

ZHIWUYICHUANGONGCHENG
YUNONGYE

植物遗传工程与农业

■ 美国国家研究委员会农业局

■ 湖南科学技术出版社

植物遗传工程与农业

美国国家研究委员会农业局

许 宝 孝 译

薛 京 伦 校

湖南科学技术出版社

植物遗传工程与农业

美国国家研究委员会农业局

许宝孝译

薛京伦校

责任编辑：沙一飞

湖南科学技术出版社出版

(长沙市展览馆路14号)

湖南省新华书店发行 湖南印刷一厂印刷

1986年6月第1版第1次印刷

开本：787×1092毫米 1/32 印张：2.875 字数：61,000

印数：1—1,600

统一书号：16204·228 定价：0.73 元

预订期号：湖南新书目 86—3 (11)

译 序

遗传工程已经取得巨大的进展，有些遗传工程产物已经商品化。但是，与农业密切相关的植物遗传工程进展却不快。其原因是多方面的，遗传工程技术最近才用于植物研究是一个原因，但与政策不合适也有关系。例如：美国对植物遗传工程研究的资助不多，因而，从事这方面研究的人员也少，一些从事植物研究的实验室设备陈旧……。此外，决定农业生产的因素非常复杂，涉及的学科多。例如：培育抗病农作物至少需要遗传学、作物栽培、土壤肥料、生物化学、植物病理学和生态学方面的知识，这也是植物遗传工程进展较慢的原因之一。

从世界人口的增长来看，要想满足今后40年中对粮食的需要，产量至少得翻一番。而要达到这一目的，必须依靠新技术，主要是依靠遗传工程。

1983年5月23~24日，美国国家研究委员会农业局号开了一次植物遗传工程会议。参加会议的有政府官员、大学、研究机构 and 私人公司的研究人员、科学基金会和世界银行的代表。会议期间，研究人员介绍了可以解决农业问题的遗传工程技术。与会者一致希望，研究基础理论的科学家与植物育种家合

作，以创造一个农业研究的新纪元。

本书就是那次会议的总结报告。它全面讨论了植物遗传工程在农业方面应用的现状、前景和应考虑的有关问题。

由于本人的专业知识和翻译水平有限，而且本书又涉及到好几个不同学科的知识，所以，译文中难免有错误和不妥之处，请读者批评、指正。

译 者

1985年9月

前 言

美国农业是在本世纪昌盛起来的。过去的50年中，虽然耕地面积是减少了，但农业生产率却翻了一番多。这种农业生产率的显著提高是由于农业科学方面取得的进展——农业机械化、农药研制和改良的农作物品种的出现所促成的。

但是，要在未来的50年中再提高农业生产率可能就比较困难了。在美国，留下可以开发的优质农田已经不多了。要是依然利用现有的品种，即使再增加肥料和杀虫剂的用量，也难以使生产率再有所提高了。有些农作物的产量已经开始不再增加了。一些最肥的农田开始盐渍化了，表土也流失了。农民们还面临着燃料、肥料和水的价格提高的问题。

在许多第三世界的国家中还普遍存在着饥饿的问题。在许多发展中国家里，农民们依然得努力开垦土地来得到足够的粮食供应，人类要满足今后40年中对粮食日益增长的需要，就必须想方设法使世界粮食的产量翻一番。

要使农业生产率持续地增长，全世界的农民都需要新技术，尤其是要有能够适应多种复杂环境的农作物新品种。整个农业界越来越意识到，遗传工程是有可能解决一些问题的。重组DNA以及其他一些遗传工程技术虽然在本世纪70年代就应用于动物，但是，将它们应用于植物研究还只是最近的事。运用

遗传工程已经获得大量有关植物细胞基本结构与功能的资料，根据这些资料可以制订出更加有效的育种对策。应用遗传工程有可能最终在实验室中操纵植物基因，以达到改良植物，甚而创造新物种的目的。

目前，虽然整个农业科学界都为之鼓舞，但大多数研究工作仍然是集中在一些从事基础研究的实验室中进行。只是在近几年中，几位植物学家的科研工作才有了明显的进展。他们的工作从许多方面来说都是一次革命，可以预言，由于吸收了新技术，农业企业一定会发生变化。

1983年5月23至24日，来自美国政府部门、私营公司和许多大学的植物学家以及政策制订者聚集在国家科学院开了一次植物遗传工程的会议。这次会议是在生物科学研究计划制订委员会的 Alexander Hollaender 博士的帮助和鼓励下组织筹备的，由 Hollaender 博士组织的机构和国家研究委员会农业局联合召开的。

会议期间，研究人员介绍了一些用遗传工程来解决农业问题的办法。政策制订者陈述并讨论了为实现这种可能性在研究基金和人才培养上来一个转变的必要性。各方面的发言人都极力要求研究基础理论的科学 家与植物 育种家进行新的通力协作，以期开创农业科研的新纪元。

本书是那次会议讨论的总结。目的是给那些有志于从事开发这种有前途的新技术的人作入门指导之用。

会议主席

William L. Brown

目 录

1. 引言 (1)
2. 农作物改良 (4)
 - 2.1 第一次生物学革命 (6)
 - 2.2 对粮食的需要骤增 (8)
 - 2.3 分子遗传学 (10)
 - 2.4 难以预测的影响 (11)
3. 基因转移 (14)
 - 3.1 背景 (14)
 - 3.2 技术 (18)
 - 3.3 目前的限制 (21)
 - 3.3.1 载体 (21)
 - 3.3.2 基因表达 (26)
 - 3.3.3 单基因性状和多基因性状 (27)
 - 3.3.4 植株再生 (27)
4. 基础植物学的研究工具 (29)
 - 4.1 种子蛋白基因 (33)
5. 体细胞遗传学 (36)
 - 5.1 选择 (36)

- 5.2 原生质体融合 (39)
- 5.3 体细胞无性系变异 (40)
- 6. 应用生物工程技术解决农业问题..... (43)
 - 6.1 除莠剂抗性 (43)
 - 6.2 培育抗莠去津的农作物 (46)
 - 6.3 用生物工程技术培育能与植物病害作斗争的微生物 (48)
 - 6.4 固氮 (53)
 - 6.5 最重要的因素 (56)
- 7. 政策和机构的考虑..... (57)
 - 7.1 忽视了基础科学 (59)
 - 7.2 多学科训练 (62)
- 8. 大学与工业的关系..... (65)
 - 8.1 大学方面的忧虑 (66)
 - 8.2 工业方面的忧虑 (68)
 - 8.3 三方合作 (70)
- 9. 安全规则..... (75)
 - 9.1 需要不断的努力 (78)
- 10. 专利权..... (80)
 - 10.1 试验案 (81)
 - 10.2 专利活动 (83)

1. _____

引 言

农民栽种农作物已经有几千年了。这些年来,用于改良农作物的方法越来越先进。已经将近代的植物育种技术应用于培育适应于特殊环境,或者适合于特殊需要的新品种。如培育比较容易收割或者抗病的农作物新品种。化学工艺提高了这些育种技术的效率。现在已经广泛使用杀虫剂来保护农作物,使它免遭由于病虫害而蒙受的损失。除莠剂基本上已代替了防治杂草的机械耕耘方法。此外,还采取定期施肥的措施来补充土壤中损失的养分。正是这些育种对策、农药以及改进的播种技术把美国的农业生产率提高到了现有的高度。

但是,尽管有了这些成就,农作物依然由于虫害、病害以及极端气候而遭受损失。现在,农场在肥料和其它化学药品上所花的成本越来越高。同时,人们也越来越担心这些化学药品对环境的影响。在人口稳步增长的第三世界,这些农业问题更为突出。如果再不改进农业技术,那末,预计到下一个世纪初,粮食就要供不应求。

分子生物学与遗传工程提供了满足农业上各方面要求的新方法。分子生物学家正在研究如何把外来基因转移到植物细胞中去。他们在分子水平上进行着植物育种家过去用完整植株做

了几个世纪的工作，即用新的方法把基因组合起来，培育改良农作物。用一个个基因而不用完整植株育种有几个优点，专一性就是其中之一。用经典的育种方法引入基因会使改良农作物的过程变得错综复杂。有性杂交时，育种家虽然可以力求把单基因控制的性状转移过去，但是，双亲植株的整个基因组都发生组合。需要经过重复多次的回交才能够把外来的基因除去。所以，要想得到一个改良的品种，需要很多年的时间。如果利用分子技术，只要做一次实验就可以切下一种植物的基因片段，并把它与另一种植物的基因拼接起来。或许更为重要的是，遗传工程新开辟了一个可以用于农作物改良的遗传多样性的来源。过去，育种家只能用杂交可孕的植物育种，而现在有了遗传工程，育种家就有希望从任何生物中选择有用的性状。例如，将细菌的固氮基因转移到植物中的研究已在进行之中。另一研究途径是把杂草中决定除莠剂抗性的基因转移到农作物中去。

到了我们能够掌握遗传工程技术的时候，就可以利用它们培育出抗性更强，产量更高，营养更丰富，或者生产成本更低的农作物。如所需杀虫剂、杀真菌剂，或者肥料的用量均比较少的农作物。运用遗传工程技术还有可能得到可以在边缘条件下——在盐份非常高、酸性非常强、非常潮湿，或者非常干旱的土壤中能茁壮成长的农作物。

目前，植物遗传工程尚处于萌芽的阶段。它的根本问题还是其中一些技术的可行性的问题。去年，有些研究人员首次用实验证明，将外来基因成功地引入植物，并使它在该植物中获得表达是可以做到的。但是，必须在进行了广泛的研究之后，才能够把这些技术应用于农作物改良的实际方案中去。很多植物都含具有重要农业价值的基因，分子生物学家首先必须从这

些植物所含的大约500万个基因中鉴别出来。并且，他们正在寻找把外来基因转运到植物细胞中去的载体。他们还必须研究出有把握使培养的单细胞再生出植株的方法。但是，这些实验都还刚刚在开始进行。此外，外来基因的引进会对植株产生什么样的影响？是否会降低产量或生活力，还不那么清楚。

由于目前所了解的植物生物学知识还不多，这样就妨碍了植物遗传工程的进展。要使遗传工程成功地应用于植物，不仅需要更多的植物生理学、植物生物化学、植物发育和植物代谢的知识，而且还需要在基因表达和调节的研究上有重大的突破。遗憾的是，受过植物分子生物学或者植物细胞生物学训练的科学家比较少，而其中有能解决农业问题实际经验的科学家则更少。

要想对遗传工程在农作物改良方面的潜力作出正确估价，为时还太早。眼下估计，一定要到本世纪90年代末才能看得到基因转移对农业生产技术的重大影响。根据植物细胞培养和再生的能力，已经研究出了另一些比较简单的技术，这些技术已经给有些农作物的选育提供了一条捷径。但是，从近期来看，基因转移和其它新技术的最大贡献还是在于基础理论知识方面。鉴定和分离单个基因的技术是基因结构及其功能研究的一种有用的方法。到弄清楚这些问题的时候，我们就可以运用这方面的研究成果制订出更有成效的农作物改良方案。运用经典育种方法来改良农作物的技术最终必将为遗传工程所代替。

1983年5月，美国国家研究委员会农业局召开了一次会议，讨论了遗传工程对农业的可能贡献。许多学科的代表都发了言，他们讨论了这种新的遗传技术所提供的研究机会和与这方面有关的植物学研究基金，以及植物学人才培养等问题。下面的报告就是根据那次讨论加以整理的。

2. _____

农作物改良

农作物改良，即根据人类利益来培育农作物的历史与农业本身一样悠久。大约在1万年之前，原始人就从狩猎和觅食开始转到栽培农作物上来了。自那以后，人们就开始了不断地改良农作物的过程，我们依靠这些农作物获得粮食、纤维以及饲料。

哈佛大学植物分子生物学家 Lawrence Bogorad 认为，几千年来，人们用了两种技术改良农作物。第一种技术是利用植物内在的遗传变异来进行选择。最古老的农民选择具有有利性状的植株，如选择结最大的果实或者收割最方便的植株。或许在有了一些起码的知识并知道了性状能由一代传到下一代之后，他们就开始用精选出来的最好的植株和种子来繁育下一年的农作物了。人工选择又比决定物种生存的自然选择更进了一步。古代农民对挑选来栽种的植株采取选择和隔离的方法，它实质上就是迫使植物异花授粉。通过选择和隔离，他们缩小并控制了每种农作物可利用的基因库。在古埃及和 Mesopotamia 发现的化石表明，那个时候，植物栽培就已经普及了。考古学家从比较早的秘鲁印加族印第安人以前的村庄废墟中发现了利马豆，它的种子比这个地方的野生利马豆几乎要大100倍。这表

明，印加族人是从比他们更早的植物育种者那里得到利马豆的。可是，那些植物育种者没有留下记载。第二种技术是育种。农民先选择两个植株，然后，使它们杂交，得到具有所需要的双亲性状的子代。但是，早期的植物育种者因为不知道性状是怎么遗传的，所以不能预测某一杂交的可能结果。因而，育种过程是盲目的。尽管如此，结果还是出现了有用的性状，而且，可以通过选择使它们在群体中保持下来。

遗传的物质基础或者两个植株杂交时实际所发生的情况，一直到本世纪初才弄清楚。十九世纪六十年代，格里高·孟德尔的育种试验虽然回答了这个问题，但是，人们一直到他死后才认识到这一工作的重要性。孟德尔在澳大利亚他所在的修道院花园中，以豌豆作为材料进行了实验，根据实验结果他推断，遗传信息储存于一些具体的单位中，现在我们就称这些具体单位为基因。而且他还论证，每个性状（如色泽）是受一对基因控制的，一个基因来自父本，另一个基因来自母本。

不久以后，其它一些研究者发现，基因并不是象孟德尔所推测的那样独立遗传的，而是成群遗传的，每群约5000个基因。孟德尔并不知道基因在细胞中不是独立存在的，而是在细胞核内长长的染色体上互相连锁在一起的。虽然遗传单位是基因，而传递单位却是染色体。每个亲本将其染色体组的一半传给予子代。例如，在人类中，每个亲本贡献23条染色体。

本世纪初，生物学家弄清楚了染色体在细胞分裂时的分配情况以及染色体是如何决定子代特性的。因为染色体断裂，再接合，或者交换能导致新的基因组合，而这些过程在细胞分裂时相当有规律，所以能够确定基因在染色体上的位置。他们还知道，有时候，染色体会有多个复本；有时候，染色体数目又会减少，而且这些数量的异常会影响基因表达。

——2.1 第一次生物学革命

孟德尔遗传学的奠基使得植物育种家能够更加正确地进行植物杂交,仔细地操纵植物基因组,从而培育出新的改良品种。利用这些育种技术,已经培育出了产量更高的品种,其中就有抗病虫害的农作物。这些改良品种对农业出口激增作出了贡献。过去50年中,美国的农业生产率提高了2倍半,而农田面积却减少了6%。最惊人的一个成就是,本世纪三十年代培育出的杂种玉米,这种杂种玉米很快就使玉米产量翻了一番。

育种上取得的成就还意味着,世界上其它地区的粮食产量也有所提高。本世纪五十和六十年代,墨西哥玉米和小麦改良中心的Norman Borlaug培育成了半矮秆小麦品种。菲律宾国际水稻研究所也培育出了类似的改良水稻品种。印度于本世纪六十年代引入了这些品种,后来,中国也引入了这些品种。这些小麦和水稻品种成了“绿色革命”的基础。据估计,这些国家中的粮食产量就此增长了4~7倍。由于这些原因,有人就把应用遗传学引进农业称为第一次生物学革命。

然而,农业生产率的提高不仅是遗传学进展的结果,同时也是农场管理上改革的结果。在美国,生产率的提高有一半通常应归功于农场管理的改革——耕作技术和农业机械的改进,尤其是杀虫剂、肥料和除莠剂这些农用化学新产品的试制。同样,在南亚引进改良的小麦和水稻品种的同时,还必须在灌溉与农药方面大量投资。

虽然在孟德尔遗传学发展基础上建立起来的改良的育种技术使农业得到了巨大的利益,但这种技术确实还有其局限性。正如Bogorad在这次会议上说的,时间就是一个问题,选育出

一个所需要的品系可能要化费很长的时间。但是，最大的局限性还是可利用的遗传多样性的来源问题。

100 年前达尔文就发现，新的物种是通过自然选择进化而来的。假如把一个繁殖种群的一部分隔离开来，那末，它的基因库就会与亲本群体越来越不一样。自然界中常会形成阻止两个群体之间杂交的生物屏障。因而，在每一个不同的物种中，个体间的遗传变异缩小。正因为有这种天然的杂交屏障存在，所以，植物育种家只能在同一物种或者近缘物种成员的范围内寻找有用的新品种。问题是，许多主要农作物已经栽培了几千年，这就导致其基因库越来越趋于一致。在有些情况下，从繁殖种群中已经得不到所需要的性状了。Bogorad 说：“有时你一再重复繁殖也永远得不到你所要寻找的性状。”

因此，在许多主要的农作物中，我们会碰到加里福尼亚农业试验站站长 Lowell N. Lewis 所说的那种在努力提高产量时出现的所谓“生物路障”(biological roadblock)。“产量开始不再增加了，在有些情况下，产量反而下降。对于这些农作物来说，不再单单是多施一些肥料的问题了”。

明尼苏达大学农业经济学家 Vernon Ruttan 认为，美国在十九世纪九十年代封锁边远地区土地的情况与现在的情况极其相似。因为土地越来越少，价格也越来越贵，所以，农民们要提高产量，就不能单单依靠把现有的技术推广到新的土地中去的办法了。要想提高农业产量，就得靠改良品种和农药，这两样东西都是近几年来通过植物育种家与农业科学家的研究才开始使用的。Ruttan 认为，实质上，农业化学试剂已成了土地的代用品。而目前在较发达的国家中，农民连这些化学技术的潜力也将挖尽了。例如：以前施用氮肥，产量保证会有很大的提高，但现在再要靠氮肥来提高产量就比较困难了。这方面的例

子很多，而玉米就是其中之一。1954~1960年，由于施用了氮肥，玉米产量每年每英亩增加2蒲式耳。而1971~1980年，加了氮肥后，玉米产量每年每英亩只增加0.5蒲式耳。

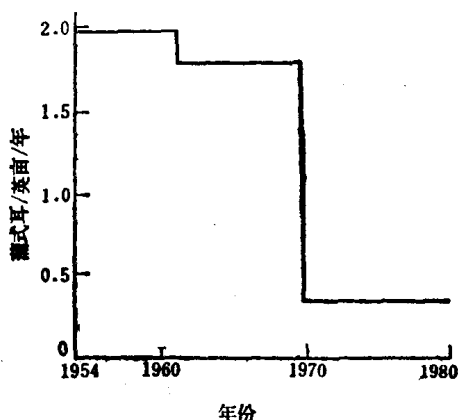


图2—1 1954年~1960年，1961~1970年，1971~1980年期间，氮肥对提高美国玉米产量的作用。

2.2 对粮食的需要骤增

在农业生产率增长速度减慢的同时，对粮食的需要却在持续增加。但是，美国的粮食生产却依然过剩，美国农业部科学教育副秘书长 Orville Bentley 说：“尽管有些国家的粮食生产已经超过了他们的需要，而更多的国家还是感到粮食不足。”世界银行南亚地区副行长 W. David Hopper 认为，虽然粮荒的规模没有1943年在印度发生的那次大，但是，饥饿与营养不良依然遍及全世界。联合国粮食与农业组织估计，大约有5亿人口严重营养不良。

如果世界人口继续以每年1.8%的速度增长，那末，在今后