

* 科技与社会 *

未来的农业科学与产业化趋势*

蒋建平 王东阳

(中国农业科学院 北京 100081)

提要 本文分析了农业科学的发展趋势,对 21 世纪的农业和农业科学系统格局作了新的构思。建议我国把握时机,在战略部署和配套对策上采取得力措施。

一、农业科学的交融、更新、拓展与创新

以研究和掌握有生命的植物、动物和微生物生长发育规律为主体的农业科学(广义农学),通过与现代生物学尤其是生物技术的交融,在人工塑造新物种、构建栽培与养殖环境、开辟食品和资源利用新领域等方面,将取得重大突破,并形成一批新的生物技术产业群,从而带来一场新的农业革命。生物技术的新发展表明,农业通过运用生命科学的新成就,定向设计构建具有特定性状的新物种,打破生物的种、属、科、目、纲乃至动植物与微生物之间不可交配的界限,已经不是人类的一种空想,按照人们意愿塑造更多的新物种和新品种将成为现实。也就是说,实现生物之间的“大跨度交融”,必将引起新的产业革命,产生新的领域,导致人类生活方式和社会结构向更高更合理的层次方向发展。

农业是现代生物技术应用最广阔、最活跃、最富有挑战性的领域。农业科学通过与生物科学的交融、更新和拓展,从理论、方法、技术手段上加速更新我国传统的农业科学及基础学科(如遗传学、育种学、土壤肥科学、作物栽培学、畜禽饲养等),发展已经形成的交叉学科(如农业生物学、农业生理学、农业气象学、农业工程学等),促进我国农业新的分支边缘学科体系的构建(如农业生物工程学、农业能源学、农业信息学、核农学、太空农学等),从而在学科分化和综合的基础上,从整体水平、学科结构、应用领域方面把我国农业科学推向一个新的发展阶段。

生命科学的发展与创新,将促进农业由传统的资源依附型向现代智能依附型的发达产业转变,加速陆地农业和农业科学的发展,并在 21 世纪加速向海洋领域拓展,出现大规模的海洋农(牧)场,实现“海洋农牧化”,并相应发展海洋农业科学,使“绿色革命”与“蓝色革命”互相交融。同时,伴随着航天事业的发展,具有一定规模的太空农业和太空农业科学可望诞生。陆地、海洋、太空三大农业系统互相交融和促进,将构成 21 世纪农业和农业科学的系统格局。

发展生物技术产业,除合理开发和利用现有农业生物资源外,还可以利用生物技术开辟新的生物资源,更好地为人类服务。通过工厂化微生物工程的发展,将形成非绿色植物的、不污

* 中国工程院副院长卢良恕院士参加了讨论,并提出了宝贵意见。

染环境的新型农业及其产业,研究开发可更新纤维素、工农业废气、废液、废渣,建立单细胞蛋白工业及海藻生物技术产业等。生命科学、农业科学与众多的现代科学交融,必将在深度与广度上拓展农业科学、更新农业科学、创新农业科学,使农业科学出现崭新的面貌——新的学科基础、新的内涵、新的知识体系、新的管理形式和新的产业化目标。

二、21 世纪农业科学技术的若干新领域新产业

(一)新物种的塑造

1、采用生物技术和常规育种方法,综合不同生物的优良性状,按人类意志定向塑造新的物种和类型。例如,通过花培,育成蛋白质含量提高 10%、赖氨酸含量提高 5-7% 的水稻新品系;利用反义 RNA 抑制番茄中多聚半乳糖醛酶表达,开发出存放期长、品味好的反义蕃茄;用分离出的猪生长激素基因注入猪的受精卵,获得“超级猪”;培育转基因羊,可从羊奶中提取人体 α 抗胰蛋白酶;培育转基因猪,生产大量人体血红蛋白;以及用转基因马铃薯生产人血清蛋白;利用转基因的油菜生产多肽药物等。通过塑造新物种、新类型,21 世纪初叶人类不仅能充分利用现有种质资源,还可极大地丰富生物品种,解决农业生产种质单一的问题,以满足人类日益增长的需求。

2、针对病虫害猖獗、化学制品用量大、成本提高、病虫抗药性增强、环境污染等突出问题,创造出抗病、抗虫、抗除草剂的新物种、新品系和新方法,发展“无公害农业”。现已成功地把苏芸金杆菌的基因转移到棉花、玉米、蕃茄和马铃薯植物内,创造出抗棉铃虫、抗玉米钻心虫等十几种作物新品种,减少杀虫剂农药用量达 60%。利用基因工程技术研制成功牛干扰素、幼畜腹泻疫苗、口蹄疫疫苗、狂犬病疫苗和禽痘病毒活载体疫苗等兽医药品和疫苗,用重组 DNA 技术从大肠杆菌获取的动物生长激素,也将实现商品化生产。今后基因工程农产品将重点发展抗病、抗虫、抗除草剂和抗逆的遗传工程作物,预计 1996 年抗性粮食作物和蔬菜将实用化;到 2025 年前后,世界上大多数转基因作物将大规模走向市场,并形成可观的种子市场。

3、在耕地减少、农产品总量需求日益增加情况下,充分利用固氮微生物与藻类,将是建立作物营养综合体系(IPNS)的一大领域。由于生物固氮研究有着重要意义,20 多年来一直是美、英、法、德、澳、日等国家的重点科研项目。目前,我国山东大学用植物生长激素处理由愈伤组织分化出来的小麦幼苗根部,培养出世界上第一个人工小麦根瘤,在接种适当的固氮微生物后,根瘤内产生接种的细菌并显示出固氮活性;在与澳大利亚合作研究基础上,出现在小麦、水稻、向日葵等非豆科作物所结根瘤中测出的固氮活性,已接近或达到大豆根瘤的固氮水平。这一领域的突破,将导致肥料施用技术的革命性变革,并产生重大的经济效益。

(二)快速繁育技术的应用

1、利用植物细胞的全能性,通过无性繁殖途径,发展人工种子制造产业。现在已有数百种植物能够通过组织培养获得再生植物,而利用胚状体,外加包衣,制成人工种子,已在胡萝卜、芹菜、莴苣、柑桔、咖啡、棉花、玉米、水稻等作物上获得成功。随着试管植物的发展,在工厂内大规模创造和繁育有生命的活体将成为现实,并走向产业化。目前,国外细胞和组织培养产物已形成一个重要产业,大量生产试管苗,发展试管苗产业,逐步扩大市场。在我国,橡胶树、苜蓿、胡萝卜、旱芹、小麦、番木瓜、黄连和杂交水稻的人工种子已进入开发阶段。2010 年左右,这一领域可望加快应用速度与扩大规模,实现人工种子的工厂化、自动化生产。

2、利用胚胎移植和胚胎分割技术,发展动物胚胎生产、贮存、运输与利用的新兴产业。目前,牛胚胎移植技术已进入商品化阶段,特别是奶牛冷冻胚胎的应用。用胚胎切割技术可使每头良种母牛一年繁殖 50—150 头小牛。用杂交新技术提高虾的繁殖率和生长率,1000 只雌虾在一个生长季节里约可获得 45.4 万公斤产量。据统计,1986 年至 1990 年 5 年间,我国有小鼠、兔、绵羊、山羊、奶牛、猪、水牛、仓鼠、松鼠、猴和人,约 10 种哺乳动物体外受精获得成功,其中 7 种动物(包括人)获得“试管后代”。80 年代,世界各国利用冷冻胚胎移植技术产下的犊牛约达 7—10 万头。今后,冷冻胚胎在世界范围内将扩大利用。与胚胎移植相配套的胚胎分割、胚胎冷冻、胚胎性别鉴定、卵母细胞体外培养和胚胎克隆等胚胎工程技术发展前景也十分诱人。到 2000 年左右,完全有可能加快胚胎产业化、商业化的步伐和规模。

3、利用人和动物的生长激素基因转移技术,加快畜禽和鱼类生长速度,生产优质产品。目前已知可利用基因工程方法生产的人和动物的激素至少有 48 种,尤为突出的是生长激素的开发。通过猪生长激素基因工程的研究,可培育生长期短、脂肪少的瘦肉型猪,使猪腰部肌肉生长快一倍,脂肪减少 70%,上市时间由 6 个月缩短为 3 个月,从而大大节约饲料。据报道,在不增加饲料的情况下,生长激素可提高牛产乳量 15—20%,奶羊产乳量 8—12%,猪日增重量增加 15%。在鲑鱼、鳗鱼生长激素的生产和应用方面,也有广阔前景。2000 年左右这方面研究可望扩大应用规模,并促进养殖业生产效益显著提高。

4、应用分子生物学等方法,发展畜禽性别鉴定技术,进行定向繁育和饲养,可以大大节省成本,提高产品率。例如提取牛胚胎滋养层细胞 10—20 个,然后用牛 Y 染色体特异性 DNA 探针,进行原位杂交处理,采用免疫细胞学技术检测,性别鉴定的准确率高达 95% 以上,在 30 小时以内,可检出大量胚胎。目前已有胚胎公司试生产胚胎性别鉴定试剂盒,不久将来,这项技术可望进入实用阶段。

(三)农业工厂的构建

1、在综合运用现代农业科学、计算机科学、材料科学等成就的基础上,21 世纪上叶农业工厂化生产将有长足的发展,实现人工创造环境、全过程自动化的栽培与养殖,建立技术高度密集的生产体系。当前,发达国家的农业工厂化形式已在水产、畜牧、园艺温室及多年生果树栽培等许多领域被普遍采用,并达到高效率、高产值、高质量。

2、通过人工制造基质与营养液,改进和扩大无土栽培技术的应用,并利用计算机进行自动调控与管理。如把温室工业化养鱼与蔬菜无土栽培结合起来,生产红鲤鱼、罗非鱼,栽植生菜,综合利用资源。研制遥感温室环境控制系统,将分散的温室群同计算机控制中心联结,实行自动化管理,形成大型植物工厂。今后随着智能化程度提高,温室蔬菜、花卉等作物的无土栽培将走向群体化、大型化。

3、在创造适宜饲养环境、保证饲料营养和防治疫苗的情况下,未来我国猪、鸡、奶牛、肉牛等将由分散、低效饲养走向集中高效的工厂化生产。目前,发达国家的肉牛、奶牛、猪、鸡等广泛采用现代工厂化饲养方式。如奶牛饲养的工厂化管理,通过青贮、送料、挤奶、牛奶收集、运输全过程的机械化,每生产 100 公斤牛奶,只要 3—5 个工时。未来规格化、“全进全出”型技术体系将得到更大的发展。

4、在水产品人工育苗和养殖方面,扩大工厂化生产规模。通过人工鱼礁、人工孵化、人工放流和人工繁殖等办法,探索把养殖工厂搬到船上和大型平台上,形成海上流动式养鱼工厂的

新途径,达到充分利用资源的目的。美国预计到 2000 年,人工鱼礁为游钓渔业服务的收益将达到 300 亿美元;日本北海道每年放流大麻哈鱼苗 5 亿尾,成本不到 5 亿日元,若以 2% 重捕率计算,产值可达 100 亿日元,收益为投入的 20 倍。

(四) 新人造食品与饲料的生产

1、针对蛋白质资源紧缺、需求量大的状况,充分利用微生物和藻类蛋白含量高(蛋白质含量占干物质的比重:细菌为 60-80%,酵母菌为 45-55%,霉菌为 30-50%,藻类为 55-60%),生产周期短、效率高的特点,开发单细胞蛋白资源,生产高蛋白饲料与食品。如以乙醇为原料,生产单细胞蛋白作为食品、饲料等。一座年产 10 万吨单细胞蛋白的微生物工厂,相当于 180 万亩耕地生产的大豆蛋白。这将成为 21 世纪的一大产业。

2、我国年产 5 亿多吨的作物秸秆,如将其中 20% 进行微生物发酵处理,可获得相当于 400 亿公斤饲料粮的饲料,接近目前饲料用量的一半。如利用能广泛分解纤维素、半纤维素、木质素和淀粉等有机物质的耐热放线菌生产单细胞蛋白,一座年产单细胞蛋白 10 万吨(蛋白质含量 100%)的工厂,其投资为 7500 万美元,生产成本为每吨 368 美元,经济上可行。据估算,从 20 万吨完全转化的秸秆中可得到 5 万吨乙醇和 2.2 万吨糠醛或 7 万吨左右的单细胞蛋白。未来 30% 的石油化工产品,可通过纤维素的生物转化获得。可见生物技术在为人类解决粮食、能源等问题中,有着举足轻重的作用。

3、开发十分丰富的植物叶片资源,生产出营养价值和可消化率高的叶蛋白,用作饲料和食品添加剂。叶蛋白可消化率一般达 80% 以上,富含赖氨酸、胡萝卜素。目前澳、美、法、新西兰正加强研究与开发,美国已制成苜蓿蛋白含量 90% 的产品应用于食品,并形成一定规模的产业。

4、在谷氨酸等生产的基础上,利用生物技术培育新菌种,加快氨基酸发酵的利用,大规模生产不同用途的氨基酸。目前发酵工程已成为生产某些化学品的不可替代的手段,如色氨酸的前体发酵、长链脂肪烃发酵等,将使人类大规模应用色氨酸和长链二元酸成为可能。生物法生产的赖氨酸,能够产生具有生物活性的异构体(L-氨基酸)。2000 年以后,由于木质纤维素原料的大量应用,发酵工程将大规模生产通用化学品以及生物能源,在某种程度上能够为人类物质生活提供所需要的原料。

(五) 新能源的开发

1、面对能源短缺与危机,积极开发“绿色能源”。除薪炭林外,重点利用多年生和一年生植物及藻类,生产酒精和石油代用品,如糖蜜发酵生产酒精;培育“能源甘蔗”,专用于发酵酒精;利用谷类生产乙醇等。日本还设想与东南亚国家合作,建立用木薯、薯蓣和其它农产品生产燃料酒精的工厂;正在建立的绿藻产业,其中一部分将用于生产石油。预计 21 世纪,利用生物技术发展新能源产业可望实现。

2、大量的作物秸秆可用来生产沼气、乙醇,部分代替石油。研究证明,利用基因操作技术改变微生物特性,把农作物秸秆分解为葡萄糖、木糖、苯酚、苯及燃料是可行的。如已开发的高压水蒸气预处理秸秆和木屑以及大幅度提高水解率的技术已进入工业化实用阶段。国内开发的水蒸气连续蒸煮技术已进入中试阶段。据测算,我国如果利用生物技术将农作物秸秆加工合成化工原料,每年可生产无水乙醇 7256 万吨、糠醛 4136 万吨、苯 1792 万吨、苯酚 2560 万吨、燃料油气 5000 万吨。通过农工全面结合(Agro-industrial Holos),建立资源回收加工产业

群体,实现生物资源无废弃利用,发展“无废物农业”。

(六)向空间领域拓展

1、开发我国辽阔的海洋,采用生物措施与工程措施相结合,改造海洋养殖环境。我国大陆海岸线 1.8 万多公里,沿岸 5000 多岛屿的海岸线 1.4 万多公里,渔场 279 万平方公里,沿岸 10 米水深以内浅海与滩涂共 1 亿亩以上,可进行人工养殖的滩涂 2000 万亩。目前我国海域利用率低,人工养殖的滩涂利用率仅为 30%,浅海仅 1% 不到,“海力”水平更低,每平方公里海域产量仅 3 吨,而日本已达到 12—18 吨。据测算,我国近海、外海和国际渔业资源还有 150 多万吨的增产潜力。通过生物技术、微电子技术和信息技术相结合,促进水产养殖、增殖向集约化、农牧化方向发展,像对待地力那样提高“海力”,营造“海洋农场”、“海洋牧场”、“海洋林场”,实现“蓝色革命”。

2、航天科学与农业科学结合,建立太空农业试验室(站),发展太空农业和太空农业科学,发展太空食品、太空衣着,逐步形成新产业。通过已进行的太空农业试验,植物、动物等生物体的许多特性奥秘被揭示,计算机模型和控制系统对商品植物生产的应用领域被拓宽;运用多种手段如模拟地球生态系统进行食物生产,积累向其他星球移民的经验。近些年来,我国水稻、番茄的种子以及藻类送入太空播种,出现了显著变异,如稻穗长、籽粒大、一茎三穗等,这有助于加速品种选育进程,丰富种质资源。目前,太空农业虽处于开始试验阶段,但从长远看,具有诱人的发展前景。

三、结 语

(一)从世界范围看,继人工耕种、整套机械代替马拉农具、现代先进技术代替传统技术之后,21 世纪农业将出现第三次革命。其特点和内涵是:在深入揭示生物生命奥秘的基础上,通过农业科学与生命科学等更多学科的交融,从深度与广度上大大推进农业科学的更新与拓展,并以技术创新为先导,促进新产业的形成与发展。在这一革命性变革中,生物技术将起着突出的重大作用,并在未来 30—40 年中走向成熟与大规模应用。

(二)未来农业生物技术产品市场广阔,竞争激烈。据日本预测,2000 年世界生物技术产品市场达 3925 亿美元,其中农业占 55.2%。为了迅速占领 21 世纪生物高新技术的制高点,欧、美、日等发达国家不断增加投资力度。美国 1994 年生物技术计划的预算达 43 亿美元。韩国将耗费近 200 亿美元,在 1994 年 1 月开始实施“生物技术 2000 计划”。日本通产省 1986 年 12 月公布的“人类新领域研究计划”为期 15—20 年,投资规模超过 1 万亿日元,拟从本质上研究揭示出生物体的各种机能。1994 年 3 月,美国宾夕法尼亚大学医疗中心的研究人员首次制成生命分子,设计合成了与自然界中从阳光汲取能量或从环境汲取营养物的复杂构造相似的蛋白质,为有关呼吸和光合作用等重要过程的研究开辟了新的途径。

(三)新世纪的科学技术发展,不仅在解决人类生存与发展诸多问题中起关键作用,而且决定着一个国家、一个民族的全面振兴。中国作为世界上人口最多的发展中国家和世界文化摇篮之一的文明古国,要摆脱近代以来的落后状态,迎头赶上并超过发达国家,必须不失时机地、有远见地把握未来科学技术的发展趋势,在战略部署和配套对策上采取得力措施,通过“863”计划、火炬计划、攀登计划和国家建立的高新技术产业开发区,力争在重点领域取得重大突破。