

季凯文,钟静婧.我国生物农业发展的现实基础与路径选择[J].江苏农业科学,2017,45(14):1-4.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.14.001

我国生物农业发展的现实基础与路径选择

季凯文¹,钟静婧²

(1. 江西省发展改革研究院,江西南昌 330036; 2. 江西师范大学国际教育学院,江西南昌 330022)

摘要:经过多年发展,我国生物农业发展总体呈现出积极推进、多元发展的良好态势,但与世界先进水平相比,农业生物技术研发及产业化水平还比较低,不同类型的生物农业发展层次、竞争实力和推广应用效果不一。因此,在当前全社会高度关注生物农业发展的背景下,应立足现代农业发展需求,发挥农业特色和比较优势,针对处于不同类型和发展水平的生物农业,在培育优良品种、强化产学研结合、推进产品多样化、拓展市场需求、深化资源整合等方面探索符合实际、各具特色的发展路径。

关键词:生物农业;农业生物技术;现实基础;路径选择

中图分类号: F323.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)14-0001-03

近年来,农业生物技术的科技成果转化和产业化进程不断加快,生物农业日益成为现代农业发展的必然选择和国际农业竞争的战略重点。我国政府也高度重视发展农业生物技术和生物农业。2010 年 10 月,国务院印发《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》,生物产业被确定为国家七大战略性新兴产业之一,并把生物农业列为生物产业发展的重点领域。2011 年 11 月,国家科技部制定的《“十二五”生物技术的发展规划》明确提出,要大力开展生物安全、有害生物控制以及农产品安全等农业优质、高产、高效、抗病研究。2012 年 12 月,国务院印发的《生物产业发展规划》进一步指出,要大力实施生物育种和农用生物制品创新发展行动计划,不断增强生物农业竞争力。由此可见,当前生物农业发展迎来了千载难逢的历史机遇和政策机遇。大力发展生物农业,不仅可以大幅减少传统农药、化肥对耕地资源和生态环境的污染,维护和保障粮食安全,加快推动传统农业向现代农业的转变,而且可以在经济发展“新常态”下为推动我国经济持续健康发展提供强劲的动力支撑。

1 生物农业的概念界定及其与传统农业的区别

1.1 生物农业的界定

生物农业作为农业生物技术产业化的结果,是现代生物技术与传统农业的深度融合,国内外学者对生物农业的概念还未形成一个统一的认识。生物农业这一名词最早由瑞典学者 Mueller 于 1940 年提出,他认为生物农业是一个采用生物学的方法维持土壤肥力、抑制病虫害,进而促进农业生产和生态环境平衡的系统。中国环境科学出版社 1991 年出版的《环境科学大辞典》中指出,生物农业即通过采取生物学的手段和方式对传统农业进行改造,提升和拓展农业系统功能,并维

持系统最佳生产力和保持良好环境。随后,国内一些学者从农业生物技术产业化的角度对生物农业的概念进行了界定,认为生物农业是随着农业生物技术的加快突破并不断应用到农业领域中,由农业生物技术与传统农业相融合而形成的一种新兴产业^[1-4]。目前,关于生物农业较为权威的定义由中国农业科学院万建民院士于 2010 年提出,他认为生物农业是按照生物学规律,综合运用现代生物技术手段,培育品质更优、产量更高的农业新品种,以生产高效、生态、安全的农产品,并维持系统最佳生产力的现代农业发展模式^[5]。结合上述观点,本文将生物农业定义为以生命科学和遗传学理论为基础,以农业应用为目的,运用基因工程、细胞工程、发酵工程、酶工程等现代生物工程技术,围绕改良动植物及微生物品种生产性状、培育动植物及微生物新品种形成的同类生产经营活动的集合。

1.2 生物农业与传统农业的区别

从生物农业的本质特征看,与传统农业主要存在以下区别:(1)生物农业符合现代农业发展的重要方向。作为农业新一轮科技革命的核心内容,农业生物技术在农业现代化进程中发挥着越来越重要的作用,生物农业已成为现代农业发展的重要方向。(2)生物农业是传统农业和现代生物技术的融合体。从生物农业发展进程来看,以基因工程、细胞工程、发酵工程和酶工程等为主体的现代生物技术的飞速发展和深度应用,推动了生物技术产业化进程的加快。(3)生物农业集生产、生活和生态功能于一体。生物农业既可为社会提供所需要的产品和服务,又有助于减少农业面源污染,还具备提高人类健康水平、使人们回归大自然、关注生物多样性等功能。(4)生物农业的内涵和外延呈现不断拓展的趋势。按照功能层次的不同,生物农业可划分为生物育种、生物兽药及疫苗、生物农药、生物肥料和生物饲料五大类别。随着现代生物技术的加速突破,生物农业的延伸范围将得到进一步拓展^[6]。

2 我国生物农业发展现状及存在的问题

2.1 生物育种产业化成效显著,但跨国种业的渗透威胁增大
在植物育种方面,在水稻、玉米、大豆、小麦、油菜、棉花等

收稿日期:2016-03-11

基金项目:中国博士后科学基金第 59 批面上资助项目(编号:2016M592102);江西省博士后科研项目择优资助项目(编号:2016KY53)。

作者简介:季凯文(1984—),男,江西临川人,博士,副研究员,研究方向为区域经济。E-mail:jikaiwen668@163.com。

领域,我国已经培育出 400 多个品质优良并具备抗病虫、抗除草剂等特征的转基因新品种,自主研发的 *Bt* 棉及 *Bt* + *CpTI* 棉、转基因番茄、转基因甜椒、抗病毒木瓜、超级杂交水稻已在国内大面积应用推广^[7]。国际农业生物技术应用服务组织发布的报告显示,2013 年我国转基因作物种植面积约为 420 万 hm^2 ,以转基因抗虫棉为主,种植面积位居世界第 6 位,排在美国、巴西、阿根廷、印度、加拿大之后。在动物育种方面,全球首例转基因鱼在我国诞生,家畜育种中大量分子标记得到验证,以转基因奶牛为代表的全基因组选择技术研发取得重要进展,中国对虾黄海一号、中国美利奴羊、中国荷斯坦牛等一大批动物育种重大成果相继诞生。但是,我国正式批准商业化生产的作物只有转基因棉花、番茄、甜椒和木瓜,且大多数转基因育种技术掌握在高校和科研院所手中,真正实现商业化应用的只有转基因抗虫棉,此外生物育种企业的规模和竞争力偏弱^[8-9]。根据国际侵蚀、技术和集聚行动小组 (Action Hroup on Erosion, Technology and Concentration, 简称 ETC Group) 的数据,1996 年世界前十大种子公司的销售额占商品种子销售总额的 37%,到 2011 年提高到 52.9%,其中孟山都、杜邦 - 先锋、先正达 3 家种子公司的市场份额达 40.2%,而中国尚未有种业公司的市场份额超过 10%,整体上企业规模小、研发能力低、市场集中度低。以 2011 年为例,我国前 10 家种子公司的销售额为 90.6 亿元,仅相当于全球前十大种子公司的 5.9%,相当于美国孟山都公司的 16.3%。

2.2 生物肥料形成较大生产规模,但推广应用难度依然较大

作为世界上较早开发利用生物肥料的国家之一,经过多年的发展,我国生物肥料产业已形成较大规模,并开发出根瘤菌以及解磷、溶磷、解钾、促生磷细菌等一批生物肥料产品。例如,我国率先研制了高效固氮耐氮工程菌,并实现了产业化;通过微生物功能基因组研发,建立了世界覆盖率最高的植物病原细菌突变体库。从 1995 年到 2010 年,我国微生物肥料生产企业数量年均增长率达 13.2%,微生物肥料产量年均增长率则达 31.5%。截至 2013 年年底,我国从事新型肥料生产的企业数达 2 000 家以上,占全国各类肥料生产企业总数的比重达 25%,企业总产值约为 164 亿元,资产规模约为 500 亿元。但是,由于生物肥料的反应时间和反应效率低于传统化学肥料,加上生物肥料的宣传推广不到位以及农民对生物肥料的接纳度也不高,因此在当前农业追求单位面积产量的目标导向下,生物肥料在全国肥料市场中所占的比例仍然偏低,传统肥料的使用占据主导地位^[10]。目前,在我国农业生产中,传统化肥使用量占比达 90% 以上,而生物肥料的使用量占比不到 10%,在实际使用过程中,农民往往还会选择在生物肥料中添加一些养分,以提升生物肥料的速效性、扩大肥效的可见度。

2.3 兽用生物制品市场潜力较大,但总体处于产业化初期

目前,我国已开发出猪伪狂犬病活疫苗、猪口蹄疫基因工程疫苗、幼畜腹泻疫苗、禽流感系列疫苗、双价大肠杆菌疫苗等一批兽用生物制品,并实现了不同程度的产业化发展。据中国动物保健品协会统计,2013 年通过兽药生产质量管理规范 (good manufacture practice, 简称 GMP) 认证的兽用生物制品生产企业已达到 72 家,兽用生物制品产业年产值达到

104.6 亿元,市场销售额达到 99.3 亿元,其中猪用生物制品的销售额为 48.2 亿元,占兽用生物制品销售总额的 48.5%,禽用生物制品的销售额为 35.7 亿元,占兽用生物制品销售总额的 36.0%。另外,根据中国兽药协会的统计数据,2013 年我国抗菌肽生物兽药产量已达到 3 120 t,较 2009 年增长 200%,年均增长达 18.9%。但是,从技术研发领域来看,我国兽用生物制品多为仿制产品或工艺改进型产品,而基因重组技术、基因工程技术、中药提取分离技术等新技术应用较少,在悬浮培养、抗原浓缩等一些关键技术领域尚未取得实质性突破^[11]。从产品剂型来看,在我国兽用生物制品中,产量最高为分散剂、预混剂等传统剂型,而靶向制剂、透皮吸收剂等一些高科技剂型则十分缺乏,主要是由于我国兽用生物制品企业的生产规模普遍偏小,生产分散剂、预混剂所需的技术标准较低,对于技术标准较高、设备投入较大的剂型,尚有待进一步的开发。2013 年,在 72 家生物制品企业中,中小型企业为 54 家,所占比重为 75%,且单个兽药产品批准文号超过 800 个的就有 16 个品种,说明很多企业都在生产同质的低端产品。

2.4 生物农药创制实现重要突破,但取代化学农药任重道远

经过 60 多年的发展,我国生物农药产品的生产已经形成了一定规模,如年产值超过亿元的品种已经有 4 个 (分别为井冈霉素、赤霉素、阿维菌素和 *Bt* 杀虫剂),特别是在井冈霉素、阿维菌素和赤霉素方面,我国已成为世界上最大的生产国。近些年来,我国在菌种引进、资源筛选、新品种开发等方面也取得了较大进展,每年生产的生物农药制剂约为 1.2 亿 ~ 1.3 亿 kg,占市场上各类农药产量的比重约为 12%。截至 2012 年年底,我国使用的生物农药按照登记类别共有 90 种,登记产品 3 095 个,其中常见的共有 86 种,每年新研制和登记注册的生物农药品种仍在不断增加。从品种分类来看,2012 年我国微生物农药有 27 种,生物化学农药有 21 种,植物源性农药有 19 种,抗生素农药有 21 种。但是,由于国家重视程度和各项扶持力度不够,加上生物农药产品在活性或毒性方面也有一定的缺陷,生物农药的市场接纳度明显不如传统农药,存在“叫好不叫座”的困境。截至 2012 年年底,我国生物农药企业年产值仅为 10 亿 ~ 20 亿元,平均每个等级品种的年产值仅为 200 多万元,大部分生产企业生产生物农药的同时,也生产化学农药,生物农药取代化学农药依然任重而道远。在 *Bt* 杀虫剂、植物生长调节剂、植物源农药、农用抗生素、真菌类农药、病毒类农药等品种中,井冈霉素和 *Bt* 杀虫剂 2 大品种占据主导,但是无论是在品种、数量还是剂型、质量方面,与发达国家相比仍存在较大差距,且无法满足国内市场的需求。

2.5 生物饲料呈现快速发展态势,但与国外相比差距较大

20 世纪 90 年代末,我国开展了饲用氨基酸和维生素的研发并在产业化方面取得了重大进展,如今已拥有北京大北农集团、浙江新昌制药、长春大成实业集团等一批国际化的氨基酸、维生素生产企业。目前,我国饲料添加剂特别是酶添加剂的研发水平已经跻身国际前列,饲料用植酸酶生产技术也处于国际领先水平,并得到了大规模产业化应用;开发出木聚糖酶、 β -甘露聚糖酶、 β -葡聚糖酶等一批饲用酶制剂,为饲料用生物制品的推广应用和产业化发展提供了重要支撑。截

至 2012 年年底,我国生物饲料添加剂总产量达 76.8 亿 kg,总产值突破 500 亿元并以年均 20% 的速度递增,生产生物酶制剂、益生菌、植物提取物类饲料添加剂企业已经超过 1 000 家。但是,由于生物饲料产业投入有限、源头创新能力不足,导致生物饲料研发的关键共性技术缺乏,许多关键生物饲料的生产严重依赖国外先进技术,缺乏自主知识产权。有些生物饲料的生产技术虽然达到国际领先水平,但其产业化水平与发达国家相比还存在一定的差距,这在一定程度上直接导致生物饲料产品品种少,产品结构不合理。2012 年,我国酶制剂、微生物制剂产量分别仅为 0.80 亿、1.02 亿 kg,而同期氨基酸、维生素的产量分别达到 13.34 亿、7.93 亿 kg。

3 我国生物农业发展的路径选择与推进策略

3.1 生物育种:以保护培育优良品种为核心

强化现有优良品种保护并继续培育,通过搜集整理优质种质资源、建立种质资源数据库、引进国内外优良品种、改良和更新核心种质资源、对名特优品种进行保种等手段,丰富优质种质资源品种和内容,促进种质资源高效开发利用。集中资源开发具备高产、优质、安全、多抗特征的动植物新品种,发展壮大粮食、果蔬、畜禽、水产、林木等生物育种产业群,大力推进动植物新品种选育、扩繁和产业化。加快建立农作物种质资源管理和技术系统,积极开展优质种质资源的引进、分类、鉴定、保存、更新等环节的技术、标准的制定,进一步强化种质资源培育和开发利用研究。着眼于保护和培育优良品种,根据畜禽良种选育需求,从国外引入优质的肉猪、奶牛、肉鸭、蛋鸡等活体动物以及冻精、胚胎等育种过程中使用的材料,着力提升畜禽良种选育水平。

3.2 生物兽药及疫苗:强化技术创新及产业化发展

针对特定动物、某种阶段、某些疾病,大力开发生物兽药及疫苗专用制剂,使其向高效、专一的方向发展。强化益生菌和益生元在生物兽药领域的联合应用,使生物兽药在畜禽肠道内产生针对流行性疫病的免疫保护蛋白^[12]。注重利用拟杆菌、优杆菌、双歧杆菌、消化球菌等优势菌群,大力开发能够促进动物成长的新型生物兽药,避免畜禽受到某种传染病病原的侵袭。运用基因工程技术对一些优良菌种进行遗传改造,植入抗体、抗原等有用基因,开发容易培养、保存时间长、繁殖速度快的工程菌制剂,使其作用更加突出、效能更加显著。大力开发亚单位疫苗、基因缺失疫苗、DNA 疫苗和重组活载体疫苗等第二代动物疫苗,加大细胞疫苗、蛋白质/多肽疫苗、核酸疫苗等第三代动物疫苗的研发力度,进一步强化动物疫病新型疫苗和诊断试剂的研制。

3.3 生物农药:推进产品多元化和规模化发展

立足国家生物产业的整体布局及长期发展的战略需求,优化生物农药制剂加工产品,将多抗霉素、春雷霉素、白僵菌、多杀霉素、赤霉素等适应当前市场需求和发展方向的生物农药产品逐步纳入到企业技术研发以及生产计划中,推动形成杀虫剂、杀菌剂和植物生长调节剂组合的“产品网”。以促进农业高效、生态、可持续发展为目标,加强企业创新能力和产业竞争力的培育,借助基因工程技术对天然菌株进行改造或者对高效工程菌株进行重组,开发防治效果更加稳定的植物源和微生物农药,促进产品由短效向缓释高效、由不稳定向稳

定、由单一剂型向多种剂型发展。积极开展生物农药的药理、病理、代谢研究,积极挖掘新的生物农药资源,拓展和丰富针对同一靶标的生物农药品种,有效遏制使用过程中植物易形成的抗药性。例如,可以从植物、海洋微生物或极端环境微生物中筛选并获得新型高效生物农药。

3.4 生物肥料:以产品提升拓展市场需求

围绕提升生物肥料高品质、低成本、无污染特性,进一步强化生物技术制造,提升动、植物组织和细胞等生物体和活体肥料有效利用率,大力开发生物有机肥、微生物接种剂、乳酸菌有机肥、复合微生物肥料、光合细菌肥料等生物肥料。规范政府政策管理,完善生物肥料企业发展的相关政策,通过行业标准、市场准入规范等政策措施,优化现有生物肥料产品的生产工艺,提升生物肥料产品质量。采取兼并重组等方式,淘汰规模较小、工艺落后的生物肥料企业,形成一批龙头示范企业,促进生物肥料产业做大做强。加强生物肥料在水稻、玉米、大豆等作物上的示范应用,生物有机肥在番茄、瓜果等作物上的示范应用以及复合微生物肥料在蔬菜等作物上的示范推广。在巩固国内市场地位的基础上,积极拓展国际市场,扩大生物肥料产品出口地区和规模,进一步发展生物肥料重要供应地。

3.5 生物饲料:以资源整合突破关键核心技术

围绕保障畜禽水产品安全和改善畜禽水产品品质,整合科研创新资源,大力开发饲料用寡聚糖、植物提取添加剂、饲用氨基酸添加剂等新型饲料添加剂,开发植酸酶、木聚糖酶、纤维素酶、复合酶等新型饲料酶制剂,利用微生物工程发酵技术开发高活性生物发酵饲料和酵母源生物饲料。根据国家的重大需求,积极开展国际合作,充分利用我国丰富的微生物资源、微生物学领域的研究力量和我国在生物技术领域多年积淀的技术成果,加快发展基因工程、蛋白质重组技术、微生物发酵与后处理工艺、生物提取技术、生物饲料评价等,对饲用酶基因资源的高通量筛选技术、酶蛋白的分子改良技术、饲用酶的高效表达技术、新型发酵技术和产品加工技术、饲用酶的应用效果快速评估技术和配套应用技术、DNA 重组技术等重大关键技术率先实现研发技术突破^[13-14]。

参考文献:

- [1] 刘超. 论农业生物技术产业发展的特征和重要意义[J]. 四川农业科技, 2004(2): 6-7.
- [2] 李振唐, 雷海章. 农业生物技术产业化及其实现途径[J]. 广西社会科学, 2005(4): 54-56.
- [3] 吴楠, 李晓莉, 冯中朝. 显示性评价法对农业生物产业竞争力的分析[J]. 河北农业大学学报(农林教育版), 2006, 8(2): 45-48.
- [4] 陈岩, 谢晶. 发展农业生物产业的战略选择探讨——以黑龙江省为例[J]. 学术交流, 2011(6): 103-106.
- [5] 万建民. 促进生物农业快速健康发展[N]. 经济日报, 2010-08-05(10).
- [6] 季凯文. 中国生物农业三阶段效率测度及其提升路径研究[D]. 南昌: 江西财经大学, 2015.
- [7] 赵阳华, 尹晶. 我国生物农业发展情况回顾和发展思路探讨[J]. 中国科技投资, 2011(5): 42-44.
- [8] 薛爱红, 孙国庆, 王友华. 农业生物技术促进我国生物农业发展

靳开川,何金环. 油菜素内酯在植物抗逆中的作用及信号传导机制综述[J]. 江苏农业科学,2017,45(14):4-7.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.14.002

油菜素内酯在植物抗逆中的作用及信号传导机制综述

靳开川¹, 何金环²

(1. 河南大学, 河南开封 475004; 2. 河南牧业经济学院, 河南郑州 450008)

摘要:油菜素内酯(brassinosteroid, BR)在植物生长发育过程中起着非常重要的调节作用。近几年,研究人员结合遗传学、基因与蛋白质组学、细胞生物学等多学科方法和手段,使油菜素内酯的研究取得了显著进展。介绍油菜素内酯在植物的抗逆性(干旱、高盐、高温、低温、重金属)过程中的作用及信号转导机制等,以期植物分子育种提供借鉴。

关键词:植物;油菜素内酯;抗逆;信号转导;机制;调节作用

中图分类号: Q945.78 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)14-0004-04

油菜素内酯(brassinosteroid, BR)是一种类固醇类植物激素,与其他植物激素协同作用参与植物的生长发育过程,如细胞的伸长与分裂、叶片衰老、微管分化、开花、光形态建成等生长发育过程,而且在植物抗逆方面也具有重要的作用。目前,在许多物种(如拟南芥、水稻、番茄、大麦、玉米等)中,都鉴定到了 BR 相关的突变体,并克隆得到相关的基因,通过研究,不仅了解了植物中 BR 的合成、修饰与信号转导的分子途径,而且还发现其在植物抗逆方面也具有重要的作用^[1]。本文综述了植物中 BR 在植物抗逆中的作用(干旱、低温、高温等)及信号转导的分子机制,为农作物育种研究提供理论依据。

1 BR 在植物抗逆中的作用

1.1 干旱胁迫

干旱可降低植物中的水含量与叶片的水势,导致气孔关闭,影响植物生长,甚至可导致植物死亡。但是在菜用大豆中预先施加 24-表油菜素内酯(24-epibrassinolide, EBL)或 28-高油菜素内酯(28-homobrassinolide, HBL)能够提高根的生长能力、玉米素的含量、固氮酶的活性,并能够减缓干旱诱导的相关参数的降低^[2]。把生长在含有 1 $\mu\text{mol/L}$ EBL 培养基上的拟南芥或油菜的幼苗转移到沙子上,然后进行干旱处理 96 h(拟南芥)或 60 h(油菜),结果表明,EBL 处理能够

增强 2 种幼苗在干旱条件下的成活率,EBL 能够诱导干旱响应相关基因表达的上调,进一步说明 EBL 在植物抗旱过程中起重要作用^[3]。在干旱条件下,EBL 还能够诱导植物中抗氧化物质含量的升高,从而促进植物生长^[4]。在干旱条件下,BR 能够提高大豆光合效率、细胞水势、可溶性糖与脯氨酸的含量、过氧化物酶(POD)与超氧化物歧化酶(SOD)的活性,BR 还能够降低丙二醛的含量、叶片的电渗透率,促进植物生长^[5]。在芥菜的研究中还表明,HBL 和干旱胁迫都能够提高过氧化氢酶(CAT)、POD、SOD 的活性以及脯氨酸的含量;在干旱条件下,BR 能够促进芥菜的生长^[6]。但是,BR 提高植物抗旱能力的分子作用机制还需要进一步研究。

1.2 高盐胁迫

高盐胁迫影响植物的生长与发育,是一个主要的环境胁迫因子,可导致渗透胁迫、离子毒害,甚至影响植物对营养元素的吸收与转运过程^[7]。在高盐胁迫下,脯氨酸作为渗透调节物质或一个信号分子影响植物对逆境胁迫的反应过程,其积累依赖于 1-吡咯啉-5-羧酸合成酶(P5CS)和脯氨酸脱氢酶(PDH)的活性,前者是脯氨酸合成过程中的一个限速酶,后者催化脯氨酸的降解^[8]。研究表明,在盐胁迫下,EBL 能够促进水稻(cv. IR-28)幼苗的生长,缓解质膜受到的损伤,降低脯氨酸的积累,提高抗坏血酸过氧化物酶(ascorbate peroxidase, APX)的活性^[9]。在鹰嘴豆与绿豆中的研究表明,BRs 能够促进脯氨酸的积累,提高抗氧化酶的活性^[10]。EBL 能够缓解高盐胁迫对茄子生长与小麦产量的抑制^[11-12]。

1.3 高温胁迫

高温能够对葡萄的叶肉细胞造成伤害,增加质膜透

收稿日期:2016-03-24

基金项目:河南省科技重大专项(编号:141100110800)。

作者简介:靳开川(1977—),男,硕士,讲师,研究方向为分子生物学。

E-mail: epsalon@163.com。

通信作者:何金环,硕士,副教授,研究方向为生物化学。E-mail:

zzmzhejinhuan@163.com。

[J]. 中国科技投资,2012(7):23-25.

[9] 王宇,沈文星. 我国作物转基因技术创新与产业化推广[J]. 南京林业大学学报(人文社会科学版),2014(2):107-112.

[10] 季凯文. 国外生物农业发展动态及其对我国的启示[J]. 江西科学,2016,34(2):257-261.

[11] 季凯文,孔凡斌. 中国生物农业上市公司技术效率测度及提升路径——基于三阶段 DEA 模型的分析[J]. 中国农村经济,

2014(8):42-57.

[12] 桑乃泉. 现代农业生物技术创新管理与中国农业竞争力[J]. 农业经济问题,2001(9):9-14.

[13] 马春艳,冯中朝. 我国农业生物产业技术创新政策机制研究[J]. 经济纵横,2007(2):28-30.

[14] 张彩萍,黄季焜. 现代农业生物技术研发的政策取向[J]. 农业技术经济,2002(3):23-28.