



## 欧盟委员会联合研究中心总结并展望 新基因组技术当前和未来的市场应用

中国科学院上海营养与健康研究所  
上海生命科学信息中心  
上海市生物工程学会  
2021年6月

## 欧盟委员会联合研究中心总结并展望 新基因组技术当前和未来的市场应用

**编者按：**欧盟委员会联合研究中心（European commission's Joint Research Centre, JRC）2021 年 4 月发布报告《新基因组技术当前和未来的市场应用》（Current and future market applications of new genomic techniques），总结了新基因组技术现阶段的市场应用情况，涵盖新基因组技术在农业、食品、工业和医药等领域中的应用。报告指出，尽管目前已投入市场或处于上市前阶段的应用较少，但相关研究已经非常丰富，商业化较少的原因可能与一些国家对这类技术监管的不确定性有关。由于技术的灵活性、经济性和易操作性，未来基于 CRISPR 等技术的应用将会持续增加并最终进入市场。

### 1. 概述

新基因组技术（new genomic techniques, NGT）被定义为“能够改变生物体遗传物质的技术”，是欧盟发布关于转基因生物（GMO）指令 2001/18/EC 后开发的一类技术。应欧洲理事会（European Council）的要求，欧盟委员会联合研究中心下属的欧洲委员会卫生与食品安全总局（SANTE）对新基因组技术目前和未来的市场应用进行了调查统计，总结了新基因组技术在农业、食品、工业和医药领域的应用现状。

调研的新基因组技术包括 4 组，分别是：（1）DNA 双链断裂技术（DSB），包括定向核酸酶技术（SDN），如 CRISPR、TALEN、ZFN 和归巢核酸内切酶，这些技术可以导致诱变以及同源转基因或转基因；（2）基因组单链 DNA（ssDNA）断裂或不断裂技术，如寡核苷酸定点诱变（ODM）、碱基编辑和引物编辑；（3）DNA 甲基化和 CRISPR 干扰等表观遗传技术；（4）直接用于 RNA 的编辑技术。其中 2001 年以前已经在使用的技术不属于新基因组技术（如农杆菌介导技术或基因枪）。

将技术应用分为 4 个发展阶段：（1）商业化阶段：新基因组技术应用目前已在全球至少一个国家销售；（2）预商业化阶段：将在至少一个国家进行商业化，但目前还尚未进入市场（商业化主要取决于研发者的决定，预计未来 5 年内可投入市场）；（3）后期研发阶段：处于发展的后期阶段（例如，植物的现场试验、医疗应用的体内/体外临床试验），可在 2030 年左右进入市场；（4）前期研发阶段：还处于概念验证阶段。

## 2. 新基因组技术的市场应用

本报告统计结果涵盖了 5 种生物类型：植物、蘑菇、动物、微生物和人类细胞。图 1 总结了 645 种新基因组技术产生的植物、蘑菇、动物和人类细胞的整体概况。由于微生物使用新基因组技术的特殊性和数据空缺，有关微生物的数据未在图中。

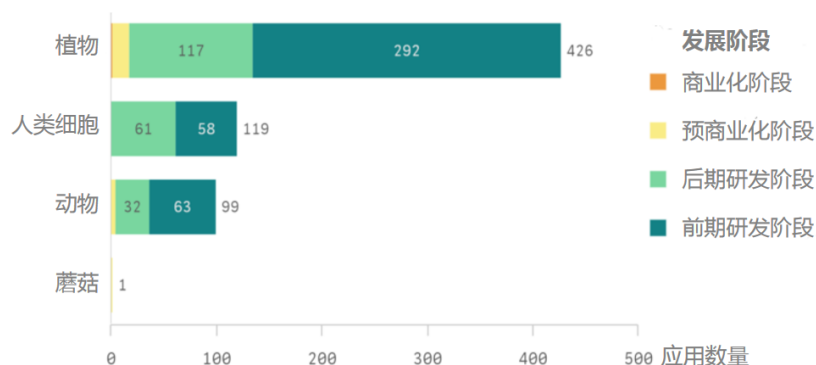


图 1 新基因组技术应用于植物、蘑菇、动物和人类细胞及其所处的发展阶段

4 组技术中，第一类技术的产品市场潜力最大（几乎占新基因组技术应用的 91%）；其次是第二类技术，占 7.7%，主要用于植物。在研发层面上，第三类（表观遗传学）或第四类（RNA 编辑）技术的应用目前不超过 10 个。

第一类技术，如 SDN 技术，主要用于通过非同源末端连接（SDN1）获得突变/插入，而它们与 DNA 模板（SDN2 和 SDN3）的使用迄今尚未得到充分利用（数据未显示）。在不同的新基因组技术中，CRISPR 相比

其他技术更便宜、更快捷、更高效，因此基于 **CRISPR** 的技术占主导地位（图 2）。

目前，全球市场上只有一种用新基因组技术生产的农作物投入应用，但没有一种用新基因组技术生产的动物上市；大约有 20 种处于预商业化阶段的新基因组技术产品（植物、动物和蘑菇），一种可作为最终产品销售的新基因组技术生产的微生物。新基因组技术广泛用于商业微生物菌株的生产，包含工业上的生产（例如，食品、饲料、能源、生物基化学品），特别是用于改善生产菌株。在这些情况下，最终商业产品不是新基因组技术微生物，而是它们产生的分子。在所研究的通路中，有超过 600 种可归类为高级或前期研发阶段的衍生产品，这也表明了新基因组技术的商业化潜力。医药领域正利用 **CRISPR** 和其他新基因组技术应对人类疾病，已经开展了一些 I 期和 I/II 期临床试验，但尚未达到商业或预商业水平。

商业化/预商业化与研发阶段应用之间存在差距的原因可能与新基因组技术（特别是 **CRISPR**）还处于早期发现阶段有关，也可能与一些国家对这些技术监管的不确定性有关。

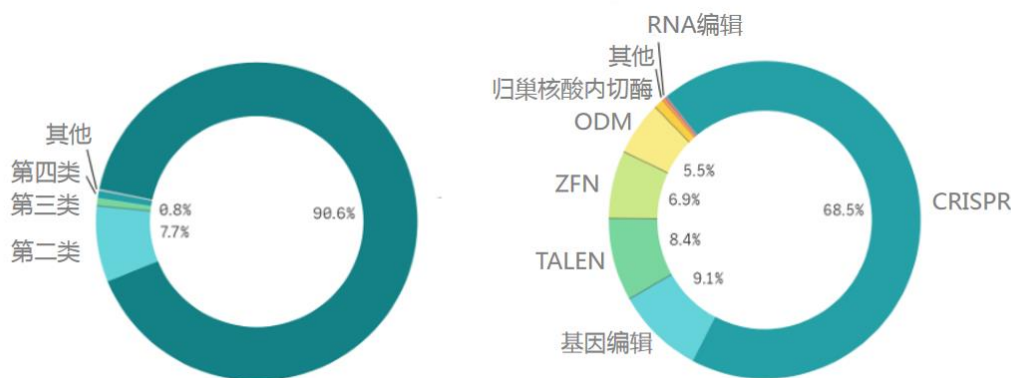


图 2 新基因组技术在植物、蘑菇、动物和人类细胞中的应用

## 2.1 植物

报告收集了新基因组技术在超过 400 例植物中的应用，包括耕地作物、蔬菜、水果和一些没有广泛种植和贸易而未得到关注的植物（例如木薯、小米、鹰嘴豆等孤生作物），表明新基因组技术（特别是基于 **CRISPR**

的新基因组技术)在不同植物中具有高度的可塑性和灵活性。表 1 汇总了使用新基因组技术的植物类群和物种,表明了在使用新基因组技术获得了非常多样化的性状,表 2 对植物通过新基因组技术获得的性状进行了总结。

表 1 新基因组技术在植物领域的应用(例举)

| 植物类别    | 植物                                     |
|---------|--|
| 谷类      | 玉米、小麦、水稻、大麦、高粱、谷子                      |
| 饲料与稻科   | 紫花苜蓿、黑麦草、柳枝稷、狗尾草                       |
| 水果      | 苹果、香蕉、橙子、土樱桃、葡萄柚、葡萄、猕猴桃、瓜、西瓜、浆果、核果、牛油果 |
| 豆类      | 豆、鹰嘴豆、花生、豌豆、树豆                         |
| 油类及纤维作物 | 大豆、油菜籽、棉花、亚麻荠、亚麻、西洋菜、向日葵、芥菜、草莓         |
| 观赏性植物   | 菊花、蒲公英、兰花、牵牛花、一品红、罌粟、日本牵牛花、夏瑾、烟草花      |
| 糖类作物    | 甜菜、甘蔗                                  |
| 树木      | 杨树、针叶树                                 |
| 根茎类植物   | 土豆、红薯、木薯、甜菜根                           |
| 蔬菜作物    | 西红柿、花椰菜、卷心菜、黄瓜、茄子、生菜、辣椒、菊苣             |
| 聚合植物    | 当只能识别出是“植物”或一系列植物时                     |
| 其他植物    | 可可豆、咖啡、烟草、鼠尾草                          |

表 2 植物通过新基因组技术获得的性状

| 性状分类     | 描述   |
|----------|--|
| 生物应激耐受性  | 对生物应激的抵抗力,如线虫、真菌、细菌、病毒和其他害虫、病原体或寄生虫                                    |
| 非生物应激耐受性 | 对非生物应激的抵抗力,如干旱、热、盐、雨或紫外线辐射   |
| 除草剂耐受性   | 对各种除草剂的耐受性   |
| 颜色/风味改良  | 经改良的颜色或味道  |
| 组成改良     | 为提高食品/饲料质量或更好的工业用途(包括作为质量特性的无籽水果)而修改的物质含量,如淀粉、油、蛋白质、维生素、纤维、有毒物质、过敏原等   |
| 植物产量及结构  | 产量的增加(或产量稳定性)与较高的花/种子/果实数量、果实大小/重量或光合效率有关。包括植物结构的其他变化,如株高和形状,果实形状和生长模式 |
| 储藏性能     | 改善特性,如保质期和耐储存条件(如冷藏),包括不褐变和减少黑斑  |
| 其他性状     | 不属于上述类别的性状,例如工业利益分子的产生、农艺目的花期和氮的利用                                     |
| 繁殖工具     | 生殖/开花特性包括不育诱导、早花和单倍体技术   |

在应用新基因组技术的 426 种作物中，目前只有一种处于商业化阶段：由美国 Calyxt 公司通过 TALEN 改造的高油酸大豆品种。该品种的大豆在美国种植，由此提取的“Calyno 油”在美国和加拿大都有销售。此外，有 16 种产品处于预商业化阶段。其中的一些作物性状组合是过去通过成熟的基因组技术（如农杆菌或生物学获得转基因或同源转基因植物）也能获得的：这些特性涉及玉米、大豆、水稻和土豆等作物，以及耐除草剂、抗真菌、油或淀粉成分的改良和不褐变（更长的保质期）等特性。也出现了一些新的作物性状组合，如高表达  $\gamma$ -氨基丁酸（GABA）的番茄、耐除草剂的鸽子豌豆和亚麻、添加改性油脂的芹菜和亚麻。在性状和植物方面，研发通路显示出非常多样的应用范围（包括 117 个后期阶段产品和 292 个前期阶段产品），例如，以前无法获得的新性状，以及更广泛的抗病性状；成分改良的目标不仅是淀粉和油的含量，许多作物的营养特性（纤维或维生素含量）也得以提高，潜在有害化合物（毒素、过敏原、丙烯酰胺等）或面筋的含量减少。

研发新基因组技术衍生植物的国家（即研发者所属国家），以美国和中国的应用最多。在欧盟国家，新基因组技术申请数量最多的是德国，其次是法国。图 3 总结了研发者的分布（私营企业或公共/学术机构）。私营企业更多地处于在商业化或预商业化阶段，而公共/学术机构主导早期研发成果。这一结果也可能与信息来源有关，文献大多由学术机构发表，而私营企业通常希望保护知识产权而不公布早期信息。

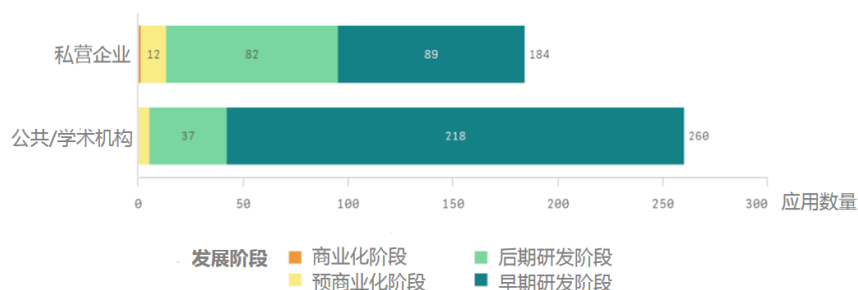


图 3 按研发者类型（私人或公共/学术）和发展阶段划分的新基因组技术

除了最终植物品种中获得的有用性状外，新基因组技术也被广泛用作植物育种工具。例如，改良生殖特征，如不育、恢复生育、自交相容性或无融合生殖；花期提前；增加或抑制基因重组；单倍体和双单倍体诱导等。

## 2.2 蘑菇

目前，应用新基因组技术的蘑菇只有一种。宾夕法尼亚大学利用 CRISPR/Cas9 删除编码多酚氧化酶的基因，开发的白蘑菇 (*Agaricus bisporus*)，获得不褐变特性。这些蘑菇 2016 年在美国获批商业化，可以在无需进一步监督的情况下销售，但本报告没有收集到关于该产品的商业化信息，因此认为其处在预商业化阶段。

## 2.3 动物

根据收集的信息，应用新基因组技术的动物少于植物领域。神经生长激素主要用于老鼠、猴子、猪和大鼠等模式生物的医学研究，以及食物用途，特别是牛、猪和鸡等农场动物，各种鱼类（鲑鱼、罗非鱼、金枪鱼和红鲷）。昆虫（尤其是蚊子）和一些入侵物种是基于新基因组技术的基因驱动技术的研究对象。表 3 和表 4 分别提供了新基因组技术应用到动物中的信息，以及动物通过新基因组技术所获得的性状。用作疾病的模型动物只用于研究，不会在市场上出售，因此将单独分析。

表 3 新基因组技术在动物领域的应用（例举）

| 动物分类       | 物种                     |
|------------|------------------------|
| 水生动物       | 鲑鱼、罗非鱼、金枪鱼、鲤鱼、红鲷、河豚、珊瑚 |
| 家养动物       | 牛、猪、鸡、羊、马、狗            |
| 啮齿动物和灵长类动物 | 小鼠、大鼠、猴子               |
| 昆虫         | 蚊子、苍蝇、飞蛾               |
| 其他动物       | 蟾蜍、野猫                  |

表 4 动物通过新基因组技术获得的性状

| 性状分类       | 描述                       |
|------------|--------------------------|
| 生物应激耐受性    | 对细菌、病毒和其他病原体等生物应激源的抵抗力   |
| 肉类的产量/品质改善 | 更快的肉类生产，以及在肉品质和肌肉相关性能的改良 |
| 非生物应激耐受性   | 对非生物应激的抵抗能力，如高温或低温       |
| 低变应原特性     | 动物性食物的低过敏特性              |



|        |   |
|--------|---|
| 生殖特性   | 性别特征的变化，如不育或男女后代比例                            |
| 其他性状   | 不属于上述类别的性状，包括畜群管理、毒素水平降低和行为特征的改变              |
| 基因驱动   | 利用基因驱动技术，将基因修饰传递给后代，其目的通常是为了消灭携带病原体的昆虫或控制入侵物种 |
| 人类治疗应用 | 应用于研究人类疾病（特别是癌症和遗传疾病）的基因疗法或用于生产可用于人体移植器官模型的动物 |

目前，还没有任何新基因组技术动物被商业化，准备商业化的项目包括 4 种动物：产量提高的罗非鱼、抗呼吸综合症的猪、美国的无角牛和耐热牛。先进的研发通路包括 28 项，包括 14 项家养动物（6 项牛、5 项猪、2 项鸡和 1 项羊）和 4 种鱼产品（红鲷鱼、鲑鱼、金枪鱼、鲤鱼）的应用。基因驱动应用后，在昆虫中有 7 项应用（5 项蚊子、1 项蛾子、1 项苍蝇），还有 1 项在老鼠中的应用。在各种可用的新基因组技术中，CRISPR 是大多数应用的首选。CRISPR 也被用于基因驱动，特别是在昆虫中。图 4 汇总了研发者所属的机构（私营企业或公共/学术机构）。私营企业开发了多种商用应用，公共/学术机构更偏早期研发，这一结果与植物领域类似。

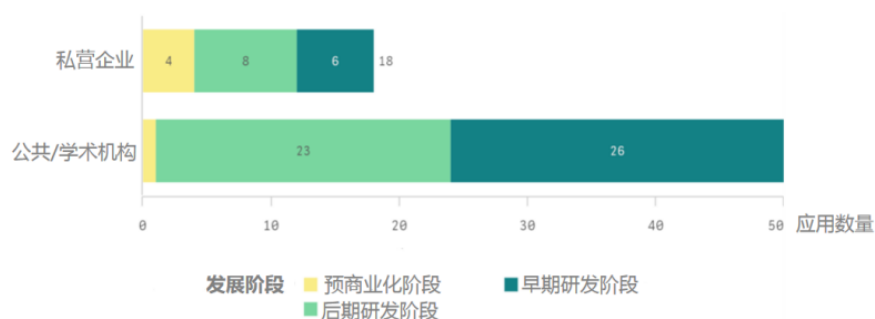


图 4 按研发者类型和开发阶段分类的新基因组技术在动物领域的应用

疾病动物模型的特殊用途是人类疾病研究。表 5 汇总了该领域的新基因组技术应用。根据目前收集的信息，小鼠是新基因组技术在人类基因治疗研究（特别是癌症和遗传疾病研究）中最常用的模式生物。新基因组技术修饰的大鼠和猴子也用于模拟人类疾病，但这一应用仍处于前期研发阶段。



表 5 新基因组技术在人类疾病动物模型中的应用（例举）

| 发展阶段   | 种群         | 物种 | 产品数量 | 性状描述、目标疾病  |
|--------|------------|----|------|--|
| 后期研发阶段 | 家养动物       | 猪  | 1    | 创伤性休克或肝功能衰竭  |
| 后期研发阶段 | 啮齿动物和灵长类动物 | 小鼠 | 3    | 慢性创伤性脑病、前列腺癌、艾滋病   |
| 前期研发阶段 | 家养动物       | 猪  | 3    | 器官相容性  |
| 前期研发阶段 | 啮齿动物和灵长类动物 | 猴子 | 2    | 器官相容性及艾滋病  |
| 前期研发阶段 | 啮齿动物和灵长类动物 | 小鼠 | 24   | 肌营养不良, 包括杜氏肌营养不良、B 型血液病、亨廷顿氏病、莱伯氏先天性黑蒙、视网膜色素变性、梅斯曼上皮性角膜营养不良、开角型青光眼、急性肾病、癌症包括白血病、心血管疾病、高胆固醇、高脂血症、肥胖、II 型糖尿病、心力衰竭和肾功能衰竭、人乳头瘤病毒、胰腺相容性 |
| 前期研发阶段 | 啮齿动物和灵长类动物 | 大鼠 | 3    | 胰腺相容性、色素性视网膜炎  |

## 2.4 微生物

微生物在工业领域有广泛的用途，可用于生产特定分子和商业化的产品（表 6）。

表 6 工业生物技术在微生物中的应用（例举）

| 微生物的利用     | 包含使用  | 故意释放   |
|------------|---|--|
| 食品/饲养相关应用  | <ul style="list-style-type: none"> <li>•食品酶（用于烘焙、淀粉产品、植物蛋白、植物油、乳制品，肉类加工）</li> <li>•饲料酶（用于增加营养价值）</li> <li>•食品/饲料配料</li> </ul>         | <ul style="list-style-type: none"> <li>•用于动物和人类的益生菌</li> <li>•饲料中的微生物（以改善营养或饲料转化率）</li> <li>•接种剂（化肥替代品）</li> <li>•生物防治（农药替代品）</li> </ul> |
| 非食品/饲养相关应用 | <ul style="list-style-type: none"> <li>•酶（用于洗涤剂、纺织品、皮革、纸浆和纸张）</li> <li>•生物燃料</li> <li>•化妆品</li> <li>•制药</li> <li>•其他生物基化学品</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>•生物降解</li> </ul>  |

### ➤ 利用新基因组技术生产商业产品的微生物

一种被称为 Pivot Bio PROVEN 的产氮土壤细菌，由美国 Pivot Bio 公司开发，在美国已经实现商业化，可作为谷类作物的氮肥补充。另一个在

后期研发阶段的是 CRISPR 编辑的 *Epichloë coenophiala* (一种高羊茅的内生真菌)，可以消除对牲畜有毒的化合物(麦角生物碱)的产生。

#### ➤ 利用新基因组技术改进可生产工业分子的微生物菌株

预商业化阶段的例子包括：美国 Solugen 公司开发的 CRISPR 编辑的微生物可以从植物糖中生产一种产生过氧化氢的酶；基因组编辑的酿酒酵母已被巴西国家生物安全技术委员会(CTNBio)批准为非转基因产品；用于控制肉鸡沙门氏菌感染的大肠杆菌基因组编辑产品 BiomElix Guided bio，被 CTNBio 批准为非转基因产品。

后期研发阶段的例子包括：美国合成基因组公司(Synthetic Genomics)和埃克森美孚公司开发的用于生产生物柴油的 CRISPR 编辑微藻；巴西全球酵母合资公司利用 CRISPR 编辑的酵母生产乙醇；华盛顿大学开发的生产生物柴油的 CRISPR 编辑大肠杆菌。

#### ➤ 利用新基因组技术生产微生物医药产品

新基因组技术(特别是 CRISPR 技术)正被用于编辑人类微生物组以达到治疗目的。其潜在用途包括：(1) 微生物可以成为患者微生物组的一部分，并产生治疗分子(如白细胞介素)，例如，Novome Biotechnologies 公司已经获得 Caribou 的授权，利用 CRISPR/Cas9 加速治疗慢性疾病的临床前候选药物的开发。(2) 微生物(噬菌体或细菌)作为载体在病人体内修饰微生物组(敲除病原体中的抗生素耐药性基因或毒性基因)，例如 Locus Biosciences 公司 2019 年底在美国进行的一项临床试验，利用噬菌体治疗尿路中的耐抗生素大肠杆菌。

## 2.5 人类健康

新基因组技术目前正广泛应用于医疗/治疗领域。人体细胞中的新基因组技术包括(1) 体外使用：在实验室中进行治疗的人体细胞(未在患者体内使用)；(2) 体内使用：基于新基因组技术的治疗直接用于患者(即靶向细胞始终留在患者体内)；(3) 间接体外：将目标细胞从患者体内取出，在体外应用新基因组技术后再将目标细胞输入患者体内。

已有报道显示，一些用于医疗/治疗目的的新基因组技术超出临床前研究，已经用于临床试验，这些临床试验多处于 I 期或 I/II 期，表明它们还没有达到商业化或预商业化阶段。本报告共确定了 63 例基于新基因组技术的临床试验，包括 5 例诊断测试、2 例长期随访研究和 5 例取消的试验，还包括来自 61 篇文献的数据。在患者体内和体外的应用，包括大部分临床试验，多处于后期研发阶段，而体外应用被归类为前期研发阶段。因此，所确定的 119 种应用大多与表 7 中所示的疾病有关。可以看出，癌症是新基因组技术治疗应用的主要目标，现阶段共有 48 种应用，另外 8 种是与病毒感染引起的癌症相关的应用。

表 7 新基因组技术在人类健康领域应用的条件

| 疾病类型      | 细分疾病  | 文献数量      | 临床试验数量    |          |          |          |
|-----------|---|-----------|-----------|----------|----------|----------|
|           |   |           | 总计        | 取消的试验    | 长期随访试验   | 有诊断信息的试验 |
| 癌症        | 白血病、淋巴瘤、胃肠道癌、肺癌、膀胱癌、前列腺癌、胰腺癌、骨髓瘤、黑色素瘤、神经胶质瘤、卵巢癌、肾癌、神经纤维瘤病 | 20        | 30        | 5        | -        | 2        |
| 病毒性疾病     | 艾滋病、新型冠状病毒疾病、诺如病  | 13        | 11        | -        | -        | 1        |
| 神经退行性疾病   | 亨廷顿氏症、阿尔茨海默氏症、帕金森症  | 6         | -         | -        | -        | -        |
| 遗传性血液疾病   | $\beta$ -地中海贫血、镰状细胞病、B 型血友病                               | 6         | 10        | -        | 2        | -        |
| 遗传性眼部疾病   | 10 型利伯先天性黑内障  | 4         | 1         | -        | -        | -        |
| 病毒相关癌症    | 人类乳头瘤病毒诱导的癌症, EB 病毒阳性癌症、HIV-1 感染伴急性淋巴细胞白血病                | 3         | 5         | -        | -        | -        |
| 心血管和代谢疾病  | PRKAG2 心脏综合征、肥厚性心肌病、肥胖、糖尿病                                | 4         | -         | -        | -        | -        |
| 肺部感染      | 肺结核、严重脓毒症   | -         | 2         | -        | -        | 2        |
| 其他遗传性疾病   | I 型和 II 型粘多糖症、I 型歌舞伎综合征、Rubinstein - Taybi 综合征、耳聋         | 5         | 4         | -        | -        | -        |
| <b>总计</b> |   | <b>61</b> | <b>63</b> | <b>5</b> | <b>2</b> | <b>5</b> |

表 8 汇总了 5 例 CRISPR/Cas 作为诊断工具的临床试验。中国有 3 项，主要针对传染性疾病，其中 1 项针对新冠肺炎的诊断。美国进行的两项试验主要用于癌症诊断。

表 8 基于新基因组技术的用于诊断的临床试验

| 新基因技术        | 注册编号             | 状态                                   | 研究标题   | 疾病类型      | 细分疾病                              | 地点   | 国家 | 赞助商及合作单位                        |
|--------------|------------------|--------------------------------------|--|-----------|-----------------------------------|--|----|---------------------------------|
| CRISPR/Cas9  | ChiCTR2000029810 | 未获批<br>招募中                           | 基于 CRISPR-Cas 蛋白的新型新型冠状病毒肺炎 (COVID-19) 高灵敏度核酸检测的临床研究 | 病毒性<br>疾病 | 新型<br>冠状<br>病毒<br>肺炎              | 未知   | 中国 | 国家重点研发计划、广东省高水平医院建设基金、深圳市三明医学工程 |
| CRISPR/Cas12 | NCT04178382      | 招募中                                  | PCR-CRISPR/Cas12a 对露天肺炎患者早期抗感染方案的影响                  | 肺部<br>感染  | 严重<br>脓毒<br>症                     | 南京大<br>学医<br>学院<br>附<br>属<br>鼓<br>楼<br>医<br>院                              | 中国 | 中国医学协会                          |
| CRISPR/Cas9  | NCT04074369      | 招募中                                  | 基于 CRISPR 的检测对肺结核疑似患者结核的快速鉴定的评价                      | 肺部<br>感染  | 肺结<br>核                           | 上海<br>华<br>山<br>医<br>院   | 中国 | 华山医院、温州市中心医院、杭州市红十字会医院          |
| CRISPR/Cas9  | NCT03332030      | 暂<br>停<br>(<br>停<br>止<br>拨<br>款<br>) | 中枢神经系统肿瘤 I 型神经纤维瘤患者的干细胞                              | 癌<br>症    | I 型<br>神<br>经<br>纤<br>维<br>瘤<br>病 | 华盛<br>顿<br>国<br>家<br>儿<br>童<br>医<br>疗<br>中<br>心                            | 美国 | Roger Packer                    |
| CRISPR/Cas9  | NCT03606486      | 招募中                                  | 子宫腔灌洗术诊断卵巢癌  | 癌<br>症    | 卵<br>巢<br>癌                       | 西<br>雅<br>图<br>Fred<br>Hutch/<br>华<br>盛<br>顿<br>大<br>学<br>癌<br>症<br>协<br>会 | 美国 | 华盛顿大学国家癌症研究所、明尼苏达州卵巢癌联盟         |

### 3. 结论

本报告收集的大量数据，反映了当前和潜在的新基因组技术的商业用途。目前看来，在世界范围内销售的产品很少（1种植物产品、1种释放到环境中的微生物和几种用于商业化生产分子的微生物），但大约有 30 种已确定在植物、动物和微生物中的预商业化阶段应用，且这些应用可能在短期内（5 年内）进入市场。如果本报告中确定的后期研发阶段的应用在十年内商业化，到 2030 年将有超过 100 种植物和几十种动物以及医疗应用产品进入市场。

热门应用领域之一是用于工业生产的微生物。在生物经济中，与生产工业生物基分子（例如生物燃料）的微生物相比，新基因组技术的使用很可能会更有前景。微生物生产的药品和化妆品是本报告的数据空白领域，但也是新基因组技术在可能已进入市场的产品中非常重要的应用领域。

在医疗领域,基于 **CRISPR** 技术和其他新基因组技术有很好的应用前景。有些应用已经进入 I 期和 I/II 期临床试验。此外, **CRISPR/Cas** 已应用于新冠疫情的快速检测中。

报告统计发现,美国和中国的新基因组技术应用最多,特别是在商业化和预商业化阶段。欧盟(尤其是德国和法国)也在积极利用新基因组技术。由于新基因组技术(特别是 **CRISPR**)的灵活性和可负担性,一些发展中国家主要研发其在农业领域的应用。

刘晓 张学博 编译自

European commission's Joint Research Centre