

科技新路

NEW PATHWAYS IN SCIENCE AND TECHNOLOGY

编者按：1985年5月在美国出版的一本题为《科技新路(New Pathways in Science and Technology)》的论文集，汇集了关于美国科学技术21个前沿领域发展概况和远景的调研报告。这些报告是在美国科学、工程和公共政策委员会、美国科学院、美国工程学院和美国医学研究院的指导下，在1982~1984年期间由各自领域的专家小组经广泛调查研究后草拟的。报告不是各领域发展的全面综述，但提出了美国在制定有关科学技术政策时应特殊关注的问题。报告都已提交美国政府各有关机构，包括总统科学技术政策办公室、国家科学基金会及其他机构，作为制定国家科学技术政策的依据。本刊选择其中一部分，陆续予以译载，供有关人员参考。

农 业 研 究

AGRICULTURAL RESEARCH

摘 要

本报告所介绍的几乎全是与提高农业生产率有关的植物科学研究。报告中扼要提到了：为了改进作物及栽培实践，遗传工程将发挥哪些有现实意义的作用；联邦增加研究拨款后的几个有希望的研究领域；对植物科学研究的某些不利因素等。

遗 传 工 程

在不久的将来，植物分子生物学和遗传工程技术在植物身上的应用将对基础科学作出重大贡献。植物科学中的这种新知识极有可能大大地促进作物的改良及耕作方法的提高。

遗传工程使人们对遗传特性(traits)的组织(organization)及功能有了意想不到的新认识。对调节基因和结构基因之关系的直接证明、遍及基因组(genome)的DHA重复序列之出现、内含子(introns)或非密码序列在基因内部的存在，以及基因组的惊人可塑性（早些时曾被认为是十分保守的），所有这些都有助于和迫使科学家以新的方式去考虑“影响及控制

遗传特性之再分配及表现(expression)”的因子。人们之所以在这方面的知识有所增加，主要是由于使用和分析了与遗传工程有联系的技术。

遗传工程对作物育种是一个有力助手。遗传工程的成功应用，给人们带来新的和过去无法得到而又渴望得到的、可以通过常规育种方法加以利用的遗传变异性来源。细胞培养技术的应用正在为作物育种提供新的遗传变异来源。

尽管基因叠接技术在植物中的应用尚处于襁褓阶段，但有理由期望：确实存在着受单基因或一小组基因（如抗除草剂者）控制的特性，利用遗传工程技术可以成功地转移这些基因。不过，重要的问题是：引入这种外来DNA会不会影响其他基因在植物体内的表现，以及协调的多基因特性能否成功地接受遗传工程的支配？

研 究 机 会

分子生物学技术及改善仪器方面的进展，正在为

植物科学研究提供新的机会。在七十年代中期,在植物科学中,人们就发现有几个需要优先发展的研究项目;其中四个——光合增产、生物固氮、遗传机制及植物的生物学逆境(stress),由于联邦拨款的增加而获得进一步的重视。由此而造成的研究计划之进一步扩大已经获得了很大成就。

农业研究小组讨论会已把下列七个研究项目列为在创建基本科学理论方面最有前途的项目,这些理论能为改善作物生产导致重要的发现及应用。这几个项目已被列为优先发展项目。

植物体内基因组结构及基因表现

对控制植物生长与功能的遗传信息系统的了解,是所有植物科学研究的基础。为了在这些领域中取得进展,下列几个方面是重要的:植物体内特种基因的鉴定与分离;把其他植物及机体DNA引入植物细胞的技术之发展;允许这种外来DNA具有遗传表现的体外系统的建立。

植物发育生物学

有关植物内基因表现调节(the regulation of gene expression)的发现,将大大有助于对植物体内形态(from)及功能的控制与发育的理解。反之,关于与细胞内交通及诸过程的协调(在植物体内以机体水平进行)有关的因子的说明,将为植物发育的遗传控制之研究提供重要线索。

植物与害虫的相互作用

人们现在已可以对控制植物病原毒性之遗传及生化机制,以及能在作物栽培种内建立起来的有关抗性进行分析,因为分子生物学的有力工具已可得到。关于病毒及细菌中的基因组结构及基因表现控制的丰富资料,将加速人们对这些及其他病原的作用之理解。除了研究启动寄主植物内系统防御机制的化学药品的作用外,还需要继续及加强鉴别细菌毒素及专性寄生的真菌毒素。把昆虫神经生物学及植物次生代谢产物(它吸引或排斥昆虫)的分析化学结合起来的跨学科研究,将有利于防治害虫的工作。

根际中的有机体

关于生活在根带(root zone)的有机体之生态学,人们知之甚少。抗病土壤的有趣性质以及人们对普遍存在的菌根真菌重要性的越来越高的评价,使人们认识到:加强对这些土壤有机体的研究,有可能带来很大的利益。

光合能量转变与碳代谢

本报告颇详尽地讨论了在理解光合能量转变的成

分(components)上所获得的重大进展。方法和研究工具还将继续扩大已取得的这个进展。此外,要把更多的注意力投放在碳代谢的研究上,特别是光合碳水化合物产物在植物体内的分配之控制及这种分配对净光合的反馈作用上。

矿质吸收、缺乏及过量

有的作物对重要矿质养分的吸收受到损害或促进,有的则能忍受其他矿质的致毒量,所有这些都为我们提供了机会去使用分子生物学的工具,以便较彻底地了解植物的矿质营养。从中得到的利益可分两方面来看,即是,在通常施肥(特别是氮)多的土壤,可以通过降低施肥量的方法而获得更高的农作物产量;另一方面,可以把农业扩展到盐渍的或含有有毒矿质的边陲地区。

生物氮素固定

人们对生物固氮的认识在各级研究中,从核酸在固氮系统基因中的序列化(sequencing)到实际应用,都不断取得进展,如选择或创造与作物共生在一起的、经过改良的固氮细菌品种。有许多引人入胜的问题现在仍未获解决,例如,为什么豆科植物不象其他作物那样,在产量上对氮肥无反应呢?如何去控制以“固氮系统产生的氢气形式”表现出来的还原力的浪费呢?如何达到固氮基因直接转移到作物身上去的最终目的呢?

对研究的不利因素

要发挥本报告中所指出的研究机会的全部潜力,除了要有充足的基金外,还要适当注意那些可以影响到植物科学研究进展速度的因素。这些因素包括:训练有素的科学家及研究机构的调整,以鼓励多跨学科研究及创造性研究。

现在缺少在基础植物科学与农艺学以及分子生物学与分子遗传学方面训练有素的科学家。要解决这个问题,可以部分地通过博士后研究,使最近的大学生物科学或分子遗传学领域去取得其他方面的研究经验。现在在农业科学方面,博士后研究生比较少。国家科学基金会出版的最新资料表明,1974~1979年,在生物科学方面接受联邦资助的博士后(postdoctorals)有23,420名,保健科学方面有15,845人,农业科学方面只有821人*。另一个促进学科间思想交流及加强合作研究的途径就是通过专门的夏季讨论会。可以作为例子的两个典范是冷泉港(Cold Spring Harbor)学派在分子生物学及分子遗传学方面,以及伍兹霍尔(Woods Hole)海洋生物研究所在某些生物学领域中的夏季讨论会。这两个例子在它们的

* 国家科学基金会1981《国内科技资源状况》, NSF 81-131 (华盛顿,美国政府印刷所)。

领域内的高级研究中都很有帮助。

在如何加强学科间的研究方面，也许还有别的想法，其中包括鼓励多学科研究队伍的建立及创造机会

绪 论

美国农业在继续变化中。与美国建国初期发生的各种变化对比，今天农业变化之步伐与性质，在很大程度上，是科学研究与发展的结果。这些变化有助于说明为什么这个国家除了能以丰富而优质的粮食及廉价纤维自给外，尚能满足其他国家的一些粮食要求。

过去曾帮助美国农业系统获得成功的研究之主要成果有如下几桩。过去只有处女地才能提供的丰收，现在化肥也可以办到。农田化学药品不但可用于防除作物的病虫害，而且已大部分取代了曾一度用来控制杂草的机械中耕。在免耕或少耕农作中，这些化学药品也派上了用场；而免耕及少耕有助于缓和现代农业中的一个大问题——土壤冲刷。以植物遗传学为主要依据的现代作物育种技术，已培育出能够适应特殊环境的作物品种。作物育种家已能不断培育出新的抗病品种去对付不断进化的害虫。

很明显，与科学上的任何一种进步一样，美国农

支援开拓性研究，因为后者可以为新的、针对性研究规划及潜在技术打下基础。

业的成就并不是在短时间内，凭单方面的努力或靠若干孤立的发现促成的，而象任何有机体的生长那样，通过许多互相关联的发育阶段而产生的。美国农业继续不断的成就，全靠立足于现在，远瞩于未来的研究规划的连续性。

本报告所涉及的几乎全是植物科学研究，而其受益者历来都是农业。它总结了由11位成员组成的小组讨论会的讨论结果，他们曾被邀请去鉴别植物科学中哪些是有前途的研究领域（这些领域有可能培育出更高产的抗病、抗逆及高能作物），并对遗传工程培育这类作物的现实可能性作了一些评价。在为期三天的讨论过程中，评选出几个最有前途和最值得联邦政府增拨研究款项的研究领域。它们是：植物中的基因组结构及基因表现；植物发育生物学；植物与害虫之相互作用；根际中的有机体；光合能量转变及碳代谢；矿物质吸收、亏缺与过剩；及生物固氮作用。

有前途的研究领域

植物基因组结构及基因表现

在作物中，每个核基因组约有100,000个基因，所谓基因组也即是存在于每个植物细胞核中的基因的完全组合（complete set）。每一最简单的基因也就是按照相似系统（similar lines）设计出来的DNA（脱氧核糖核酸）序列，每个基因具有一个信息单元，该信息被用来指定一种叫做信使RNA（核糖核酸）的产物，而信使RNA又“口授”控制植物功能的蛋白质的结构。在基因组的“分子结构及组织”以及调节单个基因的表现的因子方面，我们知道得很少。在这方面，动物及植物都是一样的。不过，由于目前已有办法解答许多问题，我们对植物的基因组结构及基因功能的了解正在深入。使人们有可能鉴别、分离及无性繁殖（cloning）基因的分子生物学及遗传工程新工具，将使我们能够了解基因表现的控制问题，从而把这类基因转移到作物身上去。

基因内部某些DNA序列的、已经作出结论的功能已不是秘密。有指定蛋白质之氨基酸序列的DNA密码序列；也有束缚酶分子的DNA促进序列，用那种酶分子会启动或妨碍基因转录到RNA的开始。DNA的延伸（通称内含子）位于大多数核基因的密码序列，并出现于初次从DNA序列转录的RNA上，但是会从这个最初的RNA中除去，当后者变为被翻

译成蛋白质的信使RNA时。内含子的功能还是一个谜。有位于密码序列之内或之后的DNA序列，据认为，该密码序列对“发育时，调节基因表现之组织专性计时（the tissue-specific timing）的分子”有约束作用。也有证据认为，基因组内的基因之组织与排列变化会影响基因功能。基因调节的级别（level）尚未研究清楚。当作DNA序列而被详细描述基因还不到十种。

分子生物学的最新成就包括DNA重组技术及迅速的DNA序列方法。此外，可置换的成分（即DNA序列，它具有在基因组内从一个部位到另一部位移动的能力，并会影响到它们能插入的基因的功能）可用作内基因组探针（intragenomic probes），用以鉴别和分离与它们联合的基因；在目前用来了解植物基因的结构与调节的方法中，它们是一种很可取的技术。转座子（transposons）是细菌中比较活动的DNA序列，已被成功地用作这类探针。

需要进行研究的特殊领域是：鉴别出哪一种基因密码用于植物的某种酶；在某一组织或某一发育阶段，什么分子引导出这类基因的活性。有了这种知识就可以决定：从提高作物产量的观点出发，什么基因或哪些基因可以从一个种转移到另一个种。这个决定也需要从分子观点去鉴别及理解植物生长与代谢中的“限速步骤”（rate-limiting steps）。

有关特种基因表现系统的知识，可以提供导致控

制“速率限制步骤”的信息。其中一个例子是：利用化学药品磺基胍氨酸(methionine sulfoxamine (MS))调节细菌固氮基因系统。当存在大量的氨或固定氮时，细菌固氮就不会发生。但是，加入MS时，即使固定氮的量多到足以抑制固N基因系统表现时，这个系统也能表现出来。从MS的效果可以看出，当我们把调节生物合成系统表现的机制搞清楚时，就可以鉴别和合成“促进或阻碍这个系统的”特殊生长调节物质。

人们寻求增产及改善作物品质的植物生长调节物质已有些日子了，但对主要农艺作物来说，鉴别调节物质的成效却很差。知道了植物基因结构及基因表现系统，就有可能为新植物生长调节物质的鉴别与合成提供必要的知识基础。不少人认为，对农业的利益来说，这些尚未发现的植物生长调节物质有可能等于或超过植物保护物质。

在基因组织及表现的领域内的一个特别重要的领域，包含了据估计无性繁殖DNA系列(cloned DNA sequence)可能起作用的系统发育在内。基因的DNA密码序列之主要功能包括RNA中间产物的形成，但是对许多基因来说，这种功能仅在发育的特定时间，并且常常仅在机体的特定细胞内才施展出来。现在特别需要这样的附加体外系统的发育，它容许DNA密码序列转录为RNA，然后又进一步翻译为蛋白质-酶产品。尤其重要的是，虽然在为植物遗传工程而发展冠瘿(crown gall)细菌质粒系统当中，已经获得惊人进步，但是还需要附加的体内转化系统，在其中，基因能被整合(integrated)到一个细胞的染色体，而该细胞又能被用来产生有可能出现“基因表现”的整棵植物。为了产生叶绿体，细胞壁可以从某几种植物细胞中除去；在某些品种，这些叶绿体可以重新产生整棵植物。从事引入外来DNA于叶绿体的现代研究是特别有希望的。

除了在每个植物细胞中有十万左右核基因之外，还有两种细胞器也含有基因。细胞的每个叶绿体——光合作用场所——也许含有100个独特的基因；而线粒体——食物在细胞内的氧化场所——也含有许多基因。植物细胞的这三个遗传系统是高度互相依赖的，不过它们的基因表现系统的情况则不一样。作物品种的健康、活力与成功全靠细胞器及核基因组以及全部三个遗传系统的适当结合。而且，这些基因组中的每一个，在作为引入基因的位置以改良作物方面，都有其各自的优点。

在美国现在只有少数实验室目前正在深入研究植物中的DNA序列及其功能。在把这门技术应用到作物改良方面，这些实验室正在不断取得的知识是十分必要的。

植物发育生物学

植物发育生物学研究的是一个单细胞如何变成一

棵具有不同组织、器官及功能的完整植物。这个领域中的许多工作都是描述型的，但是随着更高级技术的出现，现在要了解植物发育的分子机制已是可能的了。细胞及分子生物学的新而有效工具，使我们有办法更深入了解为植物形状及功能发育所需要的最终基础。

对“在发育上具有深远影响的、植物基因组内的”那些基因及调节成分的鉴别与研究，在有关“每个细胞内的许多基因是如何协调地表现出来，以产生一个具有许多完整功能的复杂有机体的”现代知识方面，将导致重要进展。当这些重要的基因及序列被鉴别之后，就可以对它们进行修饰，重新调整或进行操作，从而也就可以分析其对发育的影响。在搞清黑尾果蝇(*Drosophila melanogaster*)的主要发育过程是如何受控方面，对果蝇突变型(叫同源异形突变型(homeotic mutants))的独特种类之研究是很有价值的。在植物发育生物学中的类似活动，可以在了解植物生长方面取得比较显著的突破。

植物细胞培养是一种附加工具，在促进植物发育生物学的进展方面有一定潜力。在细胞培养中可以控制某些发育过程；有关这种过程的显著例子就是体细胞胚胎发生，也就是从培养的细胞中发育为胚及植株。植物细胞培养所提供的高度控制及操纵能力，使人们可以在一个适当的细胞培养系统中，深入而有效地研究发育过程。例如，在体细胞胚胎发生的不同阶段受阻塞的胡萝卜突变种细胞培养，现在正在使人们对这个发育过程的了解越来越深入。

对植物发育生物学的进一步研究，将使人们对作为一个生物机体的作物的了解更加深入。这方面知识的扩大，会直接使许多特殊领域得到好处。产量是许多成分的总和，而其中大部分是以植物形状及功能为基础的。植株的外形对其生产力的影响很大。例如，在世界上许多地区，矮秆小麦及水稻品种正在使产量得到改善。分枝型及叶子形态会影响病害的严重性。对植物外形的生物学基础的进一步了解，将使我们更广泛地改变其外形，从而导致其生产率的改变。有些情报透露：有几种已被确认的激素，在植株的不同器官之间及植物细胞之间起传递信息的作用。人们对机体水平的诸过程的协调之更多了解，也会导致新植物生长调节剂(用来慎重地改变农业上很重要的过程，如衰老及同化产物的分配，即把光合同化产物分配于植株的不同部分)的兴起。最后，毫无疑问，植物从重要作物品种(如豆类及禾谷类)的细胞培养中之再生，将会由于知识的增长而得到改善，而且将促进靠这些作物来进行的遗传工程的进行。

植物与害虫的相互作用

尽管通过各种作物育种技术，在控制病害方面取得巨大成就，在控制害虫方面也取得相当成果，但使植物能够抵抗病原体及害虫的基本遗传学的、生物化

学的及生理学的机制则尚未十分明了。在对付细菌及病毒引起的植病方面,现在还缺少有效的化学防治法;至于控制真菌、线虫、杂草及害虫的许多化学药剂,又由于它们对人类及环境的安全可能有影响而使人不放心。另外,害虫对杀虫剂有抵抗力,所以对其他方法的研究又有必要加强,以减轻由于作物害虫而导致的损失。

细菌、病毒及类病毒(比病毒小的一种非常小的病原体)基因组的体积小,也比较简单,这就说明,可以用现有分子生物学及遗传工程技术去测定控制病原体毒性的因子,从而对更有效的控制方法的发展作出贡献。最简单的病原体、病毒及类病毒的组成单位,不超过一个DNA或RNA核酸序列;如果是病毒,则还有一个蛋白质壳。利用专性植物寄主的病毒去认识的关键,以及对“危害寄主的病毒”之抗性,有可能在寄主的核酸及蛋白质合成系统在复制病毒时所具有的作用之细节中被揭露出来。类病毒可能是致病机制已被搞清楚的第一个病原体。它们的RNA已被序列化而且很小(只有几百个碱基),因此可以组成特殊的点突变(point mutants),并试验其致病性机制。有一个假说认为:类病毒会干扰寄主的小“核RNAs”(nuclear RNAs)的正常功能。据认为,这些核RNAs与“内含子的除去及不根据寄主RNA转录本而对它们进行叠接”有关。

病毒通过传染媒介如昆虫、螨类、线虫或土壤真菌传染给植物。在少数情况下,病毒会象在寄主植物中那样,在传染者——昆虫的体内繁殖。尽管在复制上有其多样性,但在寄主与病毒之间又存在着专性:同样的病毒甚至不能在密切有关的植物或昆虫体内繁殖。各种寄主具有高度专性的分子基础尚未搞清楚,但是存在着这种病毒突变种,它在其中一种寄主中已失去繁殖能力,但在其他寄主中则仍能繁殖。在研究这个问题时,这些突变种应当是有用的。

细菌遗传学方面的最新进展为控制细菌毒性因子的基础遗传学及生物化学机制之研究提供了新的工具。有关病毒因子的知识有助于搞清楚植物抵抗病原细菌的机制。过去虽然企图分析当病原侵害易感染植物或抗病植物时所发生的生化反应复杂性,但由于对致病机体的遗传学缺乏认识而无能为力。使植物罹病的大多数细菌都属于欧文氏菌(*Erwinia*)及假单胞菌(*Pseudomonas*)品系。现在,人们已经可以获得许多有关如大肠杆菌(*E. coli*)及其他假单胞菌(*Pseudomonas*)变种这样关系密切的细菌的遗传学知识,而这种知识的应用及新技术的使用则还刚刚开头。在对冠瘿细菌的根癌农杆菌(*Agrobacterium tumefaciens*)及其引起肿瘤(Ti)的质粒的研究方面所取得的新进展,解释了这种植物寄生物与其植物寄主之间的相互作用之分子生物学。尽管冠瘿是一种非典型的植物病害,而用它所获得的结果却说明用其他病原也能得到这样的进展。

用Ti质粒进行的研究进展得特别快,因为它极可能被用作把外来DNA引入植物细胞的媒介。用其他细菌病原或病毒病原进行的研究,也有可能找出潜在的、用于遗传工程的媒介。

非病原细菌的某些类型(groups)具有显著的、在叶表面存在及繁殖的能力。但当病原细菌或真菌侵入寄主时,这种细菌所起的帮助或拮抗作用,人们则知之甚少。这些细菌有可能被直接用作植物病原体的拮抗者。可以在遗传上改变这些品系,使人能忍受并拮抗植物病原细菌与真菌。

最近在鉴定细菌毒素及寄主专一的真菌毒素之化学结构方面,取得了进展。许多诱发物(elicitors),即在植物中引起抵抗反应的化合物,也已被鉴别出来。关键的研究领域是那些需要决定植物内受体(它们能对诱发物的分子作出反应,而诱发物又为病原所形成,或作为病原入侵寄主的间接结果)性质及信使分子(它们在整个寄主植株内被传递,并启动与抗性反应有关的化合物之生产)性质的研究领域。例如,对番茄植株的几乎任何部分的伤害,都会释放出一种称之为“蛋白质水解酶抑制剂诱导因素”(proteolytic enzyme inhibitor-inducing factor)的化合物;它有系统地分布于植物全身,并启动某种化合物(它能抑制消化蛋白质的酶)之产生。其他直接或间接抑制细菌及真菌的化合物也很可能以类似方式在植物体内形成。有关这类系统的知识,能提供线索去鉴别植物中的抗性机制,有助于选择抗性作物品种,并能导致设计出引起抗性反应的化学药品。

在昆虫的情况下,寄主与食草昆虫之间的关系,是以昆虫对植物的次生代谢产物的行为反应为基础的。要了解这些相互作用,就必须知道刺激或抑制昆虫进食的植物代谢物本身,昆虫的化学感觉系统(能察觉出不同的植物代谢产物)的特征,以及对昆虫袭击所作出的任何植物反应之性质及机制。例如,昆虫神经生物学研究正在鉴定新的神经传导者(neurotransmitters),其中包括某些显然单属于昆虫并可导致新治虫法的物质。而且,许多处于幼虫阶段的昆虫对作物的危害也最大。在此阶段,它们靠幼年激素维持。有些植物能生产干扰昆虫幼年激素起作用的化合物,结果造成幼虫阶段的过早结束,从而减轻了对植物的危害。

新技术现在可用来了解化学传感系统(如电生理学、受体蛋白质的生物化学,及信息理论之应用于传感编码及中枢神经系统整合(central nervous system integration)),亦可用来鉴别植物挥发物、酚类化合物、生物碱等(如气相色谱法及质谱分析法)。通过合作方式组织起来的植物产品化学家、植物生理学家及电生理学家应集中精力于鉴别出那些吸引昆虫并诱导进食或产卵的植物化学药剂,以及那些起抑制素及进食抑制剂作用而有碍上述活动的化合物。在发展改良过的控制方法及挑选抗虫植物品种方面,这类研

究在目前是很有希望的。

根际的有机体

土壤是植物、动物及人的养分之主要来源。人们对土壤的物理及化学性质已经进行了广泛研究,但根际(即土壤-根区)的微生物生态学却一直被忽视,尽管植物的某些最具有破坏性的病害是由生活于土壤的有机体所引起的。这些病害属于最难控制的一类。用化学药品处理则失之于成本过高,而且有效的化学物往往又会使别的有机体的数量发生巨大变化,这种情况就类似于过去人们使用杀虫剂时所经受过的、使益虫与害虫数量之间发生意外而又不希望有的变化那样。

由于培育了抗病品种,使人们在控制土壤产生的病原方面取得很大进展;但是若要在减轻这些病原对作物危害方面取得更大的进步,就要采用生物防治系统,因为有效的抗性系统目前尚不可得。在加利福尼亚及华盛顿州所进行的、有关抑病土壤的最近研究指出,假单胞菌(*Pseudomonas*)的某些品系具有在许多作物之根表定殖的能力,从而增强了根的发育并提高了产量。把这样的细菌品系应用于小麦种子时,在受破坏性菌根病原(destructive fungal root pathogen)感染的土壤上(这种病原会引起“全蚀”病)曾获得相当高的产量。所以我们有可能把遗传工程用来增加作为生物防治因子的根定殖有机体(root-coloning organisms)的有效性。

另一个主要研究领域就是能与根紧密结合、能增强养分吸收与根发育的共生真菌之利用。这种结合称之为菌根。菌根真菌有两种基本形式:生活于根的外组织的外菌根与侵入并主要生活于根组织内部的内菌根。据研究,外菌根对森林,尤其是对苗木生长特别重要。通过用改良过的菌根真菌品系对树苗接种的方法而大规模利用菌根的可能性是存在的,但尚需对土壤有机体的生物学、遗传学及生态学进行更多的研究,同时也要研究到底哪些树在生理上最能适应菌根关系。

内菌根主要存在于一年生及多年生草本及灌木的根内,而且它们对植物生长的价值是很明显的。现在还不知道怎样才能把内菌根真菌加以培养并用作种子或种苗的接种物,但是有关如何操纵这些到处存在和重要的真菌的知识正在日益丰富,从而有巨大可能对作物生产发生有利的影响。

人们已采用少耕或免耕法来减少严重的土壤流失,同时还可省下一笔机耕燃料,但这样会使得有机残茬停留在土表,使土壤变得比较冷湿。这两个因子对土壤有机体的种群动态(population dynamics)都有重要影响。另外,对土壤施肥及有机质、耕作造成的土壤之通气及致密程度都会影响根际中土壤微生物的生长条件,必然也影响作物的产量及效率。例如,

当某些微生物分解土表或残茬时,会产生出影响下造种苗生长的毒物。也有证据认为集约的耕作及大量施肥有助于消除“由各种普遍的、有害但非致命的根病所引起的”作物生长受抑状况。如果说有益的细菌,如上述假单胞菌(*Pseudomonas*)品系可用来降低机耕及施肥的费用,就需要对根际的生态学及土壤有机体之间的相互作用有一个比较深入的了解。

有关共生性菌根真菌及某些其他有益的根繁殖(root-coloning)细菌、真菌的潜在而有利影响的证据充分说明需要对土壤微生物的生态学及群体动态以及不同耕作方式对这些微生物的影响有一个比较正确的理解。有些重要的研究领域包括:土壤微生物在营养循环中的作用(当它们影响矿质营养对作物的有效性时);有关决定细菌、真菌及线虫与植根之关系的遗传因素的解释;土壤微生物遗传学及其中遗传交换之范围;与那些独特条件(这种条件会造成所谓的抗病土壤,在这种土壤中,病原虽然存在,但作物的根部不会受害或受害很轻)相结合的生物因子。为了分析“使科学家能够理解抑制这些病原的基础的”生物及物理因子,现在已有可资利用的技术。

如果对土壤微生物生态学有相当的认识,在农业中就可以少用些肥料,土壤流失少些,也可以少耕。对各种有机体的生态学有适当了解,会导致虫害及土壤流失问题的减轻,这样就使耕作系统得到发展,作物生产的效率增加。这种系统要求更多的轮作、复种、少耕、特殊的绿肥作物、新作物或为特种种植系统而培育出来的品种。为了建立合理利用根际所需要的理想模式(目的在于减轻病原的不利影响及增加来自共生有机体的利益),基础情报是重要的。

光合能量转变与碳代谢

光合作用是所有农业生产依靠的过程。在光合作用的组成步骤及其在植物中的调节尚未弄清楚时,要改进光合作用效率是不大可能的。对生物过程的理解也会有助于改进属于太阳能转变的理化系统之效率。

光合作用的第一步是“光能”驱动电荷分离的物理过程。在绿色植物中电荷分离的效率相当高,随之而来的这个反应的产物之稳定性,又使能量转变效率很高。因为目前可以利用分光镜技术去跟踪电子的运动(时间细分到微微秒以下),所以有关能量转变过程的生物物理分析(biophysical deciphering)进行得很顺利。

稳定的光化学产物必须被加工成可用于活细胞内生物化学过程的化学物质。这种过程发生于呈固体状态的机构——即在叶绿体内装配起来的光合膜内。在分离这些膜、纯化其各个蛋白质成分,及认出其三维结构方面已有了很大进步。到目前为止,在约100种成分中,只有少数几个研究得比较透彻,但这个问题是可以解决的。利用生化、分子遗传学及X射线晶体学

技术,人们已有可能分出叶绿体,并进行分类、鉴定,并且指出它们各部分的形状及功能,然后又能把它们组合在一块,验证对整体的理解是否正确。

在过去几年的研究成果中,有某些特殊事例可以证明,要弄清光合机制的结构是很有可能的。最初从大气中捕获二氧化碳并开始把它转变为碳水化合物(一种羧化酶),是一种巨大而且难于掌握的蛋白质亚单位聚合体。对较小的蛋白质亚单位之氨基酸序列可以进行分析。利用灵巧的常规化学技术就可以完成这分工作。根据其体积的情况,这种酶的较大的亚单位对于化学序列分析来说,是一桩棘手的任务。引导合成大亚单位的基因已被分离出来,并且这种DNA已被引入细菌,使得它(DNA)可以被复制成令以后的分析简单得多的数量及情况。通过容易使用的酶技术可以测定核苷酸亚单位的序列,这种序列决定遗传指令,而后者又使氨基酸在大的蛋白质亚单位中具有特种序列。利用以前创立的密码翻译技术,可以把核苷酸的DNA序列翻译成氨基酸序列。遗传工程技术的应用简化了(从而节省了许多年的时间)测定氨基酸在大亚单位蛋白质中的序列的工作,也简化了以后绘制其酶活化位置(its enzymatically active sites)的工作;此外,这些技术原则上还可应用于参与光合过程的每种蛋白质。

下一步需要弄清楚的是亚单位中的氨基酸的这种链在三维空间内的排列。现在人们正在对纯化蛋白质进行X射线结晶分析,而且将揭露链如何被折叠、在功能聚合体中亚单位又如何被组织的详情。目前正在进行的研究告诉我们酶是怎样工作的,它的哪一部分管催化或调节。尽管这些研究现在正在利用化学试探及改变蛋白质结构的方法,但是很明显,遗传工程将大大加速这个研究进程。

最后,需要探明:这种酶位于光合膜的哪一点?它又是如何与邻近的蛋白质(其反应的合作者)起相互作用的?因为体积大,可以用电镜在叶绿体膜的表面认出羧化酶来。也可以使用某种技术去鉴别邻近的分子。当这种工作完成时,这种成分就会暴露,就好象无人不知道手表具有发条那样。另外,我们还需要耐心应用这些技术去研究这个机制的其他部分。

有充分的证据证明,对所有植物来说,光合作用基本过程的许多细节都是相同的。当一种植物的这个问题解决了,所有植物的这个问题也基本上可以说解决了。另外,在叶绿体膜中发生的能量加工过程与所有细胞类型中的能量加工过程十分相似。有关叶绿体膜的详细“局部解剖分析”(topographical analysis),将使我们每个活系统中的能量转变过程了解得更加清楚。

在许多植物中都发生一种与CO₂的光合还原有联系的浪费反应。这个反应叫做光呼吸,其造成的损失可高达净光合作用的50%。在光呼吸方面的最近研究进展中,有一项是从遗传学的角度证实了与这个过

程有关的生物化学途径。最近几年人们对光呼吸研究的支持,导致鉴别出某些可以受到改变,以免除或降低光呼吸损失的分子。也有证据认为把CO₂转变为还原碳的羧化酶,当有氧存在时,也能进行光呼吸。

也需要进一步研究,以便了解叶绿体区(能量在这里被转变及加工)外面的光合作用情况。碳水化合物是叶绿体的最终产物,而且它必须被输送到植物的所有器官。很明显,调节这一输出过程的复杂信号是存在的。当贮藏场所如根、块茎或种子被碳水化合物所充满,或者叶绿体上存积着淀粉时,叶子的光合速率就会下降。膜运输调节者及酶节制者正被认为是有关的信号机制中的几种。这些过程很可能得到解释并且具有巨大实践价值,例如,可以较完善地控制光合作用的全部效应并且引导产品分布到植物的收获部分中去。

了解了光合产物——碳水化合物在整株植物中的分配情况,我们就有可能使更多的碳水化合物进入植物的收获部分。关于这个问题的重要性从下述事实中可以得到说明:过去几十年内小麦的增产跟同化产物分配入(partitioning)种子情况之(经验上的)改善是直接相关的。

人们已准备对同化产物分配(assimilate-partitioning)问题进行广泛的研究。同化产物包括蔗糖(光合作用的主要可运输产物),也包括其他化合物,如氨基酸及其他含氮分子。人们对蔗糖运输途径之最初的、生理及分子的理解包括:受ATP酶所驱动以便把蔗糖转移到植物循环系统的、与质子相偶联的蔗糖协同运输(proton-coupled sucrose cotransport)。人们还发展了关于为能量所驱动、把蔗糖输入种子的运送过程的相似认识。对于从叶子输送到种子的氮化合物,人们正在探索中。

现在在光合作用方面正在出现的一个巨大研究领域是搞清楚生物过程中的能量损失及这些损失与叶绿体中能源之关系。氮的固定、有效的矿质吸收及抗逆行为都有能量的损失问题。在这些过程中,盈利与成本的关系必须最适当才好。要做到这一点,就必须知道“完整植物如何处理这些相互关系”的化学及生理细节。要了解这个问题,从方法上看是可以或几乎可以办到的,所以现在要做的事只不过是要付出更大的努力去解决这种问题罢了。

矿质吸收、不足及过量

当作物与其土壤环境相互作用时,有许多矿质逆境会削弱其功能。尽管人们清楚地知道有这些逆境存在,但对它们的了解则相当肤浅。不过,为了深入研究这些问题,工具还是有的。现在人们已经知道有与矿质逆境起反应的单基因突变种,这种突变种有利于研究“作为与矿质有关的问题及其潜在解决方法之基础”的基本机制。在这个领域中日益增加的研究将提供

必需的知识,去改进处于受影响环境中的作物生产与效率。

必需的养分过少,有毒元素过多,某种养分在植物体内分布不平衡都会造成矿质逆境。人们经常要给农田土壤施入大量的必需养分,如氮、磷、钾,从而在金钱和资源上造成庞大支出。另外,某些土壤还缺少微量元素(如锌或硼)。一种养分的有效利用是一种分子被吸收、分配及最终利用的函数。现在人们对这些过程的理解充其量不过是一知半解罢了。尽管人们承认遗传变异在养分的吸收与利用方面起作用,但对它的了解还远远不够。虽然在文献中记录了不少有关养分利用的不同效率受单基因控制的例子(例如玉米及番茄对铁的利用效率),人们并不知道效率不同的原因,也不知道控制这种效率的单个或多个基因的性质。菌根联合在矿质营养中是重要因素,但在这些联合的性质及调节方面,还有很多问题尚待探讨(见讨论菌根时有关根际内有机体那一节)。

通过对养分利用较多的了解而得到的利益可分为两方面,即通过降低施肥量使目前生长在靠大量施肥(特别是氮肥)来维持的土壤上的作物具有更高产量,其次就是可以把农业扩展到缺乏必需元素的边陲土壤。要达到这些目的,可以发展能更有效地利用少量养分的基因型,或利用经过改良的管理方法,而这种方法可以通过对农业生态系统的营养方面之更深入的了解来得到。

在世界各地都有矿质毒害问题。在半干旱地区,盐碱化是一个严重的限制因素。在热带,铝是最有害的矿质毒物。全球可耕地之受盐碱化影响者约占30%,受铝毒影响者接近40%。在美国,盐碱化主要危害于西南,而铝毒则大部分肆虐于东南。

对于这两种主要的土壤毒害类型,需要类似的知识。一般说来,人们对这些有害影响干扰植物过程的基本机制懂得很少。就象对待营养效率那样,人们对忍受这些毒物方面的遗传差别很熟悉,但对其理解则极有限。人们曾为此设想出许多有关耐毒的机制。例如,根际影响、离子排出、螯合作用及区隔化(compartmentalization)是其中的几种。但是,为了弄清楚特殊的作物-离子结合(crop-ion combination)的关键机制,尚须进行广泛研究。有关耐毒机制的能量耗费问题则是另一个需要研究的方面。

在严重的矿质毒害中,盐碱化已经成为日益受到重视的研究课题。最近的遗传及生理方面的有关研究已获得有价值的成果。对铝毒(及热带土壤的有关逆境)的比较研究也将是有成果的。不过,当这些逆境的性质被彻底查清之前,在这两个领域内,还需要进行更广泛的研究。

有关矿质毒性的知识之应用,与有关矿质效率者类似。这类知识可被用来发展较能忍受这些毒害的新的作物基因型。这样的基因型可以在虽有毒害但又正在接受低成本耕作措施(如减少冲洗盐碱的用水及免

除铝毒的石灰)的土壤上获得高产。另外,这种基因型也可以使边陲土地投入生产,从而扩大了可耕地面积。新获得的知识还会改善栽培方法,而这些方法又可以推广到蒙受这些逆境威胁的地区去。

还有证据证明,作物的有些毛病出在其某种器官缺少某种养分(例如钙),尽管在该作物体内,该养分的总浓度是不缺的。新近的发现指出:钙营养与好几种对作物的重要影响起相互作用(例如,在贮藏期间侵害许多水果、根作物及蔬菜的大量生理毛病,就与钙的含量有关,而且钙也影响作物对盐碱化及铝毒的忍受性)。这些发现都强调在这个领域内继续进行研究的重要性。

生物固氮

有关生物固氮的研究正在化学、生化、遗传学、生物学及农艺学等方面取得飞速进展,而且这种进展还将继续下去。最近研究所取得的进展有如下数例:几种有机体的固氮结构基因的序列化;固氮调节基因的鉴定;藻类固氮基因的启动子状(promoterlike)序列与植物叶绿体的相似性之确立;固氮酶的钼、铁辅因子的描述;用非豆科树木对固氮小共生体(microsymbiot)的鉴定及象共生细菌Rhizobium被用来接种许多豆科植物那样,把此小共生体弗兰克氏菌(Frankia)用来接种树木;用固氮螺菌(Azospirillum)接种之后,在某些特殊地区作物的增产;固氮螺菌(Azospirillum)对营养离子吸收的促进,说明有可能改善作物对限制养分之挖掘;增加固氮量的苜蓿根瘤菌(Rhizobium meliloti)联合体之培育。

在提高作物产量方面,氮是一个主要限制养分,除了生物固定的氮之外,每年大约还要额外供应5千万公吨氮肥。据统计,根据目前的技术,到2000年,氮肥的供应量将要增加到一亿六千万公吨。对农业来说,用来开动农业机器的矿物燃料及用来建造肥料厂的资本将是主要的支出。如果有关生物固氮的知识增加了,并把这些知识应用到实践中去,就会降低氮肥方面的投资。极可能短期见效的例子有:更有效的根瘤菌(Rhizobium)接种技术;施肥后能增产的豆科植物,这样就能增加氮的收获指数;改进了的高能效根瘤菌(Rhizobium),它带有能重新捕捉作为固氮副产品的某些氢的基因;对禾谷类进行固氮螺菌(Azospirillum)接种,以便通过可能改进了的搜索养分能力而增产。较不可能的、中期见效的技术有:能形成对“大量固定氮的存在”不敏感的根瘤的根瘤菌(Rhizobium)及可以使接种简化的、混杂的根瘤菌(Rhizobium)。较带理论性的、长期见效的技术有:大量增加光合产物,以维持共生的固氮系统;寻找不需能耗(a zero-direct energy input process)就能合成氮肥的催化剂;创造有效的非根瘤菌固氮联合体;把“根瘤菌(Rhizobium)-豆科-型”共生扩展到非豆科

植物;把起作用的固氮基因直接转移到作物身上去。其中最后一个是遗传工程的最富有挑战性的目标之一。

人类对固定氮的大量需要,证明有关多样而交替的技术之探索是眼光独具的。

植物遗传工程

最初,把遗传工程技术应用到作物改良的最重要贡献,可能不是由于把特性进行叠接并再结合到作物中去,而是由于这些新工具具有巨大可能性使我们能较深入地了解植物的基础生物学。

遗传工程的工程要点在于生物技术的革新,这种革新使科学家可以把基因从细胞中以DNA分子的形式分离出来,并把它们叠接到其他细胞的DNA里面去。因为处于DNA形式的遗传信息对所有生物系统都是一样的,所以用细菌及病毒的DNA发展并论证的各种技术也适用于动植物的DNA。实际上,因为这种重新结合可以在分子水平上进行,所以遗传工程提供了一桩新技术去重新结合植物体内的遗传信息。对作物育种来说,遗传工程的这种新的生物技术是一个得力助手,因为到目前为止,作物育种已经由于与整个机体之操纵有关的局限性而受到限制。

鉴定和分离呈DNA序列状态的基因,对能被拼入活细胞的这个DNA之复制品(copies)进行无性繁殖,以及为了表现这个外来的DNA,都要付出巨大努力。已被证明是成功的、令人兴奋的进展有:植物基因的分离,根据DNA序列对它们的描述,通过无性繁殖对它们的复制以及把它们当作复制的外来DNA拼入其他植物细胞内部。很可能不需要很长时间,外来的、重新结合的植物DNA基因的表现将肯定会得到证实。

不管上述进展是多么重要,转移基因的遗传工程方法并不会轻易地取代也可用常规育种方法完成的遗传重组。如此说来,遗传工程对农业研究及作物改良的现实意义又究竟是什么呢?

首先,分子生物学及遗传工程技术已经为遗传特性的组织及功能提供了意想不到的细节和新的认识。调节基因及结构基因之间的关系之直接证明、在基因组内以高频率发生的DNA重复序列之出现、必须根据RNA副本进行加工的非编码序列(内含子)之存在,以及早些时候被认为是十分保守的基因组的惊人可塑性,都帮助并强迫科学家以新的方式去思考影响和控制遗传特性重组与表现的因素。大部分这些新知识只能通过与遗传工程有联系的技术之使用与分析才能得到。

至于谈到遗传工程直接应用到作物改良方面的问题,现在还不可能预期在不久的将来,对常规育种技术来说,遗传工程技术到底会有什么特殊的实际优点。把这种新技术应用到植物身上去在目前还处于相当原始的阶段;应用这种新的生物技术时,农作物到底会作出何种反应,现在尚难于逆料。不过,有一点看来是合情理的,那就是有一些特性受控于(当采用遗传

工程时)可以被成功地转移的单基因或基因小组。这种转移,也就是用常规育种方法无法达成的转移,包括无法杂交的植物之间或者甚至是植物与病毒或细菌之间的DNA交换。其最终结果就是扩大可用于作物改良的遗传多样性。对于那些能转移抗除莠剂性、抗某些病害性或忍受不良土壤条件(如矿质缺乏或过量)性的单基因特性来说,这一点看来是最有可能的。不过,简单抗病特性的遗传工程转移看来是不实用的,因为病原体会迅速重新获得对付单基因抗性的毒性。

把遗传工程应用于植物改良规划的一个主要可靠处在于这个事实:栽培作物的产量及许多优良性状均取决于多基因系统,在这个系统中基因会起累加的及上位的(additive and epistatical)相互作用。上位基因会改变其他非等位基因的表型表现。在目前,还没有搞清楚多基因系统的功能控制。看来,当今的遗传工程技术还无法替这类复杂的多基因系统找到为发挥其最有效的功能所需的最适点。不过,基因表现的分子研究很可能极有助于获得有关这些多基因系统功能的知识。

人们知道,协调调节基因(coordimately regulated genes)的有些组别是在多基因家系(multigene families)中被组织的,就象在某些种子中控制贮藏蛋白质合成的那些组别那样。对这种基因所编码的生化功能的了解,看来是“增加被这些多基因系统所决定的特征”的能力之先决条件,尽管这种工作是相当艰巨的事业。

通过几种植物细胞培养技术,可以产生新奇的遗传变异性。通过植物细胞培养中的突变种选育,人们已经育出了许多令人感兴趣的新基因型,尤其是在抗除莠剂方面。这种突变种不但在农业生产方面有用,亦可作为用于其他遗传及分子研究方面的高度可挑选的标志(marker)。在甘蔗的情况下,体细胞无性繁殖变异(somaclonal variation)(有时从培养细胞中再产生的植株中可以观察到的非选择性基因型变异)已经提供了有价值的新种质(new germ plasm),对其他作物也是这样。现在人们对体细胞无性繁殖变异的基本原理尚不了解,对此现象的进一步研究,有可能圆满解答有关植物基因组性质的许多问题。

与基因转移对比,从技术上说,突变种选育与体细胞无性繁殖都是比较简单的过程。所需的技术较不复杂,并可避免从外部植入基因时所发生的困难。对某些育种目标来说,这两种过程是得到所希望的变异性的、为人所偏爱的方法。

与传统育种相比,对新遗传技术潜在贡献的评价

将随作物的种类而异。对某些主要的农作物来说, 非常高级而有效的传统育种技术还是存在的。但是仅用传统遗传方法去改造某些重要作物还是很困难的, 因为它们很难或不可能进行有性繁殖(如甘蔗、香蕉、竹子), 或因为在它们的生活史中, 要到达繁殖期需要很长的时间, 对大多数木本多年生作物来说, 情况就是这样的。对这些种来说, 实际上连简单的改良也达不到, 但通过遗传工程及植物细胞培养技术则可以达到。

遗传工程的成功应用将产生从前不能利用的、具有所需遗传变异性的新资源, 而这种资源可以通过常规育种技术加以利用。它极有可能为我们提供“通过诱发突变种或同一作物品种的外来品系都不能获得的”遗传变异性。所以应当鼓励常规育种科学家与遗传工程科学家之间的接触, 因为这样做便于他们交换主意与材料。也要记住, 即使对那些已经用植物育种方法显著增产了的许多作物来说, 通过常规作物育种也还可以进一步提高它们的产量。另外, 人们现在还正

在为常规育种方法寻找新的辅助技术, 如马铃薯(*Solanum*) 种的减数分裂突变型(meiotic mutants) 的利用就是一例, 由于采用了这种突变型, 就产生了不减数配子, 这种配子有助于带有不同倍性(ploidy-level) 的马铃薯种之间的杂交。

最后, 我们必须强调遗传工程各个领域中的研究的不可预测性(unpredictability) 之积极方面。不可预测性是一切发现的本质之一部分。一百年前, 没有一个人曾预料到今天美国的农业情况, 因为无人曾预料到有助于产生这种情况的科学进步。随着研究工作沿着有时可以预料有时又不能预知的道路奔驰时, 通过遗传工程的进步而获得的新知识, 与不可预见的因素(factor of nonpredictability) 在一起, 也会在现代农业中导致重大的新发展。由于积极开发这些新研究工具而获得的植物生物学知识, 就其本身来说就是一个有价值的目标。

(张永平译)

计算机在设计与制造中的应用

COMPUTERS IN DESIGN AND MANUFACTURING

摘 要

美国未来的工业生产率的增长, 从根本上说将取决于全国在计算机用于设计与制造中的研究是否能取得丰硕成果。专家小组指出, 虽然这个领域中的科学知识有了令人瞩目的明显增加, 但中心问题还是这方面的知识异常缺乏。在过去的十年中, 各大学以有限的资源作出了重要的贡献。

这个领域中的首要问题是通过政府对基础研究的支持, 建立一个真正第一流的研究团体。专家小组选出了对这个领域会有重大影响的五个关键研究范畴如下:

1. 几何形状模拟和分析;
2. 设计与制造中的人-机接口;
3. 以知识为基础的技术或专家水平的技术;
4. 信息管理;
5. 制造用的设备和计算机。

第二个重点是对大学教育进行规划, 以加强美国的长期技术优势。

导 言

虽然计算机在设计与制造中的应用是比较新近的

事, 但计算机技术的发展和生产率以及质量提高的前景激烈地改变了我们能够借以设计和制造各种产品的途径。显然, 与计算机在工厂生产中的应用有关的问题走到了技术的前面, 影响到工业组织、管理和商业策略。计算机对包括管理人员、专业人员和工人在内的各级职工将产生深远影响。但本报告将只限于以下的内容: 如果美国要保持在设计与制造中有竞争力的地位, 它必须研究为扩大计算机应用的技术。

研究目标

不无过分简化之嫌, 我们可以把设计、制造和市场看作是从设想形成到交付产品整个生产过程的不可分割的三个组成部分。市场把所需产品的信息提供给工程设计部门, 而工程部门将产品定义数据转到制造部门。制造部门中的计划职能单位将产品定义数据即几何数据转换成工艺定义数据——有关制造产品的说明, 然后将此信息转到工厂的加工现场。以计算机为基础的计划工作和管理工作, 直接订出进度计划并监视制造过程以及根据设计要求保证产品的质量。

对设计与制造中应用计算机的研究, 必然要对产品定义、工艺定义以及有关的商业数据等全部数据的建立、分析、转移和管理全面自动化所需的原理有所了解。这将最终取计算机一体化系统的形式。此目标的一个必然结果, 是使对应于这些数据的物理过程自