间的合作网络

缩成型技术已趋成熟。在燃烧发电方面，高效直燃发电被认为是最可行的生物质利用方式，是未来重要的发展方向。而以林产废弃物为原料生产燃料乙醇目前转化效率仍然偏低，仍在实验阶段，开发木质纤维素为原料的乙醇生产技术将是未来研发的重点。以树木高含油种子为原料萃取生物柴油的技术仍在探索阶段，距离产业化还有一定的距离，属于今后研发的重点方向之一。

本前沿专利公开量美国最多，占绝对优势（见表 2.2.3），中国位居第 2，平均被引数国别间差异不大。从核心专利的主要产出机构（见表 2.2.4）可

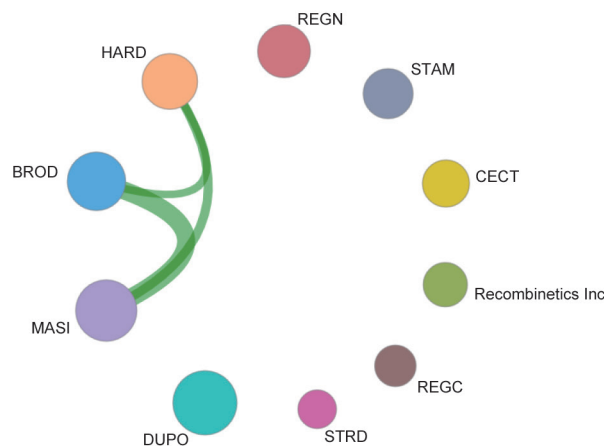


图 2.2.2 “动物干细胞利用技术” 工程开发前沿主要机构间的合作网络

以看出，BUTA 公司公开量最多。从主要国家或地区间的合作网络图（见图 2.2.3）可以看出，美国联合荷兰及英国合作紧密。从机构间的合作网络图（见图 2.2.4）可以看出，中国苏州的 2 家公司有一定的合作关系。

2.2.3 作物转基因技术

转基因技术是利用现代生物技术，将人们期望的目标基因，经过人工分离、重组后，导入并整合到生物体的基因组中，从而改善生物原有的性状或赋予其新的优良性状。除了转入新的外源基因外，还可以通过转基因技术对生物体基因的加工、敲除、

屏蔽等方法改变生物体的遗传特性，获得人们希望得到的性状。这一技术的主要过程包括外源基因的克隆、表达载体构建、遗传转化体系的建立、遗传转化体的筛选、遗传稳定性分析和回交转育等。

本前沿专利项目公开量以美国和中国为主（见表 2.2.5）。美国的专利项目公开量占比最大，平均被引数也较高。从核心专利的主要产出机构（见表 2.2.6）可以看出，机构间变化逐步下降。从国家或地区间合作网络图（见图 2.2.5）可以看出，美国 and 丹麦及智利合作密切。从机构间的合作网络图（见图 2.2.6）可以看出，MASI、Broad Inst Inc 与 HARD 间联系紧密。

第二部分 领域报告：农业

表 2.2.3 “农业废弃物与生物质能源转化”工程开发前沿中核心专利的主要产出国家或地区

序号	国家 / 地区	公开量	公开量比例	被引数	被引数比例	平均被引数
1	USA	141	67.46%	2816	70.10%	19.97
2	China	32	15.31%	531	13.22%	16.59
3	The Netherlands	9	4.31%	166	4.13%	18.44
4	Canada	8	3.83%	167	4.16%	20.88
5	Germany	5	2.39%	99	2.46%	19.80
6	Denmark	4	1.91%	80	1.99%	20.00
7	UK	4	1.91%	116	2.89%	29.00
8	Australia	3	1.44%	77	1.92%	25.67
9	France	3	1.44%	37	0.92%	12.33
10	Japan	3	1.44%	52	1.29%	17.33

表 2.2.4 “农业废弃物与生物质能源转化”工程开发焦点中核心专利的主要产出机构

序号	机构	国家	公开量	公开量比例	被引数	被引数比例	平均被引数
1	BUTA	USA	14	6.70%	350	8.71%	25.00
2	SHEL	USA	8	3.83%	216	5.38%	27.00
3	DUPO	USA	7	3.35%	141	3.51%	20.14
4	Suzhou Mingyue Pharm Technology Co Ltd	China	7	3.35%	109	2.71%	15.57
5	UNVO	USA	6	2.87%	114	2.84%	19.00
6	XYLE	USA	6	2.87%	116	2.89%	19.33
7	DOWC	USA	5	2.39%	75	1.87%	15.00
8	Suzhou Miracpharma Technology Co Ltd	China	5	2.39%	79	1.97%	15.80
9	ANGC	USA	4	1.91%	62	1.54%	15.50
10	Api Intellectual Property Holdings LLC	USA	4	1.91%	55	1.37%	13.75

注：BUTA 表示 Butamax advanced biofuels LLC；SHEL 表示 Shell Int. Res. Mij Bv；DUPO 表示 Dupont Nutrition Biosciences APS；UNVO 表示 UOP LLC；XYLE 表示 Xyleco Inc.；DOWC 表示 Dow Global Technologies LLC；ANGC 表示 Angus Chemical Company。

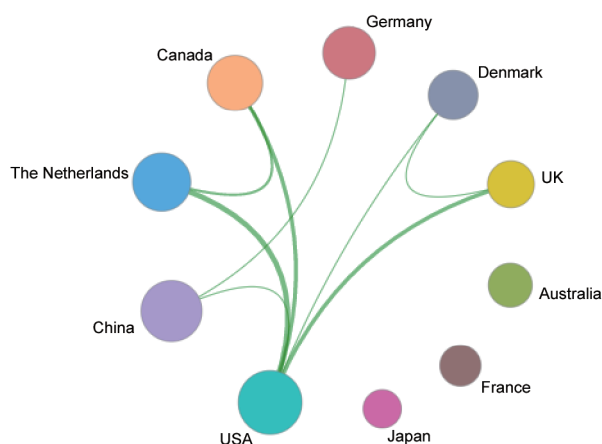


图 2.2.3 “农业废弃物与生物质能源转化”工程开发前沿主要国家或地区间的合作网络

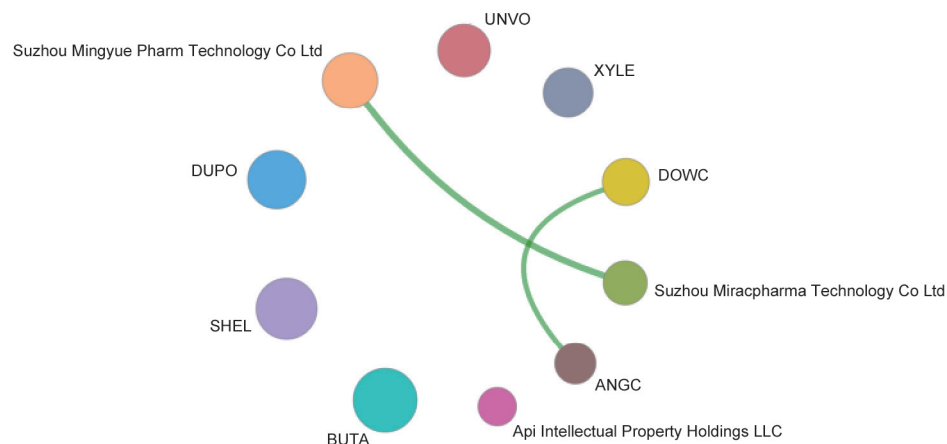


图 2.2.4 “农业废弃物与生物质能源转化”工程开发前沿主要机构间的合作网络

表 2.2.5 “作物转基因技术”工程开发前沿中核心专利的主要产出国家或地区

序号	国家 / 地区	公开量	公开量比例	被引数	被引数比例	平均被引数
1	USA	462	62.60%	9959	70.05%	21.56
2	China	114	15.45%	1285	9.04%	11.27
3	Denmark	35	4.74%	717	5.04%	20.49
4	Germany	31	4.20%	721	5.07%	23.26
5	Switzerland	24	3.25%	592	4.16%	24.67
6	UK	24	3.25%	334	2.35%	13.92
7	The Netherlands	24	3.25%	456	3.21%	19.00
8	Japan	19	2.57%	307	2.16%	16.16
9	France	17	2.30%	325	2.29%	19.12
10	Canada	16	2.17%	202	1.42%	12.63

表 2.2.6 “作物转基因技术”工程开发焦点中核心专利的主要产出机构

序号	机构	国家	公开量	公开量比例	被引数	被引数比例	平均被引数
1	HARD	USA	35	4.74%	940	6.61%	26.86
2	NOVO	Denmark	34	4.61%	736	5.18%	21.65
3	DUPO	USA	32	4.34%	500	3.52%	15.63
4	Broad Inst Inc	USA	27	3.66%	954	6.71%	35.33
5	MASI	USA	27	3.66%	959	6.75%	35.52
6	BUTA	USA	26	3.52%	688	4.84%	26.46
7	Moderna Therapeutics	USA	14	1.90%	599	4.21%	42.79
8	HOFF	Switzerland	13	1.76%	287	2.02%	22.08
9	STAM	The Netherlands	13	1.76%	180	1.27%	13.85
10	CAGS	China	12	1.63%	149	1.05%	12.42

注：HARD 表示 Harvard College；NOVO 表示 Novozymes AS；DUPO 表示 Dupont Nutrition Biosciences APS；MASI 表示 Massachusetts Inst. Technology；BUTA 表示 Butamax Advanced Biofuels LLC；HOFF 表示 Hoffmann La Roche & Co Ag F；STAM 表示 Dsm Intellectual Property Assets Manage；CAGS 表示 Inst. Crop Sci. Chinese Acad. Agric. Sci.。

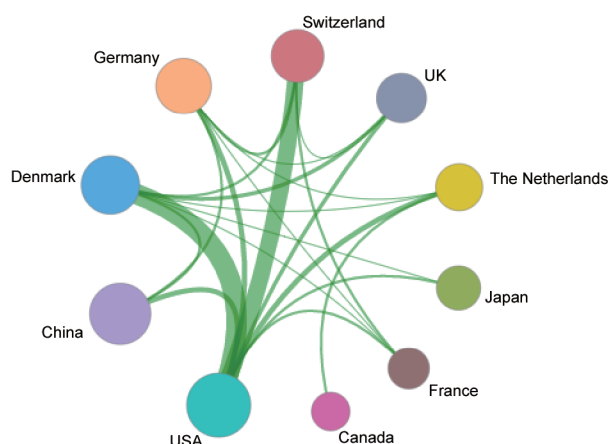


图 2.2.5 “作物转基因技术”工程开发前沿主要国家或地区间的合作网络

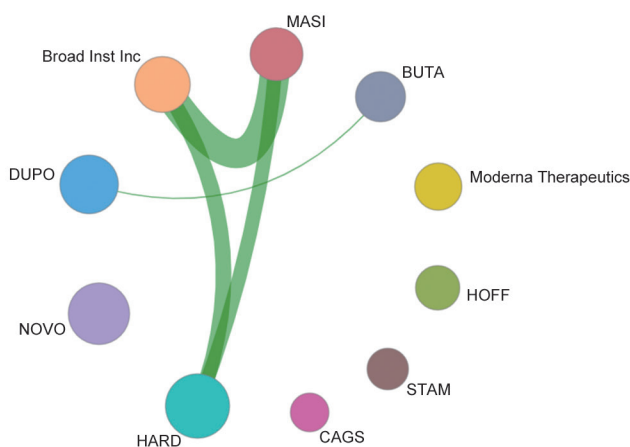


图 2.2.6 “作物转基因技术”工程开发前沿主要机构间的合作网络

领域课题组人员

领域课题组：

康绍忠 李召虎 刘旭 邓秀新 赵要风
 黄海涛 缴续 梁真真 闻丹岩 许建香
 袁文业 李晨英 师丽娟 刘子瑜 杨爱东
 王岩 邢璐

领域咨询专家组：

陈焕春 陈温福 康绍忠 李玉 罗锡文

麦康森 南志标 沈国舫 沈建忠 宋宝安
 唐启升 万建民 吴孔明 张福锁 张洪程
 张守攻 赵春江 朱有勇

执笔组：

袁文业 李晨英 师丽娟 许建香 杨爱东
 王岩 邢璐