

《海纳百川·藏书博览》

简装书库·自然科学总论

（理论、现状及发展）

百名院士科技
系列报告集
（下）

02

上海市黄浦区教育信息中心

节水农业的研究与实践

山 仑

中国科学院、水利部水土保持研究所

山 仑 作物生理学和作物栽培学专家。1933 年 1 月 19 日生于山东龙口。1954 年毕业于山东农业大学。1962 年获前苏联科学院植物生理研究所生物学副博士学位。曾任中国科学院西北水土保持研究所副所长，现任该所学术委员会主任、研究员。1995 年当选为中国工程院院士。主要从事旱地农业方面的研究。

一、节水农业在我国国民经济 持续发展中的地位

水资源紧缺已是一个全球性问题。我国年水资源总量约为 2.8 亿 M^3 ，居世界第 6 位，但人均、亩均水资源量仅为 $2730M^3/人$ 和 $1870M^3/亩$ ，分别为世界平均水平的 25% 和 76%。我国不但水资源贫乏，而且分布很不平衡：81% 的水资源集中分布在长江流域及其以南地区；长江以北地区人口占全国的 45.3%，耕地占全国的 64.1%，但水资源量仅占全国的 19%，人均占有量为 $517M^3$ ，相当于全国人均量的 1/5，世界人均量的 1/20。因此，我国水资源问题主要在北方，该地区的供水危机正在变成一个比以往任何时候都更加现实的问题。联合国粮农组织最近也特别指出中国北方、印度南方和墨西哥部分地区缺水的严重性。

我国每年用水总量约 5000 亿 M^3 ，其中农业用水占到 80% 左右，而一些发达国家农业用水比例仅为 50% 左右，如北美和美洲中部农业用水占 49%，一些欧洲国家农业用水仅占 38%。

目前我国 600 多个城市中有 300 多个城市处于缺水状态，其中严重缺水城市 110 多个。80 年代以来，全球气候变暖趋势明显，我国北方干旱加剧，农业受旱面积 50 年代年平均 1.7 亿亩，80 年代扩大到 3.5 亿亩，90 年代以来扩大到 4 亿亩。今后，随着工农业生产和城市的发展，将进一步加剧水的供需矛盾。如何解决这一问题？专家们一致的意见是：一是节水，二是调水，而节约利用和保护好水资源则应作为解决当前水资源紧张的首要途径。

农业是用水大户，农业用水主要消耗于灌溉。我国目前灌溉面积已达 7.4 亿亩，居世界首位，占全国耕地面积的 48%，但灌溉水利用率很低，只有 40% 左右，一些发达国家可达到 80% 以上，说明浪费严重；另一方面，我国灌溉水利用效率也很低，每立方水生产粮食不足 1 公斤，不到发达国家的一半，说明远未做到科学用水。因此，推行节水农业是十分必要的，应视为解决我国当前用水紧张的主要出路。

发展节水型农业已是势在必行，但如何看待其所处地位和作用？我认为，在保持农业以正常速度增产的同时大幅度地节约农业用水应作为一个总的目标。所谓“大幅度”或“大规模”的节约农业用水，其主要着眼点是把农业用水总量、包括农业用水在整个用水中的比率降下来，譬如降到全国整个用水量的 65% 以下，而不仅仅局限于灌溉水利用率和利用效率的提高。要

做到这一点仅靠改进输水技术、灌溉技术及灌溉制度是不够的，而必须立足于系统科学技术的运用，整个农业用水制度的变革，乃至农业用水指导思想的转变。譬如，我国灌溉面积今后应尽量扩大、还是适度扩大？主要靠兴建新的灌溉工程来扩大、还是主要利用现有设施通过节水来扩大？以及新建灌溉工程基于什么原则、节水与增产如何有效结合等，都是需要加以认真探讨的，但不管采用哪种办法，都应以保持整个水资源的可持续利用，区域水资源平衡，以及农业、工业、生活用水的最佳组合为前提。随着工业和城市的发展，一个时期内压缩农业用水比例将是不可避免的，对此虽有不同看法，但客观上这毕竟是推行节水农业的后果之一。

如上所述，节水农业的推行不单是一个技术问题，也不限于解决农业问题本身，它对于缓解全社会水资源紧张状况，促进整个国民经济持续、稳定发展都将起到重要作用。因此，发展节水农业具有战略意义，它是我国农业发展具有长远意义的正确选择，故应作为一项长期坚持的政府方针。下面，仅从科学技术角度，就节水农业的有关问题作进一步的介绍和讨论。

二、节水农业研究状况和问题

（一）节水农业概念

节水农业系指充分利用自然降水和灌溉水的农业。节水农业研究要解决的中心问题是如何提高农业生产中水的利用率和利用效率，即：在灌溉农业中如何做到在节约大量灌溉用水的同时实现高产；在旱地农业中力求增加少量供水以达到显著增产。在此需要强调一点：节水农业非单指节水灌溉，而应理解为在农业生产过程中的全面节水；充分利用自然降水和节约灌溉水同样重要，对雨水未做到有效利用也是一种浪费。结合我国北方情况，节水农业包括以下三种类型：

1. 节水灌溉农业。一般指为节约水资源，尽量减少水库和灌溉水运输过程中的水分渗漏和蒸发，同时根据作物需水规律，不断改进灌溉技术，减少灌溉定额，以实现高产的一种灌溉农业类型。

2. 有限灌溉农业。在缺水地区利用灌溉仅能满足作物对水分部分需求的一种补充供水方法，被视为旱地栽培与有限供水结合的一种作物管理制度。

3. 旱作农业。在无补充灌溉条件的地区，高效利用自然降水（包括通过集水措施）以达到有限增产的农业，亦视为节水农业的范畴。

其中，有限灌溉农业是当前发展节水农业的一种新趋向，在科学技术不断进步的基础上，如能做到对灌溉水的定时定量精确控制，则有限灌溉将成为未来农业供水的一种主要方式。不管哪种节水农业类型，其共同的目标是提高水的利用效率。具体而言，是要最大限度地提高下述比率，即：土壤储水量/降水量（灌溉量），耗水量/土壤储水量，蒸腾量/耗水量，生物量/蒸腾量，经济产量/生物量。这几方面可以作为当前节水农业所面临的研究任务和要解决的实际问题。

（二）节水农业研究的若干问题

节水农业的基础和应用研究是当前国内外农业、环境、水利、气象、生物等学科的一个研究热点。目前，在我国国家科技攻关和重大自然科学基金中都列有节水农业方面的项目。许多省区也都根据本地区实际需要积极组织力量开展这方面的试验与示范。这说明，研究与推行节水农业已受到各级政府的重视，这一点是十分重要的。下面，在分析国内外节水农业基础和应用

研究已取得进展的基础上，就几个主要问题谈谈我们的认识。

1. 关于农田灌溉原则

在水分条件与产量形成的关系上，长期以来存在着两个观点：一种认为，任何时期、任何程度的水分亏缺都将造成作物产量降低，为要获得高产，整个生育时期都必须保持充足供水；另一种观点则认为，充分供水与适度控水交替对产量更为有利。在经历了 50 多年的研究与实践之后，这一问题已基本明确，即后一种看法是正确的、有利的。据已有资料，湿润与适度干旱交替的供水方法利于节水增产的生物学依据可简要归结为：（1）不同作物不同生育时期对干旱的敏感性不同，这为水的合理调配和选择关键供水期提供了根据；（2）水分亏缺对与产量密切有关的各个生理过程的影响程度和顺序不同，如：干旱对禾谷类作物不同生理过程影响的先后顺序为：生长-气孔-蒸腾-光合-运输，据此提供的参数，结合计算机和自动化控制技术的运用，使田间精确灌溉成为可能；（3）干旱缺水对作物的影响有一个从“适应”到“伤害”的过程，不超过适应范围的缺水，往往在复水后，由于产生了生理上的补偿效应，对以后的生长更为有利；（4）作物水分利用效率的高值往往是在中等供水条件下、而不是在充分供水条件下获得的。基于以上分析可以得出这样的认识：干旱不总是降低产量，一定生育阶段的有限水分亏缺反而对许多作物的经济产量增加有利。80 年代以来，这一认识在田间试验和生产实践上已不断得到验证。首先在果树栽培上，一项得到较广泛应用的技术是：通过在春季限制对果树的灌溉，使其营养生长受到抑制，冠层变小，利于密植，结果期提前，修剪量也下降；进入夏季后恢复供水，利于生殖期生长，促使果实迅速膨大。由于密植，且单株产量不降低，故总产量显著提高。在大田作物生产上也有不少成功的实例，如美国中西部大平原实施有限灌溉收到良好效果。在平均年降水量 480 毫米地区，在谷类作物授粉期和灌浆期进行每亩 100M^3 的有限灌溉，使产量提高 60%—120%，显著提高了灌溉水利用效率；同时还证明：在作物生长初期，中等水分亏缺只产生较小的副作用，可使产量达到充足灌溉的 85%—95%。中国农大在河北的一项试验表明，改冬小麦生育期灌三次水为春浇一次，合每亩少浇水 100M^3 ，亩产达到 400 公斤，他们认为其主要技术关键在于通过综合农业技术建立了将小麦生长期耗灌溉水为主转变为耗土壤水为主的新型耗水结构，从而更新了当地“头水旱，二水赶，三水四水紧相连，一直浇到麦开镰”的小麦耗水观念。我们在年降水量 400 毫米年均气温 6.5 的宁夏固原的试验表明，春小麦拔节期每亩一次灌水 40M^3 ，为产量最高时灌水量的 30%，而产量达到最高产量的 75%（261 公斤），每立方水增产粮食达 2.8 公斤，这是一个很高的数值。兰州大学干旱生态实验室在甘肃定西的试验结果：正常降水年份每亩补灌 $50\text{--}60\text{M}^3$ ，可基本解除春小麦的水分胁迫，最高亩产达到 400 公斤。

以上提出的论点和实验、实践结果皆说明，姑且不论水在开发、调度、蓄存、输送中，以及田间流失、蒸发、渗漏中的浪费和损失，仅就农作物本身的实际需水而言，通常的供水量也过多了，现行的灌溉定额有可能大幅度地降下来。当然，灌溉原则的制定，包括灌溉工程建设和灌溉制度的确定，不仅取决于作物本身需水特性，也取决于其他许多因素，如环境、经济效益等，但这些因素的正面效应也往往体现在减少灌溉量上，因此，从节水增产目的出发重新评价和调整现行的灌溉规划和灌溉制度是有必要的。

2. 关于雨水利用潜力

不论是旱作农业还是灌溉农业，提高雨水（降水）的利用率和利用效率都是十分重要的，这是节水增产的基础。

在旱作低产条件下，一般对雨水的利用很不充分。在美国中西部大平原，30年代时亩产约74公斤，休闲期水分贮存率仅占降水的22%，到了80年代亩产180公斤，水分贮存率提高到40%，仍有潜力可挖。70年代我国北方典型旱区降水生产潜力开发程度不足40%，现在，一些地方已提高到55%左右，亩产达到180公斤左右。我们在宁夏南部山区多年定点观测结果：在年平均降水量450毫米条件下，春小麦亩产在50—150公斤范围内波动，而耗水量变化不大，保持在280毫米左右，相当于降水量的62%。以上情况说明，提高农田雨水利用率存在很大潜力，半干旱地区旱地粮食产量低下的主要原因不是降水不足，而是对雨水未能有效利用。为要提高对雨水的利用必须采取包括防止水土流失、抑制土面蒸发、增强对土壤深层储水利用以及提高作物水分利用效率（WUE）在内的综合技术途径。例如在黄土高原，兴建以水平梯田为主的基本农田，实施水土保持耕作，采用抗旱节水品种和增施肥料等都是些提高雨水利用的有效措施。特别是增施化肥，是1980—1990十年间该地区旱地粮食增产一倍，即由低产接近中产的关键技术，在增产各因素中其作用占到一半，且在我国广大北方旱农地区得到广泛应用，并由此带动了水肥关系的深入研究，证明了低产条件下化肥在提高农田雨水利用率和利用效率的重要作用。

但是，运用上述以增施化肥为主的旱作技术体系所能达到的产量上限为中产，如对宁南地区春小麦来说是180公斤左右，为使产量继续提高，或避免在严重干旱年份大幅度下降，则必须寻求新的技术途径。这里有两条途径可供选择：一是着眼于提高作物水分利用效率（WUE），这方面仍有较大潜力（如通过培育抗旱节水品种，应用化学调控等），但难度大，短期内难以突破；二是着眼于雨水资源的进一步开发，即雨水不仅就地入渗利用，而且作为可开发利用的水资源看待，使雨水资源化，如在黄土高原地区利用地形地貌的有利条件发展集水农业进行补充灌溉即为一种成功的做法。所谓集水农业系指把有效的雨水通过工程措施富集起来，再运用节水农业措施加以高效作用。如宁南山区平均年降水量450毫米，全区雨水资源总量达87亿 M^3 ，是传统水资源总量5.38亿 M^3 的16.2倍，潜力巨大。近年来，他们通过发展窑窖农业——集水农业的一种形式，在需水关键时刻进行补充微灌，对抗旱增产起到重要作用。因此，通过集水农业的实施可使雨水利用潜力增大，并促进旱地农业步入一个新的发展阶段——旱作与有限补充供水相结合的阶段。

如上节所述，成功的灌溉农业也必须同时考虑对雨水资源的有效利用，即做到在最大限度利用雨水的基础上进行补充灌溉。我们的一项试验表明，随着灌水量的增加，作物对雨水的利用随之减少；另外，同样对春小麦补充灌溉40 M^3 /亩条件下，在需水临界期拔节期灌溉的处理，较其他时期灌溉的产量提高了23%—43%，对土壤储水的利用提高了62%—161%，灌溉水利用效率也显著提高，说明在科学用水的前提下可以同时做到减少灌溉量，增加对雨水的利用率，从而实现节水增产的双重目标。

3. 关于加强节水农业综合技术研究

节水农业技术包括工程、农业、生物等几个方面，必须综合利用才能收到大的成效。工程节水技术既可起到明显的宏观调水蓄水和传输节水作用，

也可以直接发挥其节水增产作用；农业节水技术与农业生产过程紧密联系在一起，投资少，易于推行，可以在较大范围内起作用；生物节水技术是按照作物需水规律制定的，其主要作用是提高蒸腾水的利用效率，同时也是采取相应工程和农业节水措施的依据。在节水农业的不同发展阶段上述技术的应用主次是不同的。工程节水技术虽然造价高，但由于技术规范，作用显著，不同国家开始推行农业节水阶段总是处于主导技术地位。例如，以色列在节水灌溉农业方面已取得举世公认的成就，经过 40 年的努力，农业总产值增长了 16 倍，灌溉水利用系数已接近 0.9，单方水生产效率达到 2.32 公斤/亩。他们认为取得这一成就的技术原因有三：第一，国家引水工程的建造；第二，灌溉设备的现代化，现全国实现了灌溉管道化，田间灌水 90% 以上采用滴灌和喷灌技术，并发展自动化灌溉系统和先进的环境保护耕作系统，自动化灌溉系统采用计算机控制，能在不同条件下按要求进行程序灌溉，以节约用水；第三，农业内部种植方式的变化，即相当面积大田作物转变成经济价值更高的园艺作物。目前，他们认为进一步提高灌溉水利用系数与大幅度增加蒸腾蒸发比率的潜力已很有限，今后节水的关键在于提高蒸腾水的利用效率，现已开始致力于这方面的研究。我国国情与以色列等国有很大不同，实施节水农业技术更应当注意综合。据统计，我国各地节水灌溉面积已有 2 亿亩，多数属于推行渠道防渗、管道输水、喷灌、滴灌等工程节水型的。由于成本高，短期内难以更大规模发展，故对于覆盖、水土保持耕作、调整作物布局、选用节水品种等农业节水技术也不应忽视，两者结合则可产生更大范围的实际效果。生物节水技术是进一步实现节水增产的潜力所在，现在起也要重视研究。总之，我们应当把节水农业作为一项系统工程进行综合研究，将工程、农业、生物技术结合起来，从水的开发、蓄存、输送、保持、直至高效利用，形成一个综合完整的体系，以推动我国节水农业技术向更高水平发展。

三、协调各方力量，以建立节水型 农业体制为主要目标

诚然，节水农业研究是其实施的基础，但是，“实施”要比“研究”复杂得多。如上所述，节水农业是一项复杂的系统工程，综合性很强，它的实施不仅仅是一个科学技术问题，同时关系到一系列社会问题。

近年来，发展节水农业的呼声很高，但实际进展不是很快，目前正在全国推行 300 多个节水示范县，但多限于应用一些单项节水技术。另外，一些先进的节水技术，如喷灌、滴灌等，其推广应用除了受经济成本的限制以外，也与当前生产方式、生产关系之间不相协调，如农业用水投入报酬率低，管理水平低，经营规模小，以及农业结构没有作相应调整等，致使一些地方推广应用后也难以坚持下来。根据这一情况，要实现大规模、大幅度地降低农业用水的要求，在推行行之有效的实用技术的同时，必须致力于建立一个以提高水分利用效率为中心，以减少农业用水总量并保持正常增产速度为目标的节水型农业体制。现就建立这一体制的有关问题谈谈看法。

1. 所谓节水型农业体制主要包括：在进行农业水资源数量、质量、时空分布的调查和评价基础上制定农业节水区划；根据水资源状况进行农业结构和作物布局调整，确立节水型种植制度；大力推行各类节水技术并进行配套组装、明确关键技术；组织节水材料、机具的研制、生产、供应与维修；制定节水管理政策，建立、健全有关法规；加强水资源是一种有限资源的宣传

教育，增强人们的节水意识。

2.科技立项，组织攻关。针对上述问题组织各部门多学科力量进行联合科技攻关。我认为，科技攻关要以集成现有科技成果为基础，主要攻关目标是：肯定并新提出一批节水增产效果显著的关键技术；在不同类型区建立一批包括节水灌溉、有限灌溉和旱作农业在内的节水农业的实体；为国家全面推行节水农业提供决策依据。其中，最后一条应作为科技攻关要解决的主要问题。

3.科技攻关仅是建立节水型农业体制过程中的一个步骤，为使科技成果在大范围内应用，达到产业化和更新用水观念的目的，还必须与其他环节相衔接。节水农业推广的对象是千家万户，组织起来实施才会见大成效；节水农业体制的建立与多部门及整个农村工作有关，必须统一安排，紧密配合。因此，推行节水的关键是政府意志，开始时不宜过多强调市场导向。为此，建立推行节水农业的综合部门和研究中心是必要的。

4.建立节水型农业体制是农业生产与技术的一大变革，不是短时期能够实现的，必须长期坚持，建议通过科技经济一体化的道路加速这一进程。在科技经济一体化的框架下进行建立节水型农业体制的研究，可使研究与实施、科技与经济紧密结合起来，科研工作中存在的诸多问题，如研究工作的社会经济目标、成果转化、资金来源等也可以得到较好解决。

随着节水农业的兴起和节水型农业体制的建立，我国的农业生产将会出现一个可持续性增强的新局面，而北方地区水资源的紧缺问题也将得到相当程度的缓解。

我国农业生产的 问题、潜力与对策

李振声

中国科学院

李振声 遗传学家。1931年2月25日生于山东淄博。1951年毕业于山东农学院。历任中国科学院西北植物研究所研究员、副所长、所长，中科院西安分院院长及陕西科学院院长、中科院副院长、第三世界科学院院士、中国遗传学会理事长、中国科协副主席。1991年当选为中国科学院院士（学部委员）。长期从事小麦遗传育种研究。

一、我国粮食生产发展的回顾与供求简析

（一）粮食生产发展的四个阶段

回顾44年我国粮食生产的增长过程，大致经过了四个阶段，跨上了三个半台阶，每个台阶粮食总产约增加2000亿斤。

1949年至1958年为第一个台阶，粮食总产由2264亿斤增加到4000亿斤，9年间增加了1736亿斤，年均增长193亿斤；单产由137.26斤增至218.96斤，增长59.5%。这一阶段的粮食总产和单产的增长，主要是由于扩大粮食播种面积（1949年16.4938亿亩，1958年为19.1426亿亩）、增施有机肥料和推广良种等取得的。

1958年到1978年为第二个台阶，粮食总产由4000亿斤增加到6095亿斤，20年增加了2095亿斤，年均增长105亿斤；单产由218.96斤增至336.96斤，增长54.1%。在这一时期内，粮食播种面积由19.142亿亩减少至18.0081亿亩，提高单产是粮食总产增加的主要原因。增产的措施主要是依靠扩大灌溉面积（灌溉农田占农田总面积由30.67%增长到45.24%）、增加化肥投入（由54.6万吨增至884万吨）等。

1978年至1984年为第三个台阶，粮食总产由6095亿斤增至8146亿斤，6年总产值增加2051亿斤，年均增长342亿斤；单产由336.96斤增至481.08斤，增长42.8%。粮食播种面积由18.0081亿亩减至16.9326亿亩，而粮食总产突破了八千亿斤大关。其主要原因是，家庭联产承包责任制极大地调动了农民的积极性，化肥投入的成倍增长（从800万吨增长到1739.8万吨）和推广了矮秆小麦和杂交水稻高产品种等。

1984年至1993年，粮食总产由8146亿斤增至9129亿斤，9年总产增加983亿斤，上了近半个台阶，年均增长109亿斤，单产由481.08斤增至551.27斤，增长14.6%，年均亩增粮7.8斤。此阶段粮食播种面积继续下降，由16.9326亿亩降至16.56亿亩，已接近解放初期的水平；此阶段化肥产量仍大幅度上升，由1739.8万吨（折纯）增至3156.3万吨，增长81%；而粮食只增长14.6%，化肥增产率锐减，粮食年增长速度变缓。

我国粮食供求关系的简析：为了弄清近十年粮食生产增长缓慢对供求关

系产生的影响，我们将粮食增长与人口增长联系起来，以 1984 年为基准，划分为前 35 年和后 9 年两个阶段进行供求关系比较，结果发现，前 35 年粮食增长速度大于人口增长速度（粮食年均增长 7.42%，人口年均增长 2.46%），后 9 年人口增长速度超过粮食增长速度（人口年均增长 1.51%，粮食年均增长 1.34%）。考虑到我国人口仍在继续增长，估计 40 年后将达到 16 亿，今后半个世纪农业生产发展缓慢、农产品供求紧张将始终是一个十分严峻的问题，必须认真研究，采取坚决而有效的措施，尽快努力扭转与解决。

（二）近十年内我国粮食增长缓慢的原因与后果

从上述分析可以看出，当我国粮食生产登上第一个台阶时，粮食年均增长为 193 亿斤；第二个台阶时，为 105 亿斤；第三个台阶时，为 342 亿斤；而到第四个台阶时，年均增长量下降到 109 亿斤，与“文革”期间的增长速度相近。其缓慢增长时间已延续十年之久，原因何在？为了查明近十年粮食增长缓慢的原因，通过 1949 年至 1993 年我国粮食生产的区域分布与变化，特别是 1978 年至 1984（我国粮食高速增长时期）和 1984 年至 1993 年（我国粮食缓慢增长时期）粮食增长与主要生产要素的动态变化研究，我们发现：

1. 南北对比，过去十年，我国粮食增长缓慢的地区主要在南方

为了便于分析与说明问题，我们按行政区划与自然区划相结合的原则，将我国 30 个省市（注：统计单位为 29 个，广东与海南未分开）划分为东北、华北、西北、西南和东南（包括长江中下游和东南沿海）五个地区，又将五个地区分成南、北两大片；对 1949 年至 1958 年（第一个台阶），1958 年至 1978 年（第二个台阶），1978 年至 1984 年（第三个台阶）和 1984 年至 1993 年（第四个台阶）的粮食增长情况进行了统计分析，发现前三个时期（台阶），南方片粮食增长占全国粮食增长总量的比例较大，分别为 58%，59.8% 和 59.5%，其增长率接近 60%；北方片增长的比例较小，分别为 42%，42.2% 和 40.5%，略高于 40%。因此，1984 年以前我国粮食地区间调节一直是南粮北调；而 1984 年以后却发生了转折性的变化，北方片的粮食总产猛增，占全国增量的 97.5%，南方片下降到 2.5%，并随之形成了北粮南运的新流向。

在南方片中，西南地区粮食增长幅度呈缓慢下降趋势；而东南地区则呈现出急剧下降态势，十年间粮食总量不但没有增长，反而减少了 79.7 亿斤。

2. 东南地区粮食总产下降原因有三

第一，耕地面积减少

从全国各地耕地面积增减统计分析可以看出：1984 年至 1993 年的九年间，东南地区的耕地面积减少 1809.5 万亩，为同期全国减少耕地面积的 43.8%，年均减少耕地 201.1 万亩。东南地区的复种指数平均为 210.5%，减少 1 亩耕地，等于减少了 2.1 亩的播种面积，因此耕地面积减少是东南地区粮食总产滑坡的主要原因。

第二，粮食播种面积急剧下降

从粮食播种面积及年度间区域增量分析看出，1984 年至 1993 年，东北、华北、西北和西南四个地区的粮食播种面积分别增加 272 万亩、1226 万亩、146 万亩和 608 万亩，而东南地区粮食播种面积减少 5383 万亩。按 1984 年粮食平均单产 592.2 斤计算，仅减少粮食播种面积一项就使东南地区粮食总产减少了 318.8 亿斤。

1984 年至 1993 年的九年间，东北、华北、西北和西南地区的耕地面积虽有不同程度的减少，但由于复种指数的提高，均扩大了粮食播种面积，因

而保证了粮食总产的持续增长。虽然东南地区也提高了复种指数（6.6%），但因其并未用于发展粮食生产，因此仍未扭转粮食播种面积剧减的状况。

第三，粮食单产增长幅度减小

从 1978 年至 1984（简称前六年）与 1984 年至 1993 年（简称后九年）年均粮食单产的增长量可以看出：后九年，各地区均呈下降趋势。其中东南地区下降幅度最大，前六年每亩年增产 28.4 斤，后九年每亩年增产 5.1 斤，相差 23.3 斤，因此该地区后九年累计每亩增长粮食仅 46.3 斤。由于粮食单产增长幅度的显著下降，因而使东南地区难于依靠提高单产来补偿粮食播种面积减少所造成的巨大损失。1993 年东南地区因单产提高而增加的粮食总产量（238.9 亿斤）低于粮食播种面积减少而造成的减产量（318.8 亿斤），因此该区粮食产量减少了 79.7 亿斤。

3. 粮食增长缓慢引起的后果

近九年来，由于粮食增长速度落后于人口增长速度，结果我国人均粮食占有量从 1984 年的 780.6 斤下降到 1993 年的 770.3 斤，减少了 10.3 斤。如果将 1978 年至 1984 年与 1984 年至 1993 年的情况相比，就更可看出问题的严重性，前六年人均粮食累计增加了 127.4 斤，而后九年却减少了 10.3 斤。

就全国五个地区的人均粮食的占有量而言，1993 年还有三个地区不足 800 斤（西北 716.2 斤、西南 661.3 斤、东南 734.4 斤），一个略高于 800 斤（华北 805.3 斤），仅东北地区人均粮食达到 1169.8 斤，按当地人均消耗粮食 800 斤计算，东北地区除当地消耗外，可以向其它地区调剂的粮食总量只有 378.6 亿斤。

二、新增 1000 亿斤粮食的潜力分析

（一）新增粮食潜力分析的依据

1987 年当我国粮食出现三年徘徊时，我们曾做过在 8000 亿斤基础上增产 1000 亿斤粮食的潜力预测。预测的依据是自然条件、生产水平、可能的投资强度与效益以及我院各试验基地的研究资料等；预测的指标是黄淮海地区可增产 500 亿斤，东北 300 亿斤，西部与南方各 100 亿斤。到 1993 年实现了增产粮食 1000 亿斤的目标后，我们将预测指标与实产数量进行比较，结果发现对黄淮海地区（京、津、冀、鲁、豫、苏、皖）的预测完全符合（504.8 亿斤），东北地区基本符合（233.4 亿斤），西北地区（陕、甘、宁、青、新）也基本符合（114.2 亿斤），而估计不足有两点：一是内蒙因扩大灌溉面积（扩灌 1074 万亩，占耕地 14.3%，总计灌溉面积达 33.9%）等增产 102.8 亿斤；二是南方地区因耕地与粮食播种的减少而减产。

为了提高在 9000 亿斤基础上再增 1000 亿斤粮食预测的准确性，我们在总结以往经验的基础上，调整了粮食预测的分区，增加了粮食增量的动态变化以及区域内粮食供求关系的分析等作为进行粮食预测的参数。

1. 粮食预测区域划分

以省（市）为统计单位，按自然条件的相似性，划分为东北（黑龙江、吉林、辽宁）、华北（北京、天津、河北、内蒙、山西、山东、河南）、西北（陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆）、西南（四川、贵州、云南、广西、西藏）和东南（上海、江苏、安徽、湖北、湖南、江西、浙江、福建、广东、海南）五地区。

2. 四个阶段、五个地区的粮食增量动态变化

四个阶段、五个地区的粮食增量动态变化如下表（单位：亿斤）：

3. 区域内粮食供求关系分析

考虑到地区间进行大量粮食调运的实际困难，三个人均粮食不足 800 斤的地区（西北、西南、东南）都必须尽力设法挖掘潜力提高本地区粮食自给率，其中特别是东南地区，1984 年人均粮食 861.5 斤，而到 1993 年下降到 739.4 斤，减少 127.1 斤。该地区人口总数为 4.4867 亿，如此大的人口数量和粮食缺口，如不在提高本地区粮食自给率上下功夫，而想依靠区间调运或到国际市场上购粮以弥补缺额是完全不现实的。

地区	1949 — 1958 (9 年)	1958 — 1978 (20 年)	1978 — 1984 (6 年)	1984 — 1993 (9 年)
东北地区	133.0	280.4	261.4	233.9
华北地区	361.8	630.0	414.0	589.4
西北地区	99.1	138.8	88.4	135.4
西南地区	256.8	374.2	253.4	104.5
东南地区	552.9	1053.0	867.9	-79.7

据世界观察研究所报告，自从 1980 年以来，世界粮食平均出口量为 2.03 亿吨（折合 4060 亿斤），还不到我国粮食总产量的一半。日本的粮食有 77 % 靠进口，亚洲四小龙的进口数量也不小，我国的粮食进口曾达到过 300 多亿斤，世界粮食市场已经没有多大的余地了。

（二）新增粮食潜力分区预测结果

根据 44 年间的五个地区粮食增长量的动态变化趋势、各地区生产现状、自然与社会条件以及有关资料的分析，对本世纪末全国各地区粮食的增产总量预测如下：

1. 预计东北地区（包括黑、吉、辽）可增产 250 亿斤

主要根据是，1958 年至 1993 年的三个阶段粮食总产增长均稳定在 250 亿斤左右，因此预计下一个阶段仍可按 250 亿斤的数量增长。本区尚有中低产田 1.7 亿亩，宜农荒地 5500 万亩；目前化肥用量（播种面积每亩为 23 斤）低于全国平均水平（28.4 斤）；有效灌溉面积占耕地总面积的 19.9%，还有较大发展余地。因此，如加大投入，预计仍可保持较高的粮食增长速度。

2. 预计华北地区（包括冀、鲁、豫、晋、蒙、京、津）可增产 300 亿斤

该地区粮食增产潜力虽较大，但不稳定，过去四个阶段增产幅度变动在 361.8—630 亿斤之间。同时考虑到该地区是我国棉花的主产区，为了确保棉花生产的发展，对粮食播种面积与增产的幅度不宜期望过高。其粮食增产潜力主要在于改造中低产田、开垦宜农荒地、发展节水农业、提高化肥利用率，高产区采用平衡施肥等。

3. 预计西北地区（陕、甘、宁、青、新）可增产 100 亿斤

西北地区四个阶段粮食增量变动在 88.4—135 亿斤之间。通过改造中低产田、扩大灌溉面积（大柳树、河西走廊、宁夏、内蒙沿黄灌区等）、增施化肥和保持水土等综合措施，粮食增产还有潜力可挖。因此，增产 100 亿斤是有条件实现的。

4. 预计西南地区（川、黔、滇、桂、藏）可增产粮食 100 亿斤

1984 年以后粮食增长缓慢，但该地区水热条件好，在提高复种指数（1993 年复种指数 196.2%）和单产方面仍有潜力，如坡地改梯田、旱田改水田、

培肥改土、增施化肥和推广良种方法等。

5.预计东南地区（沪、苏、皖、赣、浙、闽、粤、琼、鄂、湘）可增产粮食 250 亿斤

国务委员陈俊生同志在沿海发达地区粮食生产和适度规模经营座谈会的讲话指出“实现粮食供需平衡在沿海发达地区具有特殊的重要意义，必须牢固树立三个观念：沿海发达地区国民经济能否持续快速健康发展，主要取决于粮食供需平衡；全国粮食供需能否实现平衡，主要取决于沿海发达地区；全国市场粮价能否保持相对稳定，也主要取决于沿海发达地区”。这是完全正确的。该地区水热条件好，在提高复种指数方面尚有较大潜力（1993 年全地区复种指数为 210.5%，而江西省为 246%，高出 35.5%）；在提高粮食单位面积产量方面也有相当潜力（1993 年全区粮食平均亩产 638.5 斤，上海达到 771.1 斤，高出 132.6 斤），如果将以上两项的区域平均值提高到最高省（市）的平均水平，全地区尚有 1200 多亿斤的粮食增产潜力。但考虑到各省（市）经济与技术条件的基础与发展速度的差异，不可能同步发展，所以预计增产 250 亿斤是可能实现的。

综上所述，2000 年新增粮食潜力及供需状况的分区预测如下：

区域	1993 年粮食总产 (亿斤)	预计新增粮食产量 (亿斤)	预计 2000 年粮食总产 (亿斤)
东北区	1197.5	250	1447.5
华北区	2513.2	300	2813.2
西北区	598.4	100	698.4
西南区	1525.5	100	1625.5
东南区	3295.0	250	3545.0
合 计	9129.6	1000	10129.6

从上表中看出，到 2000 年预计可增加 1000 亿斤粮食，使粮食总产达以 10129.6 亿斤。但据估计到 2000 年可能接近 13 亿人口，按每人 800 斤粮食计算仍有 270.4 亿斤的缺口。这说明必须严格控制人口增长外，还需在开辟食物来源上另寻出路。

三、粮食增产的主要对策

为了将上述粮食增产潜力变成为现实生产力，实现粮食增产的目标，我们提出以下六项对策建议。其中第一项属于政策建议，其余为科技与投资方面的建议。

（一）将保护耕地和稳定粮食播种面积放在农业政策首位

江泽民总书记不久前指出：发展我国农业的指导方针除坚持“三靠”外，还要加两条，就是“还要靠保护，靠工作”（《大公报》，1994 年 11 月 14 日，二版，社评）。我们认为这两条是完全正确的。要保护首先就要保护耕地，这是我国农业与国民经济持续发展的根本所在。

为什么要把保护耕地和稳定粮田播种面积放在首位呢？因为在研究我国各省（市）人均粮食占有量与人均粮田播种面积时发现，自解放初到现在出现了三种不同情况的转折：

1.当我国粮食单产处于低水平时期（以 1958 年为例，粮食亩产 219 斤，

耕地亩产 311.3 斤)，人均粮食占有量与人均粮田播种面积成正比的相关关系（相关系数=0.6696，当 $r=0.1$ ， $N=29$ 时，相关系数临界值为 0.456）。即人均粮田越多，人均占有粮食越多。

2. 当我国粮食生产达到高速增长时期（以 1984 年为例，粮食亩产 481 斤，耕地亩产 709 斤）由于各省（市）间灌溉面积、化肥投入不平衡，粮食单产高低不等，拉开了差距，有的省人均耕地少，但粮食单产高，人均粮食占有量较多（浙江 1984 年人均耕地 0.68 亩，人均粮食 910.1 斤）；有的省人均耕地多，但粮食单产低，人均粮食也少（内蒙 1984 年人均耕 3.87 亩，人均粮食 559 斤），所以人均粮食占有量与人均粮田播种面积之间由正相关变为不相关（相关系数=0.2146）。

3. 当我国粮食进入缓慢增长时期（以 1993 年为例，粮食平均亩产 551 斤，耕地亩产 859.2 斤）由于灌溉面积、化肥施用量的不断增加和粮食单产水平的普遍提高，各省（市）之间粮食单产的差距逐渐缩小。此时人均粮田面积开始变为决定人均粮食占有量的主要因素，出现了人均耕地与粮田面积少粮食占有量也少（浙江 1993 年人均耕地 0.58 亩，人均粮食 673.3 斤），人均耕地多粮食占有量也多（内蒙 1993 年人均耕地 3.48 亩，人均粮食 993 斤）的新情况。两者在单产水平较高的基础上，又出现了正相关（相关系数=0.5696），这反映了在现有条件下，我国土地的粮食综合生产能力，已开始接近上限。当出现这种现象时，就必须认真研究找出影响产量提高的主要限制因素，并通过增加投入，改变生产条件或其它措施，从而打破这种限制，才能使粮食生产再登上一个新台阶。

鉴于上述，稳定并增加粮食播种面积，已成为当前实现我国粮食需求平衡的第一要素。因此我们认为，必须把保护耕地的方针放在农业政策的首位，认真从严执行。同时要大力宣传，使之形成保护耕地、珍惜寸土、人人有责的社会新风尚。

关于在有条件的地方进行适度规模经营的问题，国务院已有明确指示，我们完全拥护。

（二）继续实施中低产田治理与农业综合开发计划

在稳定耕地和粮食播种面积的基础上，加大中低产田改造力度，实行山、水、田、林、路综合治理，提高抗御自然灾害能力。过去六年，在国务院领导下，已经完成了两期工程，收到良好的经济、社会和生态效益。黄淮海平原和东北平原共治理中低产田 7575 万亩（黄淮海 5000 万亩，东北 2575 万亩），开荒 480 万亩（东北 380 万亩，黄淮海 100 万亩），新增粮食生产能力 200 亿斤（黄淮海 114 亿斤，东北 86 亿斤）。群众说，这是继联产承包责任制后，政府为农民办的第二件实事，有也人誉之为“第二次土地革命。”

（三）加速磷、钾肥生产的发展

在化肥施用水平较高的地区，尽快调整氮、磷、钾的施肥比例，推广平衡施肥技术。这可能是打破土地生产力上限的一项战略性措施，望有关部门予以足够的重视。据世界观察研究所报告：“世界粮食产量在 1950 年至 1984 年期间每年增长近 3%，而 1984 年以来，粮食增长率下降到 1%。这是因为即使增加化肥施用量，也不能再大大提高粮食产量”。

世界粮食发展动态与我国粮食发展动态基本相似，即 1984 年以后出现了粮食增长缓慢的情况。那么，随着我国化肥施量的提高，粮食单产发生了什么变化呢？我们分三个时期（化肥大量投入初期、中期与近期）、五个地区，

对每亩播种面积的化肥用量与每亩粮食单产的增长情况进行了分析：

1.在化肥大量投入初期（以 1978 年为代表，全国化肥投入总量为 884 万吨），五个地区粮食单产的变化均随化肥施用量的增加而增加，完全呈正相关。

2.在化肥大量投入中期（以 1984 年为代表，全国化肥投入总量达到 1739.8 万吨）；东北、西北、华北和西南地区的粮食单产，仍随化肥施用量增加而增加；而东南地区出现了较大的波动，已不完全随化肥使用量而增长。

3.在化肥大量投入的近期（以 1993 年为代表，全国化肥投入量达 3156.3 万吨）；在东南地区，已经明显地出现了世界观察研究所指出的增施化肥而单产不增加的趋势，除上海外，其它八省虽然化肥施用量不同，最低每亩折纯 21.9 斤（江西），最高每亩 45 斤（福建），相差一倍以上，但是各省的粮食单产却很相近（均变动在 600—700 斤之间）。其它地区，如东北仍保持着多施化肥多增产的趋势（注：东北地区的土壤有机质含量高，对作物需要的磷、钾等营养元素的补偿能力强），西北、华北和西南地区的多数省（市）也保持着多施化肥多增产的势头，但是其中少数省份已经出现了化肥增产效率下降的情况。

根据调查与试验结果认为，出现上述现象的主要原因，是由于我国生产与施用的氮磷钾肥比例不符合作物的需要，作物对各种营养元素是按一定比例吸收利用的，而且受其中的最小因素的制约，即当某种元素比例过低时就会影响其他元素的吸收利用。我国化肥的生产一直以氮肥为主，到 1992 年氮肥仍占肥料总量的 68.5%，氮磷钾比例为 1：0.31：0.12，而 1985 年世界销售的氮磷钾比例为 1：0.49：0.37，我国的磷钾肥比例明显偏低，在一些施肥水平较高的省（市）这已成为制约单产提高的重要因素。

我国北方土壤普遍缺磷，南方普遍缺钾，其中许多地方磷、钾都缺，因此我们建议，应尽早决策加速我国磷钾肥生产，以促进我国粮食生产再上一个新台阶。如北京市 1993 年的粮食亩产已达到 831.3 斤，除水利与机耕条件的配合外，重要的因素之一就是较普遍地施用了氮磷或氮磷钾复合肥。在南方地区，我院南京土壤研究所在太湖地区的试验表明，只要增施磷钾肥，适当供应氮肥（12 斤以上），双季早稻、双季晚稻、单季晚稻亩产均可达到 800 斤左右的水平。与此同时，还应大力提倡施用有机肥料，以改良土壤和补充磷钾等元素的不足。

此外，就全国大部分地区而言，在目前化肥供应比例的情况下，提高化肥施用水平，粮食单产仍有较大的增产潜力。

（四）改善和扩大灌溉面积，发展节水和生态农业

我国有效灌溉面积约占全国耕地面积的一半，其粮食产量占全国总产的 2/3。由于水资源不足或利用不合理，每年实际灌溉面积小于有效灌溉面积，据统计多年平均要小 15% 左右，相应减小的灌溉面积近 1 亿亩，加上非灌溉农田，每年近 60% 的农田无水灌溉，这也是制约我国粮食生产稳定和持续增长的重要因素。

解决我国缺水问题的途径除加强水利建设和跨流域调水外，还必须大力发展节水农业。据我院石家庄农业现代化所在河北省粮食高产地区的栾城试验站进行的地下水位观测，从 1990 年 1 月至 1994 年 1 月，地下水位累计下降了 12.02 米，1994 年春、夏干旱，因超采使地下水位下降 4.29 米，问题十分严峻。节水农业（特别是在北方地区）是缓解水资源不足的根本出路。

十分缺水的以色列，单方水的效益比我国高一倍以上。国内各地的实践经验，同样显示了节水的巨大潜力：在井灌区，采用管道灌溉一般可节水 30%，喷灌可节水 30～50%；在引水灌区，改大水漫灌为细流沟灌或小畦灌可节水 20%，采用渠道防渗和田间配套工程可节水 10%；在水源不足的北方地区，采用湿润灌溉法水稻田可节水 65%；滴灌可节水 80%。目前节水农业尚未大面积推广的原因，主要是缺乏投入和管理不善，建议国家有关部门，因地制宜地搞好规划，逐步付诸实施，仅此一举约可增产粮食 200 亿斤以上。

近几年来，生态农业发展很快，从生态户发展到生态村、生态县。其模式多种多样，有农牧结合、农果牧结合、农牧渔结合和农副结合等许多成功的经验。生态农业促进了土地资源、水资源和生物资源的合理利用，发展生产与保护环境相结合，以及社会效益、经济效益、生态效益协调发展的良性循环，是我国农业发展的成功之路。我国政府已作出要“继续搞好环境示范工程和生态试点”的决定，应当积极贯彻执行。

（五）加速优良品种培育与推广

生产条件的改善与品种的改良是相辅相成的。解放后，随着生产条件的不断改善，农作物品种多数已更新换代四次，每更新一次大约增产 10% 左右。在 2000 年前，“八五”期间所育成的高产、优质新品种，将发挥重要增产作用。近年来，在改良品质、提高抗病和抗逆性方面成绩卓著，其中谷类作物高产育种正处于攻坚阶段，望政府继续给予稳定支持，以期早日获得突破性进展。

此外，防治病害、虫害、鼠害，增加农业机械动力，加强田间管理，有条件的地方实行适度规模经营等都是实现粮食增产的重要保证条件，均需加强与落实。

（六）增加科技投入力度 稳定农业科技队伍

近十年来，粮食生产增长缓慢也与农业科技推广队伍不稳和农业科研队伍缺乏活力（青年人不愿学农，学农的也不愿干农）有关。最近几年，棉铃虫大发生与虾病大流行，同监测与防治的科技力量削弱和缺乏科技贮备有关。据统计，1993 年这两项灾害造成直接经济损失分别为 60 亿和 30 亿元，间接损失更大。因此，增加科技投入已十分紧迫。科技是投入产出比最大的投入，农业生产水平越高，创汇农业越发达，就越显示出科研投入的重要意义。以色列科技参赞在全国政协报告时说“我们的农业发展取得成功的重要原因之一，就是充分发挥了科技的作用。我们对科研与生产的安排顺序是：研究（Research），扩展或示范（Ex-tension），种植者或农民（Grower or Farmer）”。这个经验值得我们重视和借鉴。目前从事农业科研工作的科技人员中，中老年科技工作者居多数，急需加强对农业科技的支持力度，增加新生力量，培养跨世纪人才，以适应工作需要。

农业生产涉及的面很广，必须充分发挥多部门、多学科科技人员的积极性，组织跨部门的联合，分工协作，群策群力，共同奋斗，才能使科技兴农的工作在辽阔的祖国大地上蓬勃发展，充满活力，以迎接新的挑战。

四、面向全部国土广开食物来源

到 2030 年，我国人口将增加到 16 亿，即按人均粮食 800 斤计算，亦需要粮食 12800 亿斤。如何满足未来的食物需要，仅靠 14 亿亩耕地将难于支撑。因此从现在起，应着手制定计划并进行广开食物来源新途径的研究。

李鹏总理指出“要把发展农业从仅仅依靠现有耕地、搞好种植业的概念，转变到既重视现有耕地，又重视充分合理利用全部国土资源的观念上来，实行农林牧副渔全面发展……”。据国家统计局的报告，1993 年我国总耕地面积为 14.2652 亿亩，而国土面积为 144 亿亩，耕地仅为国土面积的十分之一。此外，我国的海域面积为 53.1 亿亩（354 万平方里）。耕地之外的国土和海洋，可为我们提供食物来源的广阔天地。

农田、草地和海洋被称为人类食物的三大来源。因此除粮食外，我们还对草食畜牧业与水产养殖业的增产潜力进行了预测。将这两项所能增产的肉类折算为粮食，大致相当于 235 亿斤。现分述如下：

（一）草食畜牧业的发展前景

我国有草地 60 亿亩。据统计，1993 年全国牛羊肉总产 74.18 亿斤，其中产于北方牧区和南方草地的仅占 33 亿斤，平均每亩草地只产半斤肉，草地畜牧业仍处于极低水平，尚有极大的发展潜力。据有关资料表明，我国北方草甸草原的牧草生产力与北美的温带草地相似，而单位面积畜产品仅相当于北美的 1/27。这是靠天养畜，掠夺式经营的结果。据统计，1949 年至 1988 年，对草地的投入每亩仅 2 分钱，加之超载过牧，导致草场严重退化，致使载畜量日趋下降。因此，不加大草地投入，难以扭转这种局面。

在 60 亿亩草地中，条件较好的约 10-11 亿亩（其中北方 6—7 亿亩，南方 2 亿亩，沿海滩涂草地 2 亿亩），占草地总面积的 17.5%-19.3%。据国家统计局 1992 年的资料，以草食畜牧业为主的六个省区（内蒙、甘肃、青海、宁夏、新疆、西藏）草场面积为 41.31 亿亩，总载畜量（包括农区）按羊单位计，为 2.35 亿只。据有关资料，在条件较好的典型草原和草甸草原地区，目前一般 12—15 亩地养一只羊。我院内蒙草原生态系统研究站，通过人工草地建设、改良退化草地和围栏集约放牧等措施，使典型草原区的 12 亩草地养一只羊，减少到 6 亩养一只羊，其载畜率提高一倍。1984 年 1 月中央 1 号文件提出“到本世纪末，种草面积达到 5 亿亩”，如果这一计划实现的话，仅北方草甸草原和典型草原，则可增加 5000 万只羊，按胴体重 34 斤和出栏率 40% 计，可增产肉 6.8 亿斤，相当于省饲料粮 34 亿斤。加上南方草地和沿海滩涂的开发，大约共可节省饲料粮 60 多亿斤。

农区草食畜牧业也有很大潜力。目前，过腹还田秸秆利用率为 20~30%，如提高到 50%，则可多养牛 3846 万头，按出栏率 14.1% 和每头牛胴体重 372 斤计，可增产肉类 19.5 亿斤，相当于节省饲料粮 97.6 亿斤，扣除育肥期消耗饲料粮 41.92 亿斤，可净省粮 55.7 亿斤。山东禹城市在改造中低产田、提高了粮食单产的基础上，利用秸秆大力发展肉牛生产，1989 年出栏量为 10.6 万头，1993 年增长到 20.4 万头，1994 年达到 26 万头。

到 2000 年，预计牧区与农区的草食性畜牧业所增产的肉类折合粮食 115 亿斤。

（二）水产养殖增产潜力预测

我国是世界内陆水域最多的国家之一，又是海洋大国。开发“两水”，发展水产业具有独特的资源优势和产业优势。

1. 淡水

我国有内陆水域面积 2.66 亿亩，其中可供养殖的面积 8793 万亩，现利用率约 2/3，尚有 3000 多万亩亟待开发利用，其中尤以大中型湖泊水库为甚。如武汉东湖推广我院水生生物研究所的渔业增产及优化模式，该湖的渔业总

产量由 1971 年的 36.5 万公斤上升至 1993 年的 300 万公斤，净增 7.2 倍。到本世纪末，预计淡水水产品总产量达 1150 万吨，可新增 400 多万吨，按饵料鱼比 1.5 : 1 计，可节省饵料粮 60 多亿斤。

2. 海洋

我国东、南两面濒临辽阔的海洋，海域总面积 427.7 万平方公里，归我国管辖的海域面积为 354 万平方公里（53.1 亿亩），渔场面积 281 万平方公里（42.15 亿亩），负 15 米等深线的浅海和海滩涂面积分别为 1.86 亿亩和 3257 万亩，在目前技术条件下，可进行人工养殖的浅海和海滩涂各为 1000 万亩。部分渔场也有适合工人放流增殖的场所，特别是 69.3 万平方公里内海，更适于增殖放流。到本世纪末，预计海洋水产品可达到 1476 万吨，其中天然捕捞和人工养殖将比 1993 年分别增加 200 万吨左右。

淡水和海洋水产品增产，共可节省 120 多亿斤饵料粮，到 2000 年人均水产品估计可达 20 公斤，远远超过食物结构大纲人均 9 公斤的标准。

（三）木本粮油发展前景

我国山区林业用地近 40 亿亩，其中有些适于发展木本粮油。据林业部估计，如果以其中的 2 亿亩发展木本粮油，每年可增产木本粮食 300—400 亿斤。

五、响应党中央号召 为农业发展做新贡献

我院领导和广大科技人员十分关心我国农业发展的问題。从 50 年代起，就承担了我国农业资源的大规模综合考察任务，根据考察发现的问题，设立了有关研究机构和试验站，再加上应用基础性研究所，目前已有为大农业服务的研究所共 49 个。我院有各类试验站、观测站 66 个，分布在全国各地。为了支援农业，中国科学院先后派出科技副县长共千余名，为我国农业发展做出了实际贡献。

回顾 1987 年，当我国粮食生产出现连续三年徘徊时，我院曾急国家所急，主动与山东、河南、河北、安徽省政府分别协商讨论，根据中国科学院在黄淮海地区 20 多年治理盐碱地、沙荒地、涝洼地和砂姜黑土的研究成果，提出了“关于开展黄淮海地区大面积治理中低产田的报告”，向中央请战，并得到了国务院的重视。国务委员陈俊生同志，在亲自考察了中国科学院禹城综合试验区后，又陪同李鹏总理去禹城视察。视察后，李鹏总理指出“禹城的经验不仅适用于黄淮海地区，而且对全国其他地区的农业发展都有重要意义”。1988 年以来，在地方政府大力支持下，中国科学院兰州沙漠所的科技人员，发扬艰苦奋斗，勇于创新的精神，与当地干部群众一起把河南省延津县的贫瘠沙荒地建为林茂粮丰、瓜果飘香的绿洲，为该县的农业综合开发做出了突出的贡献。为此，河南省农业综合开发领导小组，于 1994 年 12 月 14 日做出了“开展向中国科学院兰州沙漠所延津试验站学习的决定”，号召全省在农业综合开发第一线的干部、群众向他们学习。他们是继中国科学院在黄淮海地区的三个老试区（禹城、封丘、南皮）之后，成长起来的新的农业综合开发样板。通过他们的工作，可以看出，在党和政府需要的时候，我院的科研队伍是能够为社会和经济发展做出贡献的。

根据上述对我国农业发展中的问题、潜力与对策的分析，我们初步提出了 2000 年前我院为农业发展做贡献的计划如下：

（一）继续坚持在黄淮海与其他地区进行中低产田治理与农业综合开发试验、示范与技术推广工作。

(二) 在近十年粮食单产徘徊不前的高产地区, 进一步加强试验研究与调查工作, 重点解决高产地区粮食增产的限制因子与打破这种限制的技术措施。

(三) 面向 144 亿亩国土和海洋, 继续为广开食物来源开展研究、示范与成果转化、推广工作。包括北方草地、山地、沙地、沼泽地、淡水与海水水域等。

(四) 加速科技成果的转化与示范推广工作, 我们从“八五”期间的科技成果中筛选了 10 多项适用技术, 分五个方面简述如下:

1. 新型肥料和施肥技术

(1) 长效碳酸氢铵: 是我院沈阳应用生态所研制的一种改性新氮肥, 与普通碳铵相比, 其氮素利用率提高 10%, 肥效期由 35 天延长到 90-110 天, 增产 13% 左右。已推广 350 余万亩, 新增产值 2800 万元, 创经济效益约 1.75 亿元。该项技术已获国家专利。目前已有 17 个小氮肥厂采用这项技术。化工部与科学院已联合组织了成果鉴定, 并拟在全国的几百个碳酸氢铵厂逐步推广, 预计可增产粮食 100 亿斤以上(现已被农业部列为十项推广成果之一)。

(2) 涂层尿素: 是一种新型的尿素氮肥, 与普通尿素相比, 氮素利用率提高 6~8%, 可增产 10~13%。1993 年河北省已推广 442 万亩, 增产粮食 3.04 亿斤, 皮棉 1004 万斤, 创效益 1.38 亿元。目前我国尿素年产量约 1200 万吨, 若改为涂层尿素, 相当于每年增产尿素 200 多万吨(此项成果首先由广州氮肥厂研制, 我院石家庄农业现代化研究所与广氮合作主持了在北方地区的试验推广并完善和改进涂料配方)。本世纪末, 如果将尿素中的一半改为涂层尿素, 约可增 150 亿斤粮食。

(3) 专用肥料: 根据我国各地的土壤条件, 作物需肥特点, 南京土壤所完成了各类作物专用肥配方, 完善了生产工艺与技术。其中蔬菜专用肥可增产 26~40%; 菸草专用肥可增产 14.7%, 上等菸叶产量提高 30.7%, 已在黄淮海平原和西南地区推广应用。新研制的多功能复合肥, 花生增产 170~243%, 大豆增产 21~104%。

(4) 节氮施肥与计算机指导施肥技术: 我院封丘试区的研究, 将稻田传统有水层施肥法改为无水层混施法, 可减少氮肥损失 29~35%, 每公斤氮多增产稻谷 8 斤, 这项技术已在东北、黄淮海、南方和新疆等地区推广 214 万亩, 节省氮肥 100—200 万吨, 增产粮食 600—1200 万吨, 创效益近亿元。与此同时, 还建立了施肥咨询系统, 进行作物产量和利润估算, 它不受农业地区限制, 可指导全国各地合理施肥。

2. 新型地膜

(1) BDM 生物降解膜: 该膜降解性能好, 覆盖期可控制在 20 天至 75 天, 一年内完全降解, 不遗留残物, 不污染环境; 拉伸强度超过美国和接近英国同类产品; 断裂伸长率分别超过美国和英国的 1.8 倍和 1.2 倍。与普通地膜对比, 土豆、玉米分别增产 21.3~32.3% 和 12.1~37.0%, 棉花、葡萄分别增产 35.8% 和 68.0%。

(2) 超薄型光解聚乙烯地膜: 该膜的特点是超薄(5-8 μ), 比一般光解地膜(10-15 μ) 可节省 50% 的聚乙烯原材料; 且无公害, 可自动光敏降解, 裂成碎片, 继续被微生物降解。

(3) 光转换薄膜: 中国科学院化学研究所、生态环境研究中心离退休科技人员, 在青岛新桑达经济技术咨询有限公司组织下, 引进与改良了俄罗斯

的光转换膜技术，试制成功了将紫外光转化成红光的光转换膜，可提高蔬菜产量 20~40%。产品已经通过青岛市科委组织的鉴定，并开始投产。

3. 优质高产作物良种

1986 年以来，我院遗传研究所等 7 个研究所共育成 35 个作物新品种。近三年累计推广 4400 万亩，增产粮、棉、油 46 亿斤，新增产值 17 亿元。“八五”以来，又选育出棉花新品种“石远 321”，在黄河流域国家级区试名列前茅；大豆新品系“诱处 4 号”的亩产首次突破 600 斤大关；饲料玉米科多号亩产青饲料 12800 斤，粗蛋白 6.35%；H165 油菜，双低（低芥酸、低硫苷）达国际标准以及优质小麦品种等，将在“九五”期间推广。

4. 白对虾与全雌鲤

近十年来，我院海洋所继引种与繁殖海湾扇贝取得成功，在沿海各省推广取得巨大经济效益之后，最近又引种成功了南美白对虾，工厂化育苗技术已经成熟。白对虾是世界水产养殖业产量最高的三大虾种之一，具有繁殖季节长，对水环境的抗逆能力强，生长快，肉鲜美，病害发生率低等优点。最近已通过开发可行性论证。全雌鲤是我院水生生物研究所用生物工程技术育成的新鱼种，具有生长迅速，肌肉丰满和高产等优点。在同样饲养条件下，比普通品种增产 20% 以上。

5. 棉铃虫性诱剂

1993 年以来，我院在山东省汶上县、嘉祥县、高唐县、齐河县、济阳县等 5 个县，推广棉铃虫性诱杀剂 500 万支左右，按每支日均诱杀雄性棉铃虫 100 头计，则每天诱杀蛾量达 8.4 万斤。1994 年已推广 165 亩，节约药费 2000 万元，棉花增加产值超亿元。此外，还研制成功玉米螟和地老虎两种昆虫性信息素与其高效仿生诱芯，经北方几省试用，效果良好。

（五）组织一支农业宏观研究队伍，在以往国土资源考察、国情分析、全国粮食产量预测、科技扶贫以及各台站网络对各种农业资源动态观测的基础上，针对当前我国农业出现的新问题，进行跟踪研究，及时为国家提出咨询意见。

畜禽主要经济性状（肉、蛋、奶）的遗传改进与育种新技术

吴常信

中国农业大学动物科技学院

吴常信 动物遗传育种学家。1935 年 11 月 15 日生，浙江鄞县人。1957 年毕业于北京农业大学。1979—1981 年在英国爱丁堡大学遗传系进修动物遗传育种。历任北京农业大学教授，畜牧系主任、动物科技学院院长。《遗传学报》副主编。1995 年当选中国科学院院士。长期从事动物遗传与畜禽育种研究和教学工作。

提高肉蛋奶等畜禽经济性状可以从遗传育种、营养饲料、疾病防治、畜舍环境和经营管理等几个方面考虑。其中遗传育种是从遗传上改良畜种；疾病既有遗传因素（如易感性）也有环境因素（如病原体）；营养饲料与畜舍、设备等虽然是环境因素，但也存在着遗传与环境之间的相互作用。因此，经营者通过管理提高畜禽生产水平和经济效益是一项系统工程，不但要使各个环节都能有效运转，而且要使其达到最佳的协调与配合。

一、经济性状改进的遗传学基础

1. 数量遗传学基础

数量遗传学是遗传学原理与统计学方法相结合研究群体数量性状遗传规律的一门遗传学分支学科。半个世纪以来数量遗传学对肉蛋奶等可度量的经济性状即数量性状的提高起了极为重要的作用。与起始群体或未经改良的地方畜种相比，猪的瘦肉率提高了 20—25%；肉鸡到达 2 公斤时的上市日龄提前了 40—50 天；鸡的产蛋数提高了 100—120 个；奶牛的泌乳期产奶量提高了 3000—4000 公斤。近 50 年来，肉蛋奶等主要经济性状的世代遗传改进见表 1。

表 1 近 50 年来肉、蛋、奶每世代的遗传改进

性状	纯种选育每世代的遗传改进
猪的瘦肉率（%）	0.5
肉鸡的上市日龄（天）	-1.0
鸡的产蛋数（个）	1.5
奶牛的产奶量（公斤）	300

肉蛋奶等经济性状的遗传基础是多基因，表现为连续变异，它的改进需要有生产性能的记录和遗传参数，把表型值转化为育种值，从而提高了选种的准确性。

2. 细胞遗传学基础

家畜家禽都是两性繁殖的高等动物，性状的遗传都要通过生殖细胞也就是精子和卵子来实现。人工授精和精液冷冻技术扩大了优秀公畜的遗传作用；超数排卵和卵细胞体外成熟技术扩大了优秀母畜的遗传作用；胚胎移植

或核移植技术则同时扩大了优秀公畜和母畜的作用，提供了大量遗传上优秀的后代；胚胎切割则是使遗传上优秀的个体通过“无性繁殖”进行复制或“克隆”。

细胞遗传学中的染色体畸变和染色体倍性化在畜禽育种中还不多见。罗伯逊易位在牛和猪中都有报道，但都还没有达到应用的程度；哺乳动物的多倍体和鸟类的孤雌生殖鲜有报道，但多属偶见，很少有人进行深入研究；使马和驴的精卵二倍化有可能产生能育的双二倍体骡子，但这一在 50 年代的设想至今也未能成为现实。

3. 分子遗传基础

目前对遗传物质的认识已进入分子水平，即去氧核糖核酸（DNA）和核糖核酸（RNA）。自从 1909 年瑞典生物学家 H. 尼森·埃尔（Nilsson-Ehle）提出多基因假说（Polygene hypothesis）以来，数量性状的多基因一直是作为一个遗传整体用统计学方法加以研究和分析的，虽然对决定数量性状的多基因数目可以用统计学的方法作出估计，但不能确定单个基因以及它所在的染色体上的位置。现代分子生物技术的发展，使得从分子水平上研究数量性状基因（Quantitative Trait Locus, QTL）成为可能，这就要分离和克隆决定数量性状的基因、研究其结构和功能，最终达到从分子水平上改良数量性状的目的。

二、育种新技术

这里讨论的新技术有三层含义：一是近年来研究出的对从遗传上改良畜种有明显效果的技术（如用 DNA 多态检测猪应激综合症）；二是研究的方法和技术虽然不是最新的，但只是近年来才加以推广和应用的（如 BLUP 育种值）；三是从单项技术来看不是什么新技术，但重新组装后起到了前所未有的效果的（如“超级猪”、“节粮小型蛋鸡”）。本文只是通过一些例子加以说明，并没有包括所有的育种新技术。

1. 生物技术

（1）数量性状主效基因的检测与利用

在过去的 20 年中，陆续发现有些数量性状不但受微效多基因控制，而且还受一个或少数几个主效基因（Major gene）的影响。例如绵羊中的布罗拉（booroola）基因，该基因座纯合子的母羊，产羔数比不带该基因的母羊平均多产羔 1.1-1.7 头；杂合子母羊也要多产 0.9-1.2 头。目前已将该基因定位到绵羊的第六号染色体上。又如猪的氟烷敏感基因，该基因的隐性纯合个体易产生应激综合症，在饥饿、咬斗、运输、驱赶等情况下容易发生突然死亡，而且肉的品质差。但带有这种基因的猪在生长速度和瘦肉率方面比不带该基因的猪有明显优势。由于氟烷测定方法对隐性纯合子的外显率并不完全，其范围在 50%—100%，而且外显率的高低受猪的月龄和性别的影响。这就是说，氟烷测定方法不但无法区别基因型 NN 和 Nn 的个体，因为它们的表现都是氟烷不敏感型，而且对基因型 nn 的个体也有相当一部分没有表现为敏感型。用 PCR-RFLP 方法可以清楚地得到三种不同基因型的 DNA 图谱，这给猪育种中检出携带氟烷敏感基因个体（Nn, nn）带来了极大方便。目前这一基因已被定位到猪的第六号染色体上的一个连锁群内（Vogeli, 1994）。

（2）数量性状的标记辅助选择

在数量遗传学研究中，把要改进的某个数量性状称为目标性状，因此对

决定这一性状的基因或基因组称为目标基因。目前对决定数量性状的多基因还不能准确定位，但如果能找到一个可以识别的基因或基因组的 DNA 多态，或是一个染色体片断与这一目标性状有密切的关联，就可以作为对目标性状选择的遗传标记。遗传标记还可应用于基因转移、基因定位和基因作图等研究。

除上述分子和细胞水平的遗传标记外，利用已知的主基因或单基因还可以从群体水平上对个体作出标记选择，如肉牛的双肌肉基因，绵羊的多羔基因，猪的应激敏感基因，鸡的小型化基因、快慢羽基因等。

(3) 杂种优势预测

通过血型因子、血浆蛋白多态、DNA 多态和实验动物模拟试验，可以对畜禽的杂种优势进行预测。例如能过 DNA 多态性可以识别种间、家系间、家系内个体间的遗传差异。用 Hinf I/3'-HVR- 珠蛋白探针可获得猪、鸡、鸭等畜种多态性含量极高的 DNA 指纹带。这些多态性为分析系间亲缘关系的远近，杂交亲本的选配提供了很好的借鉴。用 DNA 多态性测定品种或系间的差异，并据此作出的遗传距离 (genetic distance) 要比根据其他指标稳定，因此用来预测杂种优势也更为准确。

2. 计算机技术

(1) 育种值的 BLUP 计算方法

BLUP (Best Linear Unbiased Prediction, 最佳线性无偏预测) 方法最早由美国 C.R. 汉特逊 (Henderson) 于 1973 年在纪念勒什 (Lush) 的学术讨论会上系统介绍，虽然他对线性模型的研究早在 50 年代初就已经完成。由于受当时计算工具的限制，这一方法在育种上的应用推迟了 20 年。

BLUP 育种值估计方法之所以能够提高选种的准确性是由于：(1) 充分利用了所有亲属的信息；(2) 能消除由于环境造成的偏差；(3) 能校正由于选配所造成的偏差；(4) 能考虑不同群体不同世代的遗传差异；(5) 当利用个体的多次记录时，可将由于淘汰所造成的偏差降到最低。

近年来由于计算机的普及和生物技术在动物育种中的应用，使 BLUP 育种值估计方法又有所发展，如从公畜模型发展为动物模型；单性状育种值估计发展为多性状育种值估计；常规繁育体系的育种值估计发展为有胚胎移植、胚胎切割等非常规繁育体系的育种值估计。

(2) 计算机图像分析应用于畜禽育种

计算机图像分析系统和图文数据库的建立，使育种数据、种质资源、形态特征、生态环境等与家畜育种有关的“数”和“形”联系起来，大到对群体行为，小到对染色体组型特征都可通过图像进行充分的观察和度量，从而可以从宏观和微观两方面提高育种效果。例如在对奶牛外形的线性评定中，15 项体型性状中已有 14 项可由计算机通过图像进行识别，仅 1 项 (乳用特征) 还需人机结合进行判断。利用 C 语言编写的计算机程序，从摄录、数字化、校正、识别、评分及综合等都由程序控制，基本实现了奶牛体型线性评定的自动化，有利于对产奶性状的选择与提高。又如通过计算机图像可分析超声波测定肉用家畜 (牛、猪) 的活体脂肪层和肌肉层的厚度以及眼肌面积，提高了对肉用动物选种的准确性。

(3) 地理信息系统 (GIS) 应用于畜禽遗传资源的保护和利用

保存畜禽品种的遗传多样性对今后肉蛋奶等数量性状的增产有重要意义。畜禽遗传资源的保护也是一项系统工程，它是生命科学中的“保护生物

学”和地球科学中“地理信息系统”两个学科的结合。建立畜禽品种资源地理信息系统，可以对现有的遗传资源有一个整体的、动态的认识，该系统能监视各个畜禽品种在相当长时间内的数量与地理分布、特性特征等信息的变化，以及建立数量濒危畜禽的报警系统。最近中国农业大学已完成了按畜禽品种名称或按省、市、自治区检索牛、羊、猪、禽等国内主要品种的外形（相片）、数量、分布、生产性能等计算机软件系统。

3. 系统工程技术

系统工程主要研究的是“系统”。系统是有组织的或是组织化了的总体，是由组成这个总体的各个部分（元素）和部分间的有机联系构成的。下面介绍的虽然是一些成熟技术的重新组装，但从系统论的思想出发，各类成熟技术间的有机联系产生了前所未有的新的效益。

（1）优化育种方案

以最大经济效益为目标的优化育种方案的制定，是现代畜禽育种的重要组成部分。例如在猪的优化育种方案中，结合生物学和经济学目标考虑，生长、胴体品质、繁殖力、饲料转化效率等应作为主要改进的目标性状。通过对性状边际效益的计算和各目标性状经济重要性的分析，可制定出遗传改进快、经济效益高的优化育种方案。对育种核心群的规模、群体结构、种畜利用年限、选种方法、饲养工艺、投入产出分析等在一个优化育种方案中也应予以考虑。

在肉鸡优化育种方案的研究中，本文作者曾提出缩短世代间隔的选择方法，父本品系和母本品系都达到每年 13 个世代。该育种方案与国内外现行的方案相比，还有以下优点：

1. 对母系体重的选择要有上下限。这一措施直接选择了增重的均匀度，间接选择了产蛋性能；
2. 对母系产蛋的选择。废除现行的自闭产蛋箱记录制度，改为按公鸡家系记录产蛋性能，再根据育种目标确定是否淘汰整个家系；
3. 对产蛋性能用“先留后选”的方法代替现行的“先选后留”方法，提高了选种的准确性。
4. 初选时间。改 6 周龄选种为 5 周龄选种，降低了选种后由于限制饲喂引起的应激作用。
5. 以入孵蛋的健雏率选择父系，全面提高了受精率、孵化率和雏鸡生活力。

（2）MOET 育种计划

MOET (Multiple Ovulation and Embryo Transfer) 育种计划是超数排卵和胚胎移植技术与核心群育种技术相结合的一项系统工程，主要应用于奶牛、肉牛等单胎动物。这一育种计划的实施不但可以提高母牛的繁殖力和增加优秀个体的数量，而且通过同胞测定可以缩短世代间隔。MOET 育种计划的成功与否很大程度上决定于是否能有一个高产母牛组成的核心群作为胚胎移植的供体，使优良的遗传种质能迅速扩大。我国在“八五”国家科技攻关项目中已立项开展奶牛 MOET 育种研究。

（3）“理想猪”和“超级猪”计划

从商品猪生产的要求来看，作为杂交亲本的父系和母系应具有不同的特点。对理想父系猪的要求是：配种能力强，四肢健壮，精液品质良好；生长速度和瘦肉率高，大量瘦肉分布在经济价值高的部位；显性白色纯合子；可

允许为氟烷敏感基因的杂合子 (Nn)。对理想母系猪的要求是：繁殖力高，母性强；食欲良好，适度的生长速度和瘦肉率；不携带氟烷敏感基因即要求基因型为 NN。

英国 J. 魏柏 (Webb) 曾提出一个应用胚胎工程生产“超级稻”的计划。这个计划的目标是：1. 每年每头母猪提供 32 头商品猪；2. 100 天达到 100 公斤活重；3. 胴体瘦肉率 65%。在完成上述三项指标后，每头母猪年产瘦肉量为 1400 公斤。他建议的具体做法见图 1。

(4) 节粮小型蛋鸡的选育

节粮小型蛋鸡的选育是一项育种、营养、笼具、鸡舍环境、饲养工艺等改革和配套的系统工程。它的育成是利用了鸡性染色体上的一个矮性化基因 (dw)，这是一个生长激素受体基因的缺陷型，造成长骨变短、生长受阻，但产蛋等繁殖性状基本正常。目前对这一基因较为广泛应用的是在肉鸡中，父母代母本为矮小型，可节省饲料和提高饲养密度。矮小型母鸡与普通型杂交的后代，公母都是普通型，可用于正常的商品肉鸡生产的。法国伊沙公司的“明星鸡”就是采用这一制种方法生产的。中国农业大学动物科技学院自 1990 年起就开始把“明星鸡”中的 dw 基因引入“农大褐”中型褐壳蛋鸡，选育出有 90% 以上蛋鸡血统的节粮小型蛋鸡。用这种小型鸡作为父系与普通型褐壳鸡杂交，后代商品母鸡为矮小型褐壳蛋鸡；如与普通型白壳蛋鸡杂交，后代商品鸡为矮小型浅褐壳蛋鸡。这两种商品鸡比普通型蛋鸡的体重小 20—25%，可提高饲养密度 25—30%。虽然总蛋重要少 1.0—1.2 公斤，但可节省饲料 8—10 公斤。所以总的经济效益比普通蛋鸡高得多。特别是节粮 (料蛋比可达 2.0—2.2 : 1) 这一点，更加适合我国市场。如我国 15 亿只蛋鸡中有 1/3 改养小型蛋鸡，则可节省饲料 40—50 亿公斤。

植物生物学及其在 国民经济发展中的作用

匡廷云

中国科学院植物研究所

匡廷云(女) 植物生理学家。1934年12月29日生,四川资中人。1956年毕业于北京农业大学。1962年毕业于苏联国立莫斯科大学,获生物学副博士学位,1982年美国密执安州立大学授予她“卓越的研究访问学者”证书。历任中国科学院植物研究所研究员、副所长,中国植物生理学会副理事长,植物学报副主编,《Chinese J·Botany》副主编。1995年当选为中国科学院院士。主要从事植物生理生化、光学作用、叶绿体膜叶绿素蛋白复合体的结构与功能研究。

一、植物生物学研究的基本任务

植物科学研究对象是从低等到高等整个植物界及其与自然环境的相互作用。它的基本任务是认识和揭示植物存在的各层次的生命活动的客观规律,从分子、膜层、细胞、器官到整体水平的结构与功能、生长发育的规律、进化与分布的规律以及与环境相互作用的规律等。揭示新的原理和探索新的技术,广泛应用植物科学的理论和方法去解决当今人类面临的粮食短缺、能源耗费、环境污染、生态系统退化及平衡失调等严重问题。

近20年来,生命科学研究的迅猛发展,植物学家不仅在宏观方面采用先进技术,进一步揭示了植物空间分布及演化的规律,在微观方面在分子水平上对植物生命活动的本质也有了更加深刻的认识。植物学各分支学科分工合作,协调发展,以前所未有的规模对植物界进行开发、改造和利用。汤佩松教授把这一时期称为“创新植物学”(Creative Botany)时期。在这一时期中,分子生物学的迅猛发展极大地丰富和充实了经典植物学,人们不断地以新的思路和技术来研究植物学中的重大问题,以求达到按人们的主观愿望去利用和改造植物界,使植物学的知识转化为强大的生产力,从而推动国民经济的发展。植物科学的发展对推动整个自然科学的发展、加速国民经济的发展、加速国民经济建设、提高全民族的文化素质具有十分重要的意义。植物科学是生物科学的一个十分重要组成部分。它的发展深刻地影响到当代自然科学和技术的进步。植物科学的规律可以概括为非生物体系的无机界物质运动的规律在植物体内复杂的生物系统的综合表现,植物界生物现象本质的阐明使物质运动的规律具有更普遍和深刻的意义。因此植物科学的发展将导致自然科学进入复杂性研究的新领域,对自然科学的发展具有非常重要的意义。植物科学在理论上的成就为利用植物和改造植物提供了必要的基础理论和基本知识。植物学是农业和不久将蓬勃发展的植物天然产品产业的理论基础。植物科学基础研究的重大突破将导致农业技术的革命。例如19世纪植物矿质营养理论的阐明,导致化肥的应用和化肥工业在20世纪的发展。光合生产效率理论研究成果创造了粮食生产技术中矮化品种的培育及密植的栽培技术,使粮食在20世纪中大幅度增产,被誉为“绿色革命”。植物科学通过对

植物区系、资源、植被（包括海洋植被）、珍稀濒危植物的调查、研究和预测，为国土整治、农业区划、资源开发、工业发展、城市建设、港口建设、交通运输、水利建设等规划提供了国家宏观决策的科学依据，从而促进社会经济的迅速发展，避免因违反自然规律而造成的失误。植物科学对完善人们的哲学观，陶冶人们的精神生活、文化修养和高尚情操也有着重大影响。

半个多世纪以来，尤其在新中国成立以后，我国植物生物学经历了艰苦创业的奠基阶段，逐步建立了植物生物学的各分支学科，并造就了一支 5000 余人，具有一定科研素质的科学队伍。在基本资料的累积，基础理论研究方面取得了一批宝贵成果，受到了国内外同行的好评，产生了较大的影响，同时还解决了许多生产实践中提出的实际问题，为社会主义建设和国民经济的发展作出了重要贡献。我们相信，植物生物学在为实现本世纪末我国国民经济产值翻两番的目标中将会作出更大的贡献。

二、植物生物学在国民经济发展中的作用

植物是生物圈的主要构成成分，植物种类繁多、数量浩瀚达 40 万种。植物对于整个生物界的贡献是巨大的。植物是自然界的第一生产力。通过植物所进行的光合作用是地球最大规模地把太阳能转变为化学能，把无机物合成为有机物，以糖、淀粉、脂肪、蛋白的形式加以贮存。植物是人类、动物及大多数微生物的最根本的食物来源，也是无数再生资源的源泉。光合作用放出的氧气是大气中氧气的主要来源，当今人类文明所需之燃料（如石油、煤、天然气等）也都是远古植物光合作用的产物。可见植物在自然界和人类生活中具有不可替代的作用。其次，植物在维护生态环境和地球上的物质环境的平衡中起着不可替代的作用。植物通过体内所进行的各种分解与合成的代谢过程，参与自然界生态环境中及生物圈中物质循环的维持。植物在调节气温、土壤和大气的水分以及在净化生物圈的大气和水质方面，亦起到重要作用。植物创造并维持着人类赖以生存的生活环境。植物体内存在着千千万万种天然有机化合物，是人类利用和开发植物资源的源泉。由于植物界在长期进化过程中形成的无数的遗传性状决定了植物在个体形态、生活习性、代谢类型、群体组成、地理分布以及生物之间的相互依存关系等方面都有着千差万别的多样性。由于长期进化过程中形成的千姿百态的植物界，是一个天然庞大的基因库，是自然界留给人类的宝贵财富。因此，植物学的研究对于农业生产，对于医药以及植物工业原料的开发利用，都有很大的意义。尤其是现在，整个世界面临着人口膨胀、粮食短缺、能源枯竭和环境污染等严重问题，这种意义亦就显得越来越明显了。

1. 我国地处亚洲东部，自热带到寒温带的广大、具有复杂地理环境的地区。拥有世界上最为复杂的植物区系，植物种质资源极为丰富（就高等植物而言，就约 3 万种）。我国是世界作物起源中心之一，起源于我国的原始种有谷类、薯类、蔬菜、果树、药材、香料、染料以及纤维等 170 多个品种，这为我国实现四个现代化建设提供了主要的物质基础。

至今我国已采集标本 1000 多万份，已编写出《中国植物志》50 卷，为我国植物资源的开发利用提供了最基本的资料。为了使植物种类达到永续利用、植物引种驯化、物种迁地保护我国已建立了 110 个植物园和树木园。同时还对物种进行就地保护，建立自然保护区近 763 个。编写了珍稀濒危植物《红皮书》，以告诫人们特别要保护《红皮书》上的每一种类。目前还着手

建立野生植物种质资源库。为了更合理地利用我国植被资源，我国植物生态学工作者通过多年的实地调查与研究，编写出版了《中国植被》一书。它不仅使人们对我国植被的类型和地理分布规律具有一个全面而深刻的了解，为我国植被的研究开创了一个新阶段，而且对我国农牧业生产的发展和战略布局， also 具有很重要的宏观指导意义。此外我国的植物生态学家们还编著出版了许多省区植被专著，以及编制出版了 1:400 万的《中华人民共和国植被图》。为国民经济规划，国土的综合治理以及大农业发展战略等宏观决策提供了基本资料和科学依据。

古植物学的研究为寻找煤和石油以及有关金属矿物提供了科学依据。污染生态学的研究，筛选出百种以上对大气、水质污染反应敏感或具有抗性和净化环境作用的植物，为环境保护作出了一定贡献。

随着社会主义精神文明和物质文明的发展，了解植物资源的化学组成，是合理开发植物资源的重要前提。解放以来，我国植化工作者对约 3000 多种植物作了不同程度的化学成份分析，发现了 3000 多个新的化合物，其中有许多化合物具有药理活性，是医药工业的重要原料。现已开发利用的植物种类包括：淀粉植物、油脂植物、蛋白质植物、饮料植物、食品添加剂植物、芳香植物、胶用植物、纤维植物、木材植物、鞣料植物、农药植物、药用植物、经济昆虫寄生植物、绿化和美化保护环境植物等。资源植物的开发利用，推动了我国食品、医学、轻化及农化工业的发展，同时也为采油、冶金、纺织等工业做出了贡献。如田菁中提取的半乳甘露聚糖-田菁胶，代替了依赖进口的瓜尔胶，用于采油工业中的水基压裂液，不但节省了大量外汇而且大幅度提高原油产量。又如从野生青蒿（黄花蒿）中提取的青蒿素用于治疗抗氯喹凶险型疟疾。但对它们还远远没有达到充分开发和利用的程度。因此，对这些植物资源的进一步开发和利用，必将获得巨大的经济效益，为国民经济的发展作出贡献。

2. 解放后，随着植物生理学队伍的壮大，植物生理学在理论上的研究获得了一批具有较高水平，在国内外产生了较大影响的成果，如呼吸代谢的调节和控制、核穿壁物质运输、光合磷酸化高能态及光合膜结构与功能的研究等。同时对理论如何联系实际，植物生理学如何为经济与建设服务的认识也逐步深刻，逐步摸索出适合我国国情的基础学科参与解决生产实际问题的道路。植物生理学知识的应用对减少农业措施的盲目性，提高针对性起了极大作用。如氮、磷、钾及微量元素肥料的合理施用对提高作物产量起了极大作用，就是明显的例子。50 年代起植物生理学界对主要农作物发育规律及其与环境关系的探讨，为合理的农业措施提供了理论基础。例如水稻光、温物性的研究，棉花营养生长和生殖生长相关的研究，稻、麦旗叶对籽粒形成的贡献等都促进了农业科研和生产水平的提高。

植物生理学的几个分支部分如组织与器官培养，植物生长调节剂，采后生理等与生产实践关系密切，在我国受到了更多的重视，发展迅速。如植物生长调节剂，已在我国广泛应用，成为不可缺少的重要农业生产资料。赤霉素目前我国产量为世界之冠，仍感供不应求。赤霉素不仅广泛用于国外已应用的多种园艺植物生长、发育的调控，而且在中国独有的杂交水稻的制种中成为不可缺少的生长调长剂。在其他国家已大量生产并在农业中广泛应用的生长调节剂如 2,4-D、“矮壮素”（CCC）、乙烯利、缩节胺及除草剂等在我国起始时都是由植物生理学工作者倡导、引进和试验推广的。近年来，

随着农业改革的成功，鲜活园艺产品骤增，贮藏和运输中品质的保持成为突出的问题。部分植物生理学工作者多年坚持在果蔬贮藏保鲜这个领域进行了系统的研究，为这些问题的解决作出了重大贡献，取得了显著的经济效益和社会效益。

植物生理学在农业生产中可以发挥作用的方面还远远不止以上所列举的。随着植物生理和植物生化研究的进展，如在光合作用机理阐明的基础上调节和控制作物光能转化效率，将使作物大幅度增产。若加以仿生模拟研制高效光能转化器，将能开辟太阳能利用的新途径，并能为研制生物电子器件和生物芯片，促进信息科学的发展，为 21 世纪开辟新兴产业提供理论依据、方法和技术。模拟固氮酶在常温常压下固氮的机理，能深刻地改造现有的高温高压下合成氮的工业，特别是固氮基因及根瘤菌从豆科植物转移到非豆科植物的成功，将会大大推动自然界本身的固氮过程，将会对农业生产产生深远的影响。

3. 近 15 年来，正是国际上生物工程蓬勃兴起的时代，与此同时人类也面临着人口剧增、耕地面积减少、天然资源被破坏、生态环境恶化的严峻挑战。我国科学家们应用植物生物技术获得了许多重要的科研成果，对解决上述危机起到十分重要的作用。最为突出的是生物技术在农作物育种与品质改良上的应用，并将引起一场新的农业革命。我国在花药培养单倍体育种、体细胞无性系变异、突变体筛选及染色体工程的研究与应用方面处于国际先进行列。通过花药培养获得的水稻新品种花 8 号、9 号、10 号、11 号、12 号及 13 号，已累计推广面积超过 1000 万亩。小麦新品种京花 1 号、京花 3 号、冀花 555 及甘肃花培 764 等累积推广面积也已超过 1000 万亩。其他经济作物的花培新品种（系）如玉米、橡胶、苹果、柑桔等达 100 多个。通过无性系变异及突变体筛选技术也获得许多优良农艺性状的新品系，如具有高蛋白质含量、抗病、耐盐等特性。其重要的作物有小麦、小黑麦、水稻、甘蔗、芦苇及油菜等。其中具有低芥酸与低硫代葡萄糖苷特性的油菜新品种 H166、H165 已推广面积达 40 万亩。通过染色体工程获得的具有抗病、抗逆、适应性强及高产优质的小偃系列品种，15 年来已累计推广达 1 亿亩，增产小麦 60 亿公斤。茎尖培养及快速繁殖技术，我国已在 400 多种植物上获得成功。在“七五”期间我国已建立苹果、柑桔及葡萄无病毒母本园。香蕉的脱毒及试管苗生产已形成新兴的产业，年生产能力已达到 1000 万株苗以上。马铃薯无病毒原种场，全国脱毒种薯面积已近 400 万亩。在原生质体培养方面，我国在玉米、大豆、高粱、猕猴桃等 20 多种重要作物上首次获得再生植株成功。应用植物细胞大量培养技术生产有用次生代谢产物的研究，近 10 多年也已达到或接近国际先进水平，如新疆紫草、人参、紫杉等植物细胞的培养已进入中试阶段，我国已能研制较先进的气升或液升式生物反应器，“九五”期间可望实现植物细胞培养的工业化规模，使我国成为国际先进行列的一员。植物基因工程技术在我国已建立起一支较有实力的队伍，并取得了一批重要成果。如获得了具双抗（TMV + CMV）和单抗（TNV）的烤烟烟草，还获得了抗 TMV 的香型烟草。前者推广面积已达 50 万亩。此外还获得了抗除草剂（atragine）的大豆转基因植株，及通过苏云金芽孢杆菌的 BT 毒蛋白基因转化的水稻与棉花。“七五”期间还获得转基因抗虫杨树等。综上所述，经过从“六五”到“八五”的 15 年间，我国在植物生物工程的研究与应用方面建立了一支实力较强的队伍，取得了一系列重要成果，为国民经济的发展做出了重大贡献。

三、展望

恩格斯曾经预言：只有在物理学、化学及数学高度发展以后，人们才能真正认识生命运动的本质。事实正是这样。由于 19 世纪物理学和化学领域的许多新发现使人类认识生命运动的规律有了许多新的技术和手段。如电子显微术、超离心技术、放射性同位素、核磁共振波谱、光谱分析、色谱质谱联用及计算机技术等。由于这些技术的应用，推广了以研究核酸、蛋白蛋、酶等大分子结构与功能的生物化学的发展。植物学家们可以从分子水平上探索植物界的各种生命现象并揭示其规律，从而也推动了植物学各分支学科的发展，如系统与演化植物学、植物细胞生物学、植物细胞遗传学及植物分子遗传学等都赋予新的概念，充实了新的内容。一些新兴的学科迅速发展起来，如环境植物学、植物发育生物学、结构植物学与资源植物学等。在这些分支学科中又衍生了许多新的边缘学科，如数量生态学、遗传生态学、化学生态学、化学分类学、细胞分类学、分子系统学及生殖生物学等。总之，20 世纪是植物科学进入以分子生物学为率先发展的时期，同时也推动了植物细胞工程与基因工程高技术的发展。

那么，21 世纪植物科学发展的趋势和特点又如何呢？科学家们普遍认为在今后的若干年内，不仅植物学领域内的各分支学科，而且跨学科领域，如物理学、化学、数学、动物学、微生物学、气象学、地理学等将在更广阔的范围内实现学科之间的相互交叉与渗透。将运用最先进的技术手段，从而在更高层次上探索植物生命的奥秘和发生发展规律。此外，研究的空间尺度将从植物的分子、细胞、个体、群体直到全球范围。而时间尺度则从飞秒到皮秒、纳秒到微微秒到毫微微秒到秒到分、到时、到日月年，直到世纪以上。

根据上述的发展趋势和特点，在 21 世纪，植物科学究竟能为人类做出什么贡献呢？在这里我们仍需花费一些笔墨，简要地谈一下当今世界的自然状况。在过去的 40 年里，人类活动已造成了大气层的变化，臭氧层变薄、全球性 CO_2 浓度的增加。这些变化将会对人类自身的生存带来什么影响，科学家们尚不能作出准确的回答。此外，在过去的 40 年间，人类砍伐了约为 50 年代的 $1/3$ 的森林而未能恢复，滥用了近五分之一的表土，使六分之一的耕地盐碱化或沙漠化。最为严重的是，人类的生活方式已经威胁 $1/5$ 的植物、动物、真菌和微生物，它们在今后的几十年内可能会灭绝。人们正在消费、糟蹋着近 40% 的陆地净光合作用产物。尽管世界各国重视全球人口计划，但人口仍会继续增加至目前的 2 - 3 倍。对于人类赖以居住生存的地球来说，无疑已超过它的负载量。这些问题的产生和解决，可以说都与植物资源的合理利用、保护和改造有着直接间接的关系。为此，为在本世纪末实现我国国民经济总值翻两番的宏伟目标，植物学工作者的任务应是最大限度地、合理地开发、利用和改造我国的植物资源，特别要研究那些与生产发展密切相关的植物群体和个体，为国民经济的规划、资源的合理开发、国土整治及大农业发展的宏观战略决策提供基本资料和科学依据；在资料调查的基础上发掘出一批野生果树、药用植物、工业原料植物、名贵珍稀花卉，再通过引种驯化、组织培养、生物工程的方法加以改造，为农业、林业、畜牧业及植物原料工业作出更大的贡献；要努力推动各级自然保护区的建立，搞好植物园、定位站及实验站的建设，为保护物种，特别是珍稀、濒危植物的保护以及保持生态平衡，保护环境作出应有的贡献；组织各分支学科的交叉和结合，如组织

植物分类、植物地理、形态、细胞、生理生化及遗传等各方面的力量，结合研究栽培植物，野生近缘种的基因资源，为农业育种提供更多的原始材料，并采用传统常规方法与新兴生物工程技术相结合去改良现有的栽培植物，创造新品种，为农业粮食作物的增产作出重大贡献。为实现上述任务，必须要处理好经典学科与新兴学科的关系，传统技术与新兴技术的关系。两者不可偏废，而且应当密切地结合起来，才能使植物学的新成就尽快地转化为强大的生产力，强有力地促进我国国民经济的发展和社会的进步。

植物科学与未来农业

沈允钢

中国科学院上海植物生理研究所

沈允钢 植物生理学家。1927 年 12 月 2 日生于浙江杭州。1951 年毕业于浙江大学。历任中国科学院上海植物生理所研究员、所长。曾任中国植物生理学会理事长等职。1980 年当选为中国科学院院士《学部委员》。主要从事光合作用机理研究。

在即将跨入 21 世纪之际，展望一下未来农业的前景是非常必要的。虽然大家都认为农业与人类生存、社会发展有密切关系，可是对其重要性却并不是都看得很清楚。这会影响人们对待它的态度。

一、人们对农业的需求将上升到新的高度

在古代，人们的吃穿用基本上都来自农业。近几百年来，随着工业的兴起，矿产资源的大量利用，社会发展很快。这使从事农业的人口在减少，农业在国民生产总值中的比重在下降。因而一些人产生错觉，以为农业的重要性降低了。其实我们必须看到，这样的历史进程同时也导致当今世界面临的人口、食物、能源、资源和环境等一系列问题日趋严重，而要解决这些问题和农业的关系非常密切。人口剧增带来的麻烦很多，其中最根本的问题就是如何养活那么多人口。“民以食为天”，而人们的食物直接或间接都是靠植物提供的。虽然现在科学技术进步很快，可是至今还没有人能设想得出如何从其它途径获得这么多大量适合人类需要的食物。因此，在可见的将来，要满足人们日益增长的食物需求，仍然只能依靠加强和改善农业。对于我国来说，这问题特别严峻，因为我国人均耕地远远低于世界平均水平。虽然通过多种努力，在 1984 年全国粮食产量达到了人均 400 公斤，初步满足了温饱的需要，可是人口在继续增加，耕地却因各种建设等原因大量改作它用而在不断减少。结果使得近十几年来人均粮食水平非但没能进一步提高，反而略为降低。今后我国人口总数还将增加。据估计，2030 年左右其峰值要达到 16 亿。怎样保证日益增长的食物需要，实在是头等大事。

现在的物质文明是建筑在消耗大量能源的基础上的，可是石油、天然气和煤等化石能源在急剧减少，人们不得不考虑从各个方面寻找新能源。虽然有不少可开拓的途径，但都尚存在技术困难或数量有限等问题。其中，地球上植物每年固定的太阳能为人类每年消耗的全部能源的 10 倍，这当然使人想法设法通过农业来提供更多的可再生能源。现在，已经有一些实用的例子。例如，巴西在种植甘蔗生产酒精代替部分石油，欧洲在尝试从植物油脂制备生物柴油，我国不少地方在利用农业废物发酵生产沼气作燃料等。随着科学的进步和能源矛盾的尖锐化，这方面的应用必然会有更大的增加和发展。

目前农业已经在为纺织、造纸、建筑、橡胶、发酵和医药等许多工业提供大量原料。近几年来，其中不少已被一些石油化工产品所部分代替，如人造纤维、人造橡胶和许多种类的塑料制品。在矿产资源逐渐枯竭的情况下，人们在努力探索扩大从农业获得可再生资源的途径。人们可以直接由生物材料制成多种物品，也可以经过一些化学和物理处理，改变它们的性质，使其

更符合人类的需要。目前市场上常见的一些利用植物材料制成的化学纤维、人造板等就是已在开发应用的例子。

矿产资源的大量开采应用、工业生产废物的任意排放，以及农药化肥的乱施和森林的滥伐都在不断恶化自然环境，产生一系列严重后果，包括使农业减产，危害其持续发展。人们常常只注意环境污染直接对人类健康的影响，而不太想到污染对农业的损害。环境被污染时，植物的生长发育首当其冲地受到干扰和破坏。而且，不少对人类有害的污染物质常常是先由植物吸收再通过食物进入人体的。此外，由于大量使用化石燃料而造成大气中的二氧化碳浓度不断上升，它有温室效应会显著改变全球的气候，这将对农业生产有复杂的影响，使人们焦虑担心。

展望未来，人类前进的道路上已经明显地存在着许多严峻的困难和险阻，必须千方百计地寻求克服的办法，才能使今后的日子过得一代比一代幸福。其中，加强农业是根本。因为如上所述，社会发展对它依赖的深度和广度都在增加，要求它能在兼顾社会效益、经济效益和生态效益的前提下提供更多更好的食物、可再生能源和资源。这是不容易做到但又必须做到的。对于我们中国，任务更为艰巨。由于我国的经济在高速发展，各方面的矛盾更易突出起来。我国 1994 年遇到自然灾害，农业略有减产而粮食进口多了一些就引起了不少问题。我国现在已变成石油净进口国，而能源的需要尚在大幅度增加。至于环境污染的问题更是日益增多，许多地方出现的酸雨，这会使农业受到长期的损害。如何能使我国农业保持持续发展实在很不容易。这需要多方面的共同努力，依靠科技兴农是其中的关键。

二、植物科学与农业的关系

科技兴农有许多方面，它们对农业可起多种多样的作用。农业是什么？在《辞海》“农业”条目中这样说：它是利用植物和动物的生活机能通过人工培育以取得农产品的社会生产部门。通常分为种植业和畜牧业两大部门。在中国农村中，习惯上分为农（农作物栽培）、林、牧、副、渔五业”。两种定义虽不尽相同，但其核心却很明确，是种植业，包括在耕地上培育作物和在地球其它表面上人们不同程度地干预着植物生长的各种活动。农产品直接或间接都是从种植业得到的，因为养殖业和多种捕捞业及加工业必须建立在种植业的基础上。种植业的对象是植物，因此研究植物生命活动的科学，是和农业的核心有着密切关系的学科。它的发展使人们对种植业的认识和实践都前进了一大步。人类在几千年的农业劳动中，对如何利用植物的生活机能来取得更多更好的农产品累积了不少宝贵的经验，但是对于植物究竟是靠什么长大的，并不很容易搞清楚。古希腊的著名哲学家亚里士多德凭直觉以为植物是靠从土壤中吸收养分长大的。我国明代的宋应星却想到人吃进去的食物（多半是植物来源的）量大，而排出物量少，其余的看来都变成气了。既然它们可变成气，因此他说“所食之物皆气所化”。这明确是很有见解的分析，可惜终究只是推测而已。通过植物生命科学的大量实验研究，如今人们已知道，植物体中的物质主要是它进行光合作用利用太阳能将二氧化碳气和水合成的有机物变成的，从土壤中吸收的无机养分只占很小一部分。植物所必需的元素已知有 17 种，即碳、氧、氢、氮、钾、钙、镁、磷、硫、铁、氯、锰、硼、锌、铜、钼、镍。其中碳、氧、氢来自二氧化碳和水，共占植物干重的百分之九十几，氮、钾、钙、镁、磷、硫来自土壤（其中豆科植物

的根瘤等可固定利用空气中的氮气)，共占植物干重的百分之几，称常量元素；其余八种元素也来自土壤，总共只占植物干重的千分之一都不到，称微量元素。这些元素虽然在植物中含量不同，却对其生命活动都是必需的，缺少了生长就不正常。现在已可将植物种在水里，加入上述无机营养，就可以在阳光下茁壮地成长。有了这样的知识，就可以使我看清楚，种植业的实质，就是人们采取多种措施来保证植物的生命活动使植物能进行旺盛的光合作用形成有机物，并且尽可能多地使之转化成我们所需要的农产品。

近几十年来的科学实验不仅使我们明白了许多植物生命活动的规律和机理，并且还找到了不少调控途径。它们有的已在生产实践中广泛应用，对于将传统农业推进到现代农业起了十分重要的作用。

例如，因为知道了植物需要从土壤里吸收哪些无机营养，而土壤中有的常常供应不足。于是就出现庞大的化肥工业来生产这些肥料，并且在农业生产中建立了各种施用化肥的技术，使种植业的产量成倍增加。人们了解到水分是进行光合作用的原料，但它占农业耗水的比例并不大，不到几百分之一，绝大部分都是蒸腾、蒸发和渗漏掉的。人们掌握了作物生长发育的特性，知道不同时期缺水对它生命活动的影响是不一样的，可以设法提高作物的用水效率，于是就发展出了多种形式的节水农业，使干旱地区也有较好的收成。

又如，为了使粮食作物在田间能较好地利用太阳能并将所形成的有机物尽可能多地变成人们所需要的农产品，科技工作者培育出了矮秆直立叶型的水稻、小麦和玉米等品种，矮秆可以提高作物的经济系数和减少倒伏的可能性，直立叶很重要的好处是使太阳光可在作物群体内较均匀地分布，适合叶片利用光能的特性，显著提高光合效率，从而使产量大幅度上升，这被称为一次“绿色革命”。

至于因为掌握了调节植物生长发育的一些途径而创造设计出来不少改善作物特性的办法，更是不胜枚举，这包括一系列育种技术和喷洒多种多样的生长调节物质及除草剂的措施。它们使人们在一定程度上可以控制植物的生命活动，让它朝着人们所需要的方向发展。现在的农业生产中，通过生长调节物质处理来影响作物和果树的株型、开花时期、数量和结实率等已成为常用的重要操作。这完全是从几十年植物科学研究成果发展出来的新型技术。

此外，由于了解了种子、果实等的生理特性，使人们可以用多种物理和化学的办法延长农产品的保鲜贮存时期，显著改善了它的运输、上市条件。这已成为现代农业中产加销一体化的基本环节。

这儿只是简要地谈了植物科学在农业中普遍应用的一些研究成果，有的已变成了常识，它们的确引起了农业的栽培管理方式和生产水平较之几十年前发生了巨大的变化。它们是使传统农业转化为现代农业的重要组成部分。

三、未来农业的展望

由于科学技术的飞速进步和社会的持续发展正面临严重问题而对农业提出更高的要求，未来农业将呈现出许多新的特点。从植物生命科学研究动向可以看到，以种植业为核心的各种类型的农业正在登上更高级的台阶。其主要特征是人们力求不是通过避免耗用更多的资源和引起更多的公害前提下，更好地依靠科技来促进生产增长。

1. 适应农业在今后相当长的一段时期内，大田农业生产还难于摆脱气候变动的影响。这是因为种植业的基本过程是利用太阳光来合成有机物。太阳

光的确是非常巨大的能源，地球上所有植物一年中固定在合成的有机物内的能量还远远不到在这期间照射到这星体上的能量的千分之一。可是太阳光是分散地照射在整个地球表面的，人们要在大田中栽培作物来利用它就不得不让作物暴露于不断变化的大气环境中。虽然人们也可以通过灌溉等措施略加调节，但主要还得依靠控制作物的生长来适应变动的气候，因而收获难免时丰时歉。可是气象预测预报的精确度在日益改善，人们监测和调控作物生长动态的能力在不断提高，所以农业生产中有可能及早根据预知的当年气候状况和作物特性，通过应用计算机技术的数学模拟，对在预测气候情况下的作物生长动态制定出作物栽培的最佳计划。例如，通过选择合适的品种和恰当安排茬口，使稻麦等作物开花结实形成产量的关键时刻恰巧能和预测的良好天气相遇。在实际执行过程中观察到有不尽符合之处，可以采取多种措施进行微调，使作物生长与气候变动配合良好，从而保证获得高产、稳产。根据植物科学研究结果，在自然条件下植物利用太阳辐射形成有机物的最高能量转化效率为5%左右，大致相当于一年每亩收获5000斤谷物。实际上，由于气候、栽培条件和作物生育特性的限制，只有在作物的一个生长阶段可接近此理论效率。因此，我国近几年来有些地方出现的吨粮田，的确可以说是在气候正常及水肥充足的条件下达到相当高产的水平了。未来的适应农业，必须设法使更多的地区可以经济、有效、且每年较稳定地得到这样的高产，并且使收获物具有优良的品质。

2. 非耕地农业 耕地(包括林区和草场)上的土壤是岩石经长期自然风化和人工培育而成的非常宝贵的适于作物、树木和牧草栽培的基质。要满足人们未来对食物及可再生能源和资源需要，不但要尽一切努力保护和改良耕地，并且必须应用植物科学研究成果千方百计地将地球其它表面上的太阳能也尽可能通过各种形式的栽培管理使植物生长而利用起来，为人们提供农副产品。耕地上种植作物是人们进行农业生产最行之有效的栽培方式，因此人们常常想通过开荒来弥补不断挪作它用而减少的耕地损失。可是，这必须慎重对待，因为轻率行动会使原有生态环境破坏而引起灾难性后果。国内外都发生过这样的事例。所以，应该尽可能因地制宜地来设法利用，扩大农业的范畴。在荒漠等不毛之地种植高抗植物、在屋面无土栽培蔬菜、在水域大规模培养藻类植物等都是些开端事例。如在山区种植板栗等“木本庄稼”，在荒漠栽培有助于改良土壤和用途广阔的沙棘，在城市屋顶墙面见光插绿地以新技术栽培蔬菜，在水域大规模培养海带、紫菜和螺旋藻等。

3. 环控农业 现在的蔬菜、瓜果、花卉等栽培中，应用塑料大棚和玻璃温室等设施已相当普遍。今后还将扩大。我国现在至少已有几百万亩地采用这样的覆盖栽培了。随着城镇的进一步发展，为保证蔬菜的供应，其郊区必然会增加环控农业。它使作物的整个生长环境都处于密闭系统中，其作用远远不限于保暖。空气流通显著受影响，光照也变弱了。这增添了许多管理困难，但也使人们有可能用高新技术按照植物生长的需要较好地控制环境条件，将增产潜力更充分地发挥出来。因此，未来的环控农业将高度采用根据植物科学研究结果而发展出来的温度调节、溶液培养、光周期变更、二氧化碳施肥、生长发育和株型调控等设施和技术，使得到的收获比大田高数倍，并且能多品种常年均衡供应。

4. 工厂化农业 未来农业要很好地做到能兼顾社会效益、经济效益、生态效益。除了高产、优质、高效地搞好上述三种类型农业外，还必须发展精确

调控特殊作物代谢过程的生产车间和深度综合利用种植业所形成产物的工厂化农业。现在农村中发展的多种类型的试管苗生产和将养殖业、农副产品加工业和沼气站有机结合起来的系列化企业在朝这个方向前进。今后将进一步采用高新技术（其中很多是由植物科学延伸而成的）使之形成一个有助于生物圈良性运转的高产出、高效益的完整体系，使农村真正成为利用太阳能生产人类所需要的食物、可再生能源及其它资源并且维护适宜生活环境的主要基地。

21 世纪的癌症与 肝癌研究的启迪

汤钊猷

上海医科大学

汤钊猷 肿瘤外科专家。1930 年 12 月 26 日出生。广东新会人。1954 年毕业于上海医科大学。曾任上海医科大学校长，现任上海医科大学肝癌研究所所长、教授，兼中华医学会副会长。1994 年当选为中国工程院院士。60 年代末从事肝癌研究，特别在肝癌临床诊治和相关基础研究方面成就显著。他最早系统进行了小肝癌研究。

我国是发展中国家，但疾病谱却很接近发达国家，特别是城市，癌症与心脑血管疾病已成为死亡的首要原因。因此，癌症的防治与研究在我国迈入 21 世纪之际，有十分重要的意义。1995 年卫生部的统计，肝癌已成为我国第二位癌症杀手，在农村仅次于胃癌，在城市则仅次于肺癌。为此，无论肺癌、胃癌或肝癌的研究均至关重要。

一、21 世纪的癌症

1994 年 10 月在印度新德里召开了第 16 届国际癌症大会，这是 4 年一度最大的癌症大会。由于会前发生的肺鼠疫问题而使与会人数减少一半以上。我代表中国连任国际抗癌联盟理事，并作为主席主持了肝癌分组会。总的来说，癌症的防治与研究进展不小，但问题也不少。在癌症的预防中，吸烟，饮食与病毒因素不容忽视；中晚期病人的姑息性治疗仍然是一个长时期的实际问题；癌症研究深入到分子水平是当前一个特征，但临床应用仍有不小的距离；癌症问题同样是一个社会与经济问题。

1. 未来全球癌症趋势：1985 年全球有 760 万新病人，500 万人死于癌症，其中发达国家与发展中国家各占 50%；预期 2000 年将有 1030 万新病人，有 710 万人死于癌症；至 2010 年的病例数——欧洲将增加 27%，北美增加 44%，拉美增加 101%，非洲增加 116%；发展中国家癌症增加比发达国家多，主要是污染工业向发展中国家转移的结果；1985—2000 年癌症病例的增加还与人口的增加有关，届时全球人口将由 49 亿增至 63 亿，此外还与人口老龄化有关，大于 65 岁的人口也将由 6%增至 6.8%。未来的癌症谱也有一定变化，上升的癌症包括肺，大肠，乳和前列腺癌。在男性中，肺癌将占 18%，胃癌 12%，大肠癌 9%；在女性中，乳癌占 19%，宫颈癌占 12%，大肠癌 9%。

2. 预测 21 世纪癌症的危险因素：（1）与烟相关的癌约占 30%。包括口、咽、喉、肺、食道、胃、胰、肝、膀胱、尿道与宫颈癌等，尤其在发展中国家，无论是吸烟还是嚼烟均可引起癌症，已发现烟特异亚硝胺可能与口和食道癌症有关。（2）与饮食相关的癌约占 35%。如高脂肪饮食与结肠癌，乳腺癌（？），前列腺癌（？）有关；食物中纤维素少与结肠癌有关；盐是胃癌的促癌剂。（3）与感染相关的癌亦占 10%以上。主要为病毒，如 EB 病毒

与淋巴瘤，鼻咽癌等有关；乙型和丙型肝炎病毒与肝癌有关；乳头状病毒则与宫颈癌，肛门生殖道癌，扁桃体癌有关。（4）其他：与生育有关者占6%；与职业有关者4%；酒3%，日光3%，污染2%，医源性1%，性相关1%，工业<1%，食品添加剂<1%，其他还有肥胖，运动，应激等。我国观察到肝癌发病与饮水污染有关，如蓝绿藻为水中促肝癌物。

发展中国家癌症的预防应采取价廉、实用、有效的办法。具体途径有：戒烟；饮食中提倡多食黄绿蔬菜，高胡萝卜素可降低癌的发病率，提倡“Carotene instead of nicotine”，“Prevention of cancer by one carrot a day”；此外，研制防癌疫苗也是一个方向，如乙型肝炎疫苗可用以预防肝炎从而降低肝癌的发病率。

3. 现代肿瘤学的特征是生物学与临床的结合：预期传统的外科手术，放射治疗和化学治疗仍为常规疗法，但如离开肿瘤生物学，其发展将受到极大的限制。抗癌药的研究由于分子生物学的进步而进入迅速发展的新阶段。一方面是旧药新用，如一种称为CSF的药，可减少化疗引起的白细胞下降，使化疗能用较大剂量；另一方面是近年的一些新发现，为抗癌药研究提供了新思路。如很多癌对化疗有耐药问题，已发现它与耐药基因有关，研究耐药基因的调变剂就是一条新路。生物治疗已成为继手术、放疗、化疗后癌症的第4大疗法。

4. 癌扩散的防治是当前肿瘤学的重要课题：癌侵袭与转移的生物学是当前的一个研究热点。癌细胞要“过五关斩六将”才能转移到别处，它首先要失去粘附性才能侵犯邻近组织，然后要能够通过细胞外基质，进入血流后又要能耐受机体免疫细胞的杀伤才能到达靶器官。现在对这一复杂过程的分子机理已有不少认识。对癌扩散的防治也有几套办法：如（1）旧药加大剂量，多药治疗。（2）新药探索，如旧药的同类物，生化调节剂，生物治疗剂（如干扰素，白介素），多药耐药基因修饰剂。（3）新的方向，如用“反义”的办法，控制某些癌基因的过度表达，抑制“抑癌基因”的失活。（4）新途径，如基因治疗（补充丢失基因，调节过度表达的基因，带基因抗体……），肿瘤免疫（如新型瘤苗），分化诱导治疗（如维甲酸有使癌细胞变为较正常细胞的作用）。

5. 基础研究：（1）研究“癌变”是一个主题。即各种致癌与促癌物通过什么环节使正常细胞变为癌细胞的。近年从细胞水平到分子水平都积累了不少资料。（2）“癌的生物学”是另一个突出主题。研究包括癌细胞膜与正常的有何不同，如“糖”的结构就有很大的不同；正常细胞是如何由好变坏，癌细胞有无可能“改邪归正”；癌为什么能不受控制地分裂；癌细胞是通过什么办法侵犯正常细胞的（侵袭，转移）。在这些研究中，癌基因和生长因子的研究占相当地位。在与治疗相关的基础研究中提出了一个新的概念，即是否可能使癌细胞和正常细胞一样恢复“老死”，即诱导细胞凋亡（细胞的程序性死亡），所谓凋亡乃细胞主动的自身破坏。细胞凋亡的研究被认为是细胞生物学和肿瘤生物学的重要里程碑。实际上肿瘤的发生与“增殖-凋亡”失调有关。已发现一些癌基因和生长因子，放疗和化疗等可诱导凋亡；而另一些则可抑制凋亡。

有人认为，现代肿瘤学已进入一个新的阶段，其主要研究是“正常与癌细胞生物学的分子基础”，它包括恶性转化的多阶段，恶性生长的信息传递，治疗的分子目标，癌基因与抑癌基因的作用等。

6. 癌的社会-经济因素：资料表明，社会-经济差的阶层癌症发病率高，并以胃、肺、宫颈、肝、食道癌为多见；在发达国家中，低薪阶层也有同样现象；近年贫富悬殊加大，80年代贫富比为29倍，而90年代达93倍；然而，发达国家人口虽少，但癌症并不少于发展中国家。

二、肝癌临床研究的启迪

原发性肝癌（简称肝癌），是由肝细胞或肝内的胆管细胞演变而来，它与乙型和丙型肝炎感染，食物中有黄曲霉毒素，以及饮水污染等有关。肝癌历来被称为不治之症。肝癌自建立其科学基础以来已有百余年历史，但进展缓慢。50年代由于肝内解剖生理研究的进步使大肝癌可以较安全地切除，约使5%-10%的病人受益；60年代由于免疫学的进步导致肝移植问世；70年代血中甲胎蛋白检测用于普查，开辟了肝癌临床研究的一个新领域——小肝癌的研究，它使第二个5%-10%的病人受益；80年代医学影像学（如超声显像，X线电子计算机断层显像-CT，等）的突飞猛进，使1cm小肝癌已被检出；很多局部治疗方法问世，如经导管动脉化疗栓塞术，肿瘤内无水酒精注射等；局部治疗与综合治疗的进步导致“不能切除肝癌的缩小后切除”这一命题的出现，它可能在90年代使第三个5-10%的肝癌病人受益。概言之，肝癌的诊断已由“较难”变为“较易”，预后也由“不治”变为“部分可治”。

1. 获得肝癌长期生存者的途径：过去肝癌病人生存5年以上者极少，有人统计1905—1970年的65年间全球仅有45位肝癌病人生存5年，平均每年还不到1个病人。上海医科大学肝癌研究所至1994年底，已有212人生存5年以上，其中57人生存10年以上。此212位生存5年以上的病人中：小肝癌切除109人（51.4%），大肝癌切除74人（34.9%），不能切除肝癌的缩小后切除17人（8.0%），切除以外的外科治疗12人（5.7%）。为此，早期切除占最主要的地位。

2. 小肝癌研究的启迪：过去大肝癌切除，5年生存率仅20%左右，而我所549例小肝癌切除则达62.9%。问题是这个结果是如何取得的。我们从事小肝癌研究20多年，经历了一系列变革。首先是变等病人为找病人，即到有肝病背景的高危险人群中去普查，因为枣子大小的小肝癌，病人多数没有症状，因此坐在医院等是等不到小肝癌病人的；然后是更新诊断概念，以前靠四大症状和同位素扫描，发现的肝癌至少已有苹果大小，现靠对甲胎蛋白与影像学的分析，花生米大小的肝癌已不难查出；三是打破过去的常规，对有肝硬化的病人如采用教科书上的肝叶切除，则肿瘤固然被切除，而病人则常困难以耐受巨量肝切除而死亡，我们破常规采用过去认为不正规的局部切除，结果不仅手术死亡率低，且提高了切除率和生存率；过去认为癌手术后一旦复发即没有希望，我们根据小肝癌的经验，在症状还未出现前即诊断出亚临床期复发，并积极进行再切除，使5年生存率在原有基础上又提高了10%—20%。

3. 小可变大，大能否变小？小肝癌有了办法，但占肝癌大多数的大肝癌仍然是一个极大的问题，尤其是不能切除者，意味着没有根治希望。从辩证法的角度，小可变大，大也应能变小。我们在70年代偶然观察到一个病人经治疗后肿瘤缩小，切除后居然生存得很好。从而提出“不能切除肝癌的缩小后切除”（或称二期切除）的命题。这个命题的关键是如何使肿瘤有效的缩小。我们又进行了两项变革：改单一治疗为综合治疗，研究导向治疗。我们

意想不到地发现，综合治疗如搭配得当， $1+1$ 可大于2。另外，经过10年的研究，证明导向治疗如同军事导弹一样，是一种能大量杀伤肿瘤的有力武器，但其单一应用，难以达到100%消灭癌细胞的目的。为此，当肿瘤缩小时，要用手术的方法加以切除。我们又没有想到，原先没有根治希望的不能切除大肝癌，经缩小后切除，其5年生存率竟能与小肝癌切除者相比美，我们用这个办法又救治了上百位病人。这样，整个肝癌的治疗又前进了一步。

4.新的难题又在前头：尽管小肝癌和大肝癌的缩小后切除均使肝癌的疗效提高了一步，但所有的肝癌切除后均遇到复发和转移的问题。我们又用分子生物学的办法研究了肝癌复发的来源，结果发现，复发既可来自切除时漏网的癌细胞，也可能是另外长出一个新的来。后者要采用病因预防的办法，前者则要研究癌的侵袭性。这将是比前两个任务更为艰巨的事情。于是我们又得从头做起，由于不能在病人身上做试验，我们很不容易用动物建立了一个转移模型，在分子水平研究了与癌细胞侵袭性有关的癌基因和生长因子，研究了在转移模型阻断转移的各种办法……也许这就是肝癌临床研究的第三个战役吧。人们认识自然和改造自然就像这样永无止境。

三、寄希望于年轻一代

中华人民共和国的成立意味着中国人民在政治上站起来，当前波澜壮阔的经济建设正预示着21世纪中国人民在经济上的崛起，但是中国人民要站立在世界民族之林，还要在科技文化上站到前面。记得1978年我第一次出席第12届国际癌症大会时，我们的报告很不被重视。时隔3年，主要由于小肝癌的研究，在1982年的国际会议上我们已开始得到重视，成为主席台上7人之一。1990年的15届国际癌症大会我当上肝癌分组会的共同主席，到16届国际癌症大会时，我已成为肝癌分组会的主席。而且我们还先后在1986、1991和1996年成功地举办了有500—600人出席的上海国际肝癌肝炎会议。但是要保持这个优势，需要新一代的努力。你们年轻人是跨世纪的一代，希望寄托在你们身上，希望大家增强信念，肩负历史重任，打好基本功，勇于改革创新，团结奋斗，以健康的体魄迎接21世纪的挑战。

生物技术在我国农业增产中的作用

郝水

东北师范大学遗传与细胞研究所

郝水 植物细胞生物学家。1926年10月4日生,内蒙古自治区通辽人。1949年毕业于东北大学,1959年苏联列宁格勒大学研究生毕业,获苏联“生物学副博士”学位。历任东北师范大学生物系教授、副系主任、副校长、校长,东北师范大学遗传与细胞研究所所长,曾兼任吉林省生物研究所所长,1993年当选中国科学院院士。主要从事染色体和染色质、植物染色体工程、植物细胞工程研究。

我国人口众多。农业,特别是粮食生产是一个重大问题。中央强调要把加强农业放在发展国民经济的首位。这一指导方针必须得到认真贯彻。中国的粮食问题不仅我们自己重视,而且受到国际上的关注。前些时美国世界观察所所长布朗(L.R.Brown)预测,中国人口增长高峰期2030年粮食将严重不足,甚至认为世界都将无法养活中国。最近我国许多专家从不同角度对中国农业的发展前景做了深入分析,一致认为我国农业生产的发展潜力是很大的,下世纪中国人能养活自己。其主要根据如下:

1.我国的耕地面积过去公布的是0.94亿公顷,现经多年核查确认为1.33亿公顷。

2.中低产田大约占我国耕地面积的70%。据测算,如果经过改良土壤,改善灌溉施肥条件,把低产田变为中产田,把中产田变为高产田,这项增产潜力可达1亿吨粮食。若把全部中低产田改造成高产田,则可增产2亿吨粮食。

3.提高单产水平是增加粮食的重要途径。近些年我国在应用综合的优化配套技术把高产田提高到亩产达1000公斤的吨粮田方面显示出粮食单位面积产量还有很大潜力。高产田如果有3亿亩建成吨粮田,就可生产粮食3000亿公斤。说明我国粮食增产潜力是巨大的。

4.我国除耕地外,尚有3.9亿多公顷草地,面积是现有农田的3倍多。其中生产条件较好的草地有8000万公顷。合理开发利用和改良这部分草原发展畜牧业潜力很大。它是改善我国人民食品结构,用肉蛋乳代替粮食消费的基础。

5.我国有200万公顷内陆水面,淡水养鱼年产已达700多万吨。我国海岸线很长。除远洋和近海捕捞外,建国以来海水养殖业发展很快,人工养殖海带、紫菜、贻贝、扇贝以及对虾和某些海鱼都收到可观的成效。现在年产量可达360万吨。计划2010年要达到1000万吨。淡水和海水将能提供越来越多的高蛋白食品。

综上所述可以认为即使到2030年人口高峰时我国的农业产品也可供养16亿人口,并达到较好消费水平。

以上分析是按当前的技术水平粗略测算的,尚未考虑生物技术等先进技

术的应用将给农业生产带来的巨大作用。下面我想对生物技术在种植业上的应用做一概论介绍，谈一些粗浅看法。

一、生物技术的基本概念

生物技术 (Biotechnology) 是近 30 年发展起来的新技术。它已经并正在不断地使与生物有关的生产过程发生革命性的变革。因此被列为现代高新技术的一部分。生物技术应用范围很广，在工农业生产上都有广泛用途。

生物技术在农业生产上的应用主要是两大技术：细胞工程和基因工程。它们在农、牧、渔业生产中都可发挥重要作用。细胞是构成动植物体的基本单位。现代的细胞生物学研究证明，植物细胞具有全能性，即一个细胞在体外培养的条件下可以再生一个完整的植物。这一原理的揭示和各种有关技术的开发为作物品种改良和良种繁育开辟了一系列新技术。它们统称为细胞工程。

支配生物性状的遗传单位统称为“基因” (gene)，基因是 DNA 分子中的一个区段，具有特定的核苷酸序列。一条 DNA 大分子中存在大量不同的基因。把所需的目的基因由 DNA 切离，装在特定载体上，并使之增殖，最后把它转入要改良的经济动植物中，达到改良品种的目的。被转化 (改良) 的动植物分别称为转基因动物或转基因植物。

二、生物技术在种植业中的应用

与种植业有关的生物技术种类繁多，功用各异，分述如下：

1. 组织、细胞培养

单个细胞或由许多细胞构成的植物组织在体外培养情况下可以再生完整植株。利用植物细胞的这种全能性在生产上可以快速繁殖各种经济植物。这种细胞工程技术已广泛用于名贵花卉、蔬菜、果树的优良品种的快繁上。快繁技术可以比普通的营养繁殖提高效率几百乃至几千倍以上。现在国外利用这一技术已形成花卉工业和种苗种薯工业。

研究表明利用茎尖培养可以使再生的植物脱毒复壮。因此快繁和脱毒技术相结合在生产上可以取得巨大效益。国内在果树、花卉、蔬菜等方面已取得相当的成绩，如南方的香蕉、柑桔和北方的苹果，山东的葡萄都已开始建立试管苗工厂。特别是快繁脱毒技术相结合已使马铃薯的种薯生产技术发生了革命性的变化。脱毒的试管苗或微型薯的应用不仅可节约播种用种薯，而且解决了脱毒复壮问题，从而可以大幅度提高产量和产品质量。

我国应用组织和细胞培养技术建立的试管苗工厂与国外同类企业相比起步晚，规模小。目前尽管面向国际出口的产品还很少。同时还存在资金、管理、市场开发等诸多问题，但这一产业的前景和潜力都是毋庸置疑的。

细胞在体外培养过程中还可以人工诱发突变并在一定的逆境条件下进行选择，有目的地选育具某种抗性的突变体，从而为作物的抗性育种提供宝贵的材料。这方面的研究近 10 多年来取得许多进展，但在重要作物育种上的成功应用还很少。

2. 花药培养

植物花药中含有大量的花粉母细胞 (小孢子母细胞)，这种母细胞通过减数分裂染色体数目减半，产生单倍体花粉 (小孢子)，花粉经过细胞分裂和发育产生精子。花药在离体培养情况下其中的花粉能够再生出完整的植

株。此谓孤雄生殖。现在这一技术在常规的杂交育种中得到有效的利用。把杂种 F₁ 的花粉拿来培养，由花粉得到的再生植株因为是单倍体的，或者经过人工或自然加倍成为纯合二倍体，它们的表型都反映出其基因型，这样就克服了常规杂交育种中显性掩盖隐性难以有效选择的困难。并且因为都是纯合二倍体后代不再分离。因此利用花药培养技术可以对杂种 F₁ 后代进行早期选择，从而大大加快育种过程，缩短育种周期。

我国应用花培技术与常规杂交育种相结合，在“七五”和“八五”期间已经育成许多水稻、小麦和油菜新品种，在生产上发挥了重要作用，取得了显著经济和社会效益。

我国水稻和小麦花培技术在育种中的应用在国际上处于领先地位，但是从全国看迄今的成就还仅仅是开始，未来的发展潜力是很大的。

我国玉米增产的一个重要措施是利用杂种优势。选配优良的杂交组合必须有理想的自交系。传统的技术培养一个自交系（纯系）要花费 4—6 年的时间，且往往难以保证其纯合性。利用花药培养技术可以更快地得到更纯的自交系。我国利用花培技术已获得大量不同的自交系，在杂交组合的配制上发挥了一定作用。但是迄今用花培技术获得的优良自交系还不多，应用面也不够广，还有很大潜力。

3. 原生质体培养与体细胞杂交

脱去细胞壁的植物细胞称为原生质体。原生质体培养技术有各种用途。其一是可进行体细胞杂交。改良植物遗传基础的一个重要途径是远缘杂交。但由于生殖隔离机制远缘植物间的有性杂交难以成功。但是远缘植物的原生质体在体外培养中很容易融合，从而可以实现体细胞杂交。迄今通过这种体细胞杂交获得的远缘杂种在生产上的应用还处于探索阶段。由于体细胞杂交的目的是利用远缘植物的基因改良受体植物，所以获得不对称杂种（即受体细胞和供体细胞的部分遗传结构融合的杂种）是重要的，这方面的技术正在研究中。原生质体培养的另一途径是便于引入外源有用基因，实现植物基因工程的操作，以获得转基因植物。

4. 染色体工程

应用染色体工程改良作物已有很长的研究历史，对小麦改良取得的成果最显著。因为小麦和许多亲缘植物（黑麦、偃麦草、山羊草、簇毛麦等）容易杂交，从而把单倍的染色体组带给小麦，在这样的杂种和小麦回交的后代中可以得到附加一对异源染色体的材料，称之为异附加系。附加到小麦细胞中的异源染色体如果带有改良小麦所需要的有用基因，那么通过自然易位或人工诱发易位可以把带有该基因的异源染色体片段整合到小麦染色体上。这样的材料称为易位系。染色体工程就是通过这样的技术路线实现用远缘植物（不同种属的亲缘植物）的有用基因改良小麦。

我国的染色体工程研究起步较晚，但发展很快，迄今已育成一些高产、多抗和品质好的小麦新品种，有些品种推广面积很大，取得了明显的经济和社会效益。

5. 基因工程

这是潜力最大，用途最广，难度也最大的技术。应用这种技术可以把任何外源基因转移给要改良的作物。其基本过程是获得体外纯化的目的基因，把它组装到一定的载体上（通常用的是称作质粒的环状 DNA），然后采用一定技术（通过与根瘤农杆菌共培养，PEG 介导、电击法、基因枪法等）把带

有目的基因的载体导入原生质体、细胞或组织，培养转化的细胞进行筛选，使之再生完整植株。对所得的工程植株进行分析鉴定并筛选出稳定的株系。目前在抗除草剂、抗病毒和抗虫的基因工程植物的研究方面进展较快，在番茄、大豆、油菜、烟草、苜蓿和棉花等作物上已有一些成功的报道。国内在利用苏云金杆菌（*Bacillus thuringiensis*, BT）毒蛋白基因转化玉米、棉花方面取得初步成功。正围绕生产应用开展进一步的工作。

通过基因工程改良作物遗传基础的难点主要是：

（1）对改良主要作物可用的目的基因现在还很少，这是制约作物基因工程的重要因素。

（2）目的基因在转化植物中的稳定表达，特别是遗传的稳定性还需进行深入研究。关于目的基因在受体细胞染色体上的整合过程和机理现在还几乎完全不清楚。

（3）作物的大多数经济性状都是由多基因决定的，目前对这类性状的主效基因的识别、分离和纯化还要开展许多基础研究。

我国在基因工程的研究与技术开发上与发达国家相比还有相当大的差距。

三、关于发挥生物技术在水 作物增产中的作用的意见

从上述可见各种生物技术对作物的增产具有十分重要的作用。这些技术有的已经成熟，有的接近成熟，有的还要做许多基础性和探索性的研究。面对这种状况应该采取什么战略让生物技术在我国作物增产中发挥应有的作用，这是关系到农业增长方式由粗放型向集约型转变的大问题。下面就此问题谈一些粗浅意见：

1. 让成熟的生物技术尽快应用于生产，转化为生产力。植物组织细胞培养技术已经在果树、蔬菜和各种花卉的生产中开始应用，但范围不大，数量不多。如何更快地发展这类产业要解决的问题很多。首先应鼓励创办农业生物技术企业，从税收、信贷等政策上给以优惠。因地制宜选好生产品种。例如在马铃薯产区生产脱毒的试管苗或微种薯，尽快使我国马铃薯无毒化。应用快繁技术生产优良果树品种的苗木，大幅度提高我国水果的产量和质量。

2. 大力推广粮食作物（水稻、小麦等）的花粉单倍体育种，使花培技术与常规育种相结合，以不断培育稻麦等粮食作物的高产、优质、抗逆新品种，以保证加快实施“种子工程”和品种的及时更新换代。为此，国家和省市均应加大投入。支持从事花培研究的科技人员和常规育种的农业科技人员互相结合，使我国育种工作提高到一个新水平。

3. 小麦染色体工程育种已证明是一条投资少、效益大的育种途径。应用这一技术不仅已经育出适于不同地区的高产、抗病和优质新品种，而且 15 年来按国家的攻关已经建立了大批双二倍体、异源八倍体、异附加系、异代换系和易位系等工程材料。为培育适于各地区的优异新品种奠定了坚实基础。因此建议国家和有关省区应把染色体工程育种作为小麦增产的重要途径给以大力支持。

4. 水稻杂交优势利用是我国水稻增产的重要措施。由于水稻等自花授粉植物去雄和人工授粉比较困难。因此必须有不育系、恢复系和保持系三系配套才能在生产上利用杂种优势。我国水稻最早用三系法实现了杂种优势利

用，走在国际前面。近些年又利用光敏核不育等材料实现了用两系法生产杂交稻，简便了制种程序。水稻杂种优势利用明显提高了稻米产量，在我国南方地区得到大面积推广。但用两系法生产杂交种仍然比较麻烦。所以现在正探索更简便的一系法。即试图固定杂种优势。为此许多单位正在探索开发无融合生殖技术。此外，我想也可探索应用生物技术解决这一问题。即用杂种F₁进行茎尖培养无性扩繁。按体细胞胚胎发生途径不经过愈伤组织再生新的小植株（杂交稻幼苗）。这种植株未经过减数分裂，理论上应可保持杂种优势。这一制种路线也许成本要高些。但它适于工厂化生产，可以逐步探索降低成本。我认为这样生产杂交稻苗或人工种子，是一条值得探索的道路。

5. 用 BT 基因转化玉米防治玉米虫害是一条用基因工程改良玉米遗传基础，解决抗虫问题的重要途径。现在许多单位在开展此项研究。我们吉林省是玉米大省，也已把此项研究列入计划，并正在开展研究。这是我国用基因工程改良粮食作物的一项重要实验。它很有典型意义，从中可以总结一些重要经验。例如转化玉米后代的稳定遗传问题的解决将会为粮食作物的基因工程育种提供可以借鉴的经验。

6. 近 10 多年来我国在植物基因工程的应用基础研究方面取得很多进展，在受体植物的原生质体和细胞培养再生植株技术上取得很大成绩，特别是在禾本科和豆科植物方面接连取得突破。其次在把异源基因导入受体植物使之整合表达方面也开展了大量研究。总地看在这些方面已达国际水平。但是我国在有经济价值的目的基因的分离、纯化和克隆方面却成就甚微，和国外相比有很大差距。因此建议为建立我国植物基因工程的根基，应重视基因工程的基础材料建设。特别是有重要价值的目的基因的分离、克隆与保存。这样才有可能使我国的植物基因工程在培养作物新品种方面更快发挥实际作用。此项工作应该步子大些，加强投资力度。以便使我国的农业基因工程走上国际前列。

艾滋病（AIDS）和艾滋病毒的 现状及研究进展

曾 毅

中国预防医学科学院

曾 毅 肿瘤病毒学家，1929 年 3 月 8 日生，广东揭西人，1952 年毕业于上海第一医学院。历任中国医学科学院病毒学研究所研究员，副所长，所长，中国预防医学科学院副院长，院长，世界卫生组织全球卫生研究顾问委员会委员、肿瘤专家顾问委员会委员，国务院学位评审委员会成员，中华预防医学会副会长。1993 年当选中国科学院院士，主要从事肿瘤病毒及艾滋病毒研究。

一、艾滋病流行趋势

1. 流行趋势

从 1981 年发现艾滋病，随后在世界各地迅速蔓延，病例数不断增加，而且来势十分凶猛，特别是在非洲和东南亚各国更为严重。由于到目前为止仍无有效的预防疫苗和根治艾滋病的药物，这将加速艾滋病的流行。根据 1996 年 7 月 1 日联合国艾滋病项目报告，截至 1996 年 6 月 30 日。

表 1 1996 年 7 月 1 日前全球 HIV/AIDS 情况

活着的 HIV/AIDS	成年人	21 , 000 , 000
	男	12 , 200 , 000
	女	8 , 800 , 000
	儿童	800 , 000
	总数	21 , 800 , 000
1995 年死于 AIDS 者	成年人	1 , 000 , 000
	男	600 , 000
	女	600 , 000
	儿童	300 , 000
	总数	1 , 300 , 000
累计 HIV 感染者	成年人	25 , 500 , 000
	男	14 , 900 , 000
	女	10 , 500 , 000
	儿童	2 , 400 , 000
	总数	27 , 900 , 000
累计 AIDS 病例	成年人	6 , 100 , 000
	男	3 , 500 , 000
	女	2 , 600 , 000
	儿童	1 , 600 , 000
	总数	7 , 700 , 000
累计 HIV/AIDS 死亡 病例	成年人	4 , 500 , 000
	男	2 , 600 , 000
	女	1 , 900 , 000
	儿童 1 , 300 , 000	
	总数	5 , 800 , 000

引自 UNAIDS 和 WHO1996 年 7 月 1 日

从 1970 年至 1996 年 6 月 30 日全球报告 AIDS 数目为 1 , 393 , 649 例 , 其中各洲比例为 : 美洲 (不包括美国) 占 13% , 美国占 37% , 欧洲占 12% , 非洲占 36% , 亚洲占 2% , 大洋洲占 < 1%。但据统计 AIDS 病例达 7 , 700 , 000 , 比实际高 5.5 倍 , 即美洲占 6% , 美国占 7% , 欧洲占 3% , 非洲 77% , 亚洲占 7% , 大洋洲 < 1%。其中非洲由报告病例占 36% , 上升至 77% , 亚洲由 2% 上升至 7%。

从 1970 年至 1996 年 6 月 30 日估计 , 全球 HIV 感染者达 27 , 000 , 000 例。其分布为北美 1 , 200 , 000 例 , 加勒比地区 330 , 000 例 , 拉丁美洲 1 , 600 , 000 例 , 西欧 640 , 000 例 , 北非和中东 220 , 000 例 , 撒哈拉南 19 , 000 , 000 例 , 东欧和中亚 31 , 000 例 , 东亚和太平洋地区 36 , 000 例 , 南亚和东南亚 5 , 000 , 000 例 , 澳大利亚 23 , 000 例。其中撒哈拉南地区及南亚和东南亚共有 18 , 800 , 000 例 , 占 86%。

从 1970 年至 1996 年 6 月 30 日 , 估计全球仍活着 HIV/AIDS 者 , 总计 21 , 800 , 000 例。其分布为北美 780 , 000 例 , 加勒比地区 270 , 000 例 , 拉丁美洲 1 , 300 , 000 例。西欧 470 , 000 例 , 北非和中东 200 , 000 例 , 撒哈拉南 14 , 000 , 000 , 东欧和中亚 30 , 000 例 , 东亚和太平洋地区 35 , 000 例 , 南

亚和东南亚 4,800,000 例,澳大利亚 13,000 例。其中撒哈拉南地区及南亚和东南亚共有 18,800,000 例,占 86%。

各地区成年人 HIV 感染率由低至高依次为:东亚和太平洋地区 0.01%,东欧和中亚 0.02%,澳大利亚 0.1%,北非和中东 0.1%,西欧 0.2%,南亚和东南亚 0.5%,北美 0.5%,拉丁美洲 0.5%,加勒比地区 1.4%,撒哈拉南 5.1%。

全球估计仍活着的 HIV 感染者 21,800,000 例,按地区的百分比为:非洲占 63%,南亚和东南亚占 23%,二者占 86%,拉丁美洲占 6%,北美占 3.7%,西欧占 2.2%,加勒比地区占 1.3%,北非和中东占 0.9%,东亚和太平洋地区占 0.2%,东欧和中亚占 0.1%,澳大利亚占 0.1%。

上述资料表明,在非洲和亚洲累计的 HIV/AIDS 感染者和艾滋病人分别占 86%和 84%。由此可见艾滋病人在这二个地区流行的严重性,特别是到目前为止,流行趋势仍在不断恶化。在泰国新兵(21 岁)的 HIV 感染率为 3.5%,而泰国新来地区新兵的 HIV 阳性率竟高达 20%,孕妇为 8%。

艾滋病毒传入我国较早,我们从 1984 年开始在我国进行血清学检测,发现 19 例血友病病人在 1984 年应用了美国 Amour 公司的 因子,其中 4 人 HIV-1 抗体阳性,他们用的是同一批 因子,即应用了这批 因子的病人,全部感染了 HIV-1。这表明 HIV-1 于 1984 年已传入我国。根据卫生部疾病控制司发布的截至 1984 年底的资料。HIV 感染者和艾滋病人总计 1774 例,其中艾滋病人 65 例,中国人 54 例、外国人 9 例和华侨 21 例。病例逐年增加,特别是 1989 年发现云南边境地区 140 例静脉嗜毒者感染了 HIV-1,1994 年与往年比较增加较多达 531 例,其中艾滋病人 29 例,26 例为我国公民。1985 年至 1994 年我国共筛选了 4,202,104 人,HIV-1 抗体阳性者 1774 例,其中艾滋病人 65 例。以嗜毒者最多 1132 例(34 例为艾滋病人),占全部抗体阳性者的 63.8%,其次为回国的中国人 151 例(艾滋病人 7 例),再其次为囚犯和华侨,分别有 42 和 41 例。外国人抗体阳性者 288 例(9 例艾滋病人),检出率高达 16.2%。有意义的是检测了 108752 名妓女,仅 12 例(1 例艾滋病)HIV-1 抗体阳性占全部抗体阳性者的 0.68%,嫖客 64491 人,仅 5 例(1 例艾滋病)阳性。我国自 1978 年对外开放后,资本主义国家性开放和性混乱的意识和行为带入我国,暗娼和嫖客不断增加,虽然他们现在的感染率很低,但随时间的推移,他们必将成为我国艾滋病感染和流行的重要因素。HIV-1 感染者和艾滋病人的地理分布以云南最多 1426 例,占 80.3%,以嗜毒者为主,其次为广东 112 例(5 例艾滋病)、北京 82 例(11 例艾滋病)、上海 50 例(1 例艾滋病)、和福建 24 例(4 例艾滋病)。我国政府最近公布截止 1996 年 11 月 30 日,全国艾滋病毒感染者已上升至 5157 例,其中艾滋病人 133 例。估计我国艾滋病毒感染者可能已达 50,000-100,000 例。

从地理分布来看,我国 HIV-1 的主要传染来源是:1.由泰国、印度、缅甸传入我国云南南方边境;2.由泰国传至广东、福建等;3.由非洲传入,我国去非洲的劳务人员较多,少数人通过性生活被 HIV-1 感染,然后带入国内;4.其他来源传至各大城市,如北京、上海等。HIV-1 最初及继续从外国传入,但国内的 HIV-1 感染者已在国内散播,将他们的 HIV-1 病毒通过性生活、输血等传给他人,如在云南静脉嗜毒者已将他们的 HIV 病毒传给他们的妻子,在 1990 年他们妻子的 HIV-1 感染率为 3%,1992 年已上升至 9%。一些妓女感染了 HIV,也将病毒传给嫖客。在云南静脉嗜毒者之间仍在继续传播。此

外，在供血者中已发现 HIV 抗体阳性者。随着艾滋病在我邻国的不断扩大流行，我国也不会例外，感染还将继续增加。目前仍是有利的时机，应尽早尽快地采取有力措施，以降低艾滋病的流行趋势。

2. 传播途径

已从血液、精液、阴道分泌液、眼泪、乳汁等分离到 HIV 病毒，但流行病学调查证明血液、精液和阴道分泌液能传播 HIV。已证明的传播途径有：

(1) 性传播。男性同性恋者之间及异性之间的性交，可从男性传给男性或女性，也可以从女性给男性，但从女性传给男性的机率较从男性传给女性低。为什么男性同性恋者中传播较严重？因为男性同性恋者的性生活较混乱，其性伴侣往往较多，可达数十人到数百人，这样 HIV 传播的机会就很大。带 HIV 者的精液中有大量病毒，每毫升精液可含 10^6 病毒，从解剖学上分析，肛门粘膜的上皮细胞为单层，易受损伤，病毒容易侵入。男同性恋者在艾滋病流行初期起了很不好的作用，极大地促进了艾滋病的流行。由于广泛宣传教育，在发达国家同性恋男人采取安全性行为的结果，男人之间性交传播已减至少数。异性间的传播已成为十分严重的问题，特别是在非洲和东南亚已成为主要的传播途径，据估计现在约占 75%，到 2000 年全球经性传播者将高达 90%。如果生殖器官有性病、溃疡等可以显著提高感染率。HIV 病毒的感染与毒株也有关，在巨噬细胞和郎格罕细胞繁殖较好的 E 亚型病毒较 B 亚型病毒容易经女性阴道传播，因此，预测到 2000 年 E 亚型和 C 亚型感染将显著增加。

(2) 血液传播。通过输血、血液制品或没消毒好的注射器传播 HIV-1。在流行初期很多通过血液制品感染，如血友病人用的 VIII 因子是由上千人的血浆混合制成，HIV-1 存在的机会较多，制备的方法又不能灭活 HIV-1，因此，很多血友病病人通过 VIII 因子而感染了 HIV-1。我国最早发现的 4 例 HIV-1 感染者，是由美国 Amour 公司生产的同一批 VIII 因子的于 1984 年感染的。血液是 HIV-1 的重要传染源，我国也已发现供血者有 HIV-1 阳性的。一些欧美国家较早期已将供血者的血液检测规定为法定项目，以避免将带 HIV 病毒的血液输给他人。现在大多数国家，包括我国已明文规定血液应经过 HIV-1 和 HIV-2 检测。制备 因子的方法也有改进，制备过程已将 HIV 灭活，即使原血液中有 HIV，由于已灭活，不成为危险的产品。

静脉嗜毒者极易感染，共用不经消毒的注射器和针头是重要的传播途径。传染的危险性与注射器使用的次数和时间长短有关。虽然多数报告是应用了海洛因注射而感染的，但也有应用可卡因或其它药物引起的。在我国云南边境静脉嗜毒者的感染者率可达 60% 以上，在东欧和俄罗斯的酒店也出现过因注射器消毒不好而传播 HIV-1 的。

(3) 母婴传播。HIV 可在胎儿期或围产期感染。由 HIV 感染者传播给婴儿的感染率在欧洲为 16%、亚洲 25%、美洲 28%、非洲 40%。多数感染发生在怀孕的后三个月或产期。12% 的婴儿可经 HIV-1 感染母亲的乳汁传播，带高滴度病毒和 CD4 细胞数低的母亲容易将 HIV-1 传播给婴儿。

对照顾艾滋病人的医务工作者进行多年观察，证明他们被病人感染的机率是非常低的。有文献报告外科医生、护士及 HIV 实验室工作者被 HIV 感染的例子。他们是被 HIV 污染的针头、器械、或血液感染的。对艾滋病感染者和艾滋病人家属的调查研究表明，偶然接触唾液或眼泪不会被感染。一般的社交接触，包括握手、食物、水、空气、宾馆、礼节性接吻或昆虫（蚊子等）

叮咬是不会传染 HIV 的。有一些人对这些接触存在着恐怖情绪，这是没有必要的。

二、艾滋病毒

1. 病毒分类和形态结构

根据艾滋病毒的形态、基因结构、核酸序列分析，此病毒属慢病毒亚型（Lentivirus）。灵长类的逆转录病毒（人免疫缺陷病毒，猴免疫缺陷病毒）的特点是嗜 CD4T 淋巴细胞，而有蹄动物的慢病毒则无此特征。

成熟的病毒直径为 100-120nm，圆形，电镜下可见一密致的圆锥状蛋白的核心，内有病毒 RNA 分子和酶（逆转录酶、整合酶和蛋白酶），其外层有包膜，此为二层磷脂蛋白的膜，膜上为突起插入，约有 80 个突起，突起是由外部的糖蛋白 gp120 组成，它与跨膜蛋白 gp41 非共价连结。

艾滋病毒是在淋巴细胞浆膜表面上或在巨噬细胞的内胞浆空泡膜上组装成的。gag 蛋白是病毒芽生所必需的，但随后病毒的形态发生过程需要前驱蛋白 gp160，进一步切割成 gp120 和 gp41。

病毒的包膜内面为蛋白 P17/P18 构成的核壳。核壳内为蛋白 P24 包裹着核蛋白。核蛋白由 2 条 RNA 分子（35S）和 P6 及 P7 构成的。病毒 2 条 RNA 在 5 端相连，因此病毒的 RNA 为 70S。在 RNA 上有逆转录酶（P66）。

2. 病毒基因结构和复制

艾滋病毒有 HIV-1 和 HIV-2。HIV-1 的基因组长度为 9.3kb，HIV-2 为 9.7kb 左右。基因组的二侧有一个长末端重复序列（LTR），3 个结构基因（gag、pol、env）和只有 6 个调控基因（tat、rev、nef、vif、vpr、vpx）。

（1）病毒的复制

病毒吸附在细胞表面需病毒的包膜蛋白 gp120 及细胞表面的 CD4 受体。病毒穿入细胞，通常是由细胞浆膜与病毒的包膜融合而成的。感染的单位可以是病毒颗粒，也可以是单个感染细胞。在感染过程中，在感染病毒的细胞表面有病毒的糖蛋白，此糖蛋白参与病毒的芽生和感染细胞与感染细胞或非感染细胞的融合。病毒经细胞至细胞的传播需要将病毒的 RNA 转变成 DNA，用 AZT 抑制这种转变过程，也就抑制了病毒经细胞至细胞的传播。

逆转录. 逆转录过程是发生在细胞浆内。逆转录酶将病毒 RNA 拷贝成 DNA，核糖核酸酶 H 使病毒 RNA 拷贝成 DNA 后降解。有效地将 RNA 转变成全长的双链 DNA 需要细胞因子参与。所形成的 DNA 称前病毒（Provirus）。

整合. 在急性感染过程产生大量非整合的病毒 DNA，可以是线型的或环型的 DNA。DNA 在细胞浆合成后转运到细胞核内与宿主细胞 DNA 整合。病毒的整合过程是由病毒整合酶完成的，整合的位置是任意的，非固定位置。病毒 DNA 整合需要细胞的激活和分裂。整合是病毒基因表达所必需的。

转录. LTR 有启动子和增强子，此外，LTR 还有负调控区，位于增强子的 5 端。LTR 对很多宿主的细胞因子也起反应。宿主细胞的蛋白可直接作用于 HIV-1 LTR，这些蛋白包括 SP1、NFK-B 及 T 细胞的激活因子，如 phorbol ester、或植物凝集素等。

tat 系统-病毒转录的调控。tat 蛋白是从病毒 LTR 来的转录和病毒的感染性所必需的。tat 有 2 个外显子，一个在 vif 和 env 基因之间，另一个位于 env3 端。tat 蛋白 P14 是由二个分割的 mRNA 合成的。多数 tat 蛋白在细胞核内。HIV-2 的 LTR 能很好地被 HIV-1 tat 所激活，但 HIV-2 的 tat 对

HIV-1LTR 的作用不强。与 tat 蛋白结合的序列称 TAR。tat 能与细胞来源的转录激活物如 NFK-B 和 SP1 起协同作用，促进转录的起始和延长转录物。

REV 系统一调节 mRNA 过程。Rev 基因与 Tat 基因是在同一区的，但其开放阅读框架不同。它是病毒复制的重要基因，控制 RNA 的切割和转运。HIV-2 和 SIV 也有此相应的 rev 基因，但其序列有差异。HIV env 基因上有序列，称 Rev 反应子 (RevResponsive element, RRE)，是 Rev 结合的部位，没有 Rev gag 和 env 不能表达。

Rev 系统在急性感染时促进病毒颗粒产生的同步化，在慢性感染时推迟病毒结构蛋白的表达，这有利于病毒在免疫系统作用下维持感染的存在。

(2) 病毒的蛋白和功能

表 2 总结了病毒蛋白和种类、功能、位置及比较了 HIV-1 和 HIV-2。

3. 病毒遗传和变异

表 2 HIV 蛋白的功能和位置

基因	功能	位置	HIV-1	HIV-2
gag	前驱		p55	
	基质	病毒粒子	p17	P18p16
	壳	病毒粒子：核	p24	p25p26
	核壳	病毒粒子：RNA	p9	
	不明	病毒粒子	p6	
pol	蛋白酶	病毒粒子	p10	
	逆转录酶		p66	
	(有 RnaseH)			
	逆转录酶		p51	
	整合酶		p34	p34
env	前驱		gp160	gp140
	包膜表面糖蛋白	病毒粒子：表面	gp120	gp125
		跨膜蛋白	gp41	gp36
vif	不明	感染细胞	p23	
vpr	不明	病毒粒子		
vpx	不明	病毒粒子	未发现	
tat	转录	感染细胞	p14	
	反式激活	核内		
rev	控制 RNA 的切割和运转		p19	
vpu	控制 CD4-env 的相互作用	感染细胞：表面	p15	
nef	调节 CD4 在表面表达	感染细胞：膜	p27	

HIV 很大的特点是有高度的遗传变异性，变异最大的是外层包膜的糖蛋白，其核酸序列的差异可达 30%，而 gag 和 pol 基因是比较保守的。gp120 有 5 个保守区 C1-C5，以及有 5 个可变区 V1-V5，V3 区的保守核苷酸序列少于 30%，它的改变影响病毒对细胞的亲和性和 gp120 的抗原性，V3 区与产生中和抗体有关。这种变异是由于核酸序列的变异即单个碱基的改变或序列的缺失和重复。突变是在复制过程中发生的，病毒的逆转录酶和细胞的聚合酶

都不能去除错误的核苷酸碱基对，病毒复制越多，突变也就越多。此外，突变发生是由于在免疫压力下选择的结果，这有利于病毒逃避机体抗病毒的免疫反应。

4. 病毒亚型

HIV - 1 的亚型，是根据 HIV-1 的 env 和 gag 的变异，目前将 HIV-1 分为 11 个亚型，即 A-J10 个亚型和 O 亚型。在非洲主要流行的是 A、C、D 和 E 亚型。在刚开始流行的地区如印度与最初在非洲发现的一样，为 A、C 和 E 亚型。在泰国特别是曼谷最初是 B 亚型，在泰国的北部主要是经性传播的 E 亚型。静脉嗜毒者主要是 B 亚型，预测在泰国 E 型将成为主要流行亚型。全球到 2000 年将以 C 和 E 亚型为主。在我国 1990-1993 年云南静脉嗜毒者主要为 B 亚型。1994-1995 年从静脉嗜毒者中已发现 20%-30% 为 C 亚型。有几例静脉嗜毒者有 B 和 C 亚型的双重感染。O 亚型是从喀麦隆分离到的，在加蓬和法国也分离到，但很少，其它国家未出现。

5. 融合 (SI) 与非融合变异毒株 (NSI)

根据 HIV-1 在人体外培养的特性可以分为慢-低毒株和快-高毒株。从艾滋病人分离的毒株多为快-高毒株，即病毒繁殖快、逆转录酶活性高，能在传代的 T 肿瘤细胞复制，有致细胞病变作用，形成融合细胞。从无症状 HIV 感染者分离的毒株多是慢-低毒株，即繁殖慢，逆转录酶活性低，在传代 T 肿瘤细胞复制能力小，仅有一半的慢-低毒株能引起细胞融合。融合变异毒株出现后，疾病进程加快。HIV env 基因突变可使病毒从非融合型变成融合型，如 V3 氨基酸序列顶端的 11、24、25 和 32 氨基酸被取代后会从非融合型变成融合型。

6. 病毒的细胞嗜性和宿主范围

CD4 存在于很多 T 辅助细胞、单核巨噬细胞和一些其他细胞，如郎格罕细胞和树突状细胞等，CD4 是 HIV 吸附在细胞表面的受体。现在了解到除了 CD4 受体外，还需要辅助受体，嗜巨噬细胞的病毒（嗜 M 病毒）需要 CCR-5 辅助受体，嗜 T 淋巴细胞的病毒（嗜 T 病毒）要 fusin (XCR₄) 辅助受体。CCR-5 是 CD4 和 CD8 细胞分泌的化学促因子 MIP-1 和 MIP-2 的受体。在一些难于测出 CD4 蛋白及其 RNA 的细胞，如内皮细胞、神经胶质细胞、结肠细胞也能被 HIV 感染，因此，认为可能存在另外的受体或病毒进入机制。

HIV-1 和 HIV-2 的宿主范围很小。仅猩猩和长臂猿能被 HIV 感染，但主要的实验是用猩猩做的，用长臂猿做实验的不多。将感染 HIV 的细胞，或无细胞是流感染猩猩，或将感染猩猩的血液输给另外的猩猩都能感染成功，在连续 8 个月中很容易从感染猩猩分离到病毒，3-5 周可查到抗体，但不论是猩猩和长臂猿都不发生疾病。

7. 病毒的理化特性。

HIV 对 PH 敏感，PH2 能完全灭活病毒，但 HIV 耐碱，PH9 时，病毒滴度下降不多。60 30 分钟，可灭活 6 个对数的病毒；在室温（23-27℃）液体环境中病毒可存活 15 天以上。HIV 在干燥情况下，在数小时内病毒下降 90%-99%。

HIV 对消毒剂和去污剂等化学因素很敏感。50%-70%酒精、2%福马林、5%石炭酸、1%来苏尔、0.1%家用漂白粉、0.1%戊二醛、0.3%H₂O₂、0.25%丙内脂、0.1%次氯酸钠、1%NP-40 和 0.2%TritonX100 均可灭活病毒。标本经丙酮或甲醛处理，可使标本中的病毒灭活。

三、艾滋病的发病机理

HIV 通过血液或生殖器官感染进入人体，认为单核-巨噬细胞系统，包括郎格罕细胞和树突细胞等可能是最早被感染的细胞。病毒繁殖后再侵入到其它细胞，特别是 CD4⁺T 淋巴细胞。从输血感染者观察到疾病发展的过程，HIV 感染后出现急性期，然后产生细胞免疫和特异性抗体。这一般为感染后 2-3 周至半年，甚至有的用 PCR 可以查到微量病毒，但没有抗体产生。从感染后无症状至发病，7-8 年间约 50% 发病。但有少数达 16 年以上仍未发病。婴儿从母亲感染后，潜伏期较短，而且多数在 5 年内死亡。

HIV 是通过多种途径破坏 CD4⁺ 淋巴细胞。HIV 感染 CD4⁺T 淋巴细胞，在淋巴细胞内大量增殖、产生和释放从而破坏细胞；HIV 的 gp120 和细胞 CD4 受体结合，使淋巴细胞融合成多核巨细胞，从而破坏淋巴细胞；HIV 感染细胞，可与感染细胞或未感染细胞而融合，从而更大量地破坏细胞，特异性的 T8 细胞能识别感染细胞膜上的 gp120 和游离的 gp120 可以与 HIV 感染的 CD4⁺ 细胞，也可以与未感染的 CD4⁺ 细胞结合，这就成为 T8 细胞的攻击靶细胞，从而破坏 CD4⁺ 细胞；依赖抗体的细胞毒性反应也可以破坏 CD4⁺ 细胞，由此引起细胞免疫的缺损。

HIV 感染机体后，机体最先产生的免疫反应是特异的细胞免疫反应，它能清除大部分带 HIV 的细胞，随后出现特异性 HIV 中和抗体，进一步清除最早侵入机体的主要病毒。在感染病毒中可能已存在少数变异毒株，或在细胞免疫和特异抗体免疫压力下产生新的变异株。这些变异株可由原来融合毒株，而突变成非融合毒株，长期潜伏在体内。在较长的潜伏期中（1-16 年或更长），病毒仍在不断的发生变异，病毒可由非融合型变为融合型，这种改变与疾病的进程有关。

过去认为 HIV 感染后出现潜伏期，即在此期病毒处于静止状态。由于检测病毒的方法敏感性提高，即应用测定病毒 RNA 拷贝的方法，发现在潜伏期，机体仍每天产生大量的病毒，高达 10 亿病毒颗粒，破坏很多 CD4⁺ 细胞，机体也产生大量的 CD4⁺ 细胞以达到平衡状态。在急性感染后所检测到的 RNA 拷贝数，可以预测疾病的进程，即拷贝数高者容易发展成为艾滋病。

融合与非融合变异毒株及其与疾病进展的关系

一般从 HIV-1 感染者分离不到引起细胞融合的毒株（Syn-cytium Inducing, SI），而主要的是非细胞融合毒株（Non Syn-cytium Inducing, NSI），他们的无症状期是较长的，CD4⁺ 细胞总数的下降也较慢的。一些病人在感染后的过程中出现了 S1 毒株，因此，从艾滋病人较容易分离到 S1 毒株，此毒株为快-高毒株，即繁殖快和逆转录酶活性高。但是艾滋病人所有的病毒不是一个纯的高毒力的群体，而是带有各种变异毒株，包括毒力小的毒株，当艾滋病人的 HIV-1 病毒感染了正常人后，病毒在感染者体内复制，在病毒的刺激下，机体首先出现了特异性细胞免疫，随后出现特异性中和抗体等，可以去除高毒力的 S1 病毒，在此免疫压力下少数 NS1 毒株留下，或突变成 NS1 毒株。

艾滋病毒的表现型与艾滋病的疾病进展有关。Koot 等报告 188 例 HIV-1 抗体阳性者，30 个月后，70.8% 带 S1 毒株者发展成为艾滋病人，而对照组无 S1 毒株者，发展成为艾滋病的仅占 15.8%。在最初检测到有 S1 毒株者，其 CD4⁺T 细胞下降速度较快，较带 NS1 毒者高 3.7 倍。其中有 22 人由原来的

NS1 毒株变为 S1 毒株。NS1 或 S1 毒株的存在与疾病过程有关，感染了 S1 病毒，在抗体阳转后往往查不到 S1 毒株，所查到的是嗜巨噬细胞的 NS1 毒株，但 NS1 毒株的遗传型还是与原来的 S1 同源。这可能是变异毒株更能选择性地穿透宿主的粘膜屏障，这种病毒是嗜巨噬细胞的，如上述 HIV-1E 亚型是较 B 亚型容易穿透宿主的粘膜，并在巨噬细胞或抗原递呈细胞繁殖。S1 毒株出现后疾病加快，这是由于两种病毒的特性所决定的，即他们的嗜细胞特性不同以及 S1 毒株复制很快。不是所有发展到艾滋病的病人都是带 S1 毒株的，也有一些艾滋病人是带有 NS1 毒株，虽然其复制速度不如 S1 毒株，但其复制速度是较快的。从病人连续分离的毒株比较，CD4 细胞的下降与病毒的复制速度呈正相关。

四、临床表现

随着 CD4 细胞的下降，机体的免疫力也下降，艾滋病的主要临床特征是发生条件性感染和肿瘤。这包括：1.肺部感染，常见的有卡氏肺包虫肺炎、弓形体、结核、巨细胞病毒肺炎等；2.肠炎，包括由巨细胞病毒、隐孢子虫、结核性肠炎；3.脑部病变，由 HIV、寄生虫、细菌或病毒相引起，出现痴呆、脑萎缩等。常见的肿瘤有 Kaposi 肉瘤、淋巴瘤等。在疾病发展过程中 CD4T 淋巴细胞数继续下降，T8 细胞逐步被不正常的 T8 细胞所取代。病人血液中的炎症细胞因子（IL-16，TNF-X）水平高，此可与衰竭征有关。

五、治疗

目前较有希望的是给孕妇在怀孕的后三个月开始应用 AZT 治疗，可以降低母婴传播率 70%。总的说来，目前尚无很有效的药物治疗艾滋病人。

叠氮脱氧胸苷（Zidovudine，AZT）能很有效地抑制 HIV 敏感株的复制。使血浆中的病毒 RNA 拷贝数迅速下降，但容易发生抗药性。分析 AZT 敏感病毒及抗药毒株的 RT 核酸序列，观察其变异发生的情况，抗 AZT 毒株的突变发生在 RT 基因 5 处，即氨基酸位置为 41、67、70、215、219，此为表现型的突变。无症状者经治疗后，突变的出现是有一定次序的，首先出现在密码子 70，但这是暂时的，然后为密码子 215，随后变异在密码子 41。在继续治疗后，又出现密码子 70 的突变，并有 67 和 219 处的突变，此为抗 AZT 毒株序列获得的 5 个变异点。AZT 能有效地抑制敏感毒株，抗药毒株能逃脱这种抑制，抗药毒株的出现是选择的结果，而不是由于治疗的结果。突变的依次出现是由于它们在 AZT 存在情况下增加复制的能力。这些是从治疗病人分离的毒株所获得的结果，不知其在没治疗时是否也出现这些突变毒株。因为在整个病毒群体中，突变毒株所占的比例是很少的，但有一研究组从未治疗的艾滋病人中分离到密码子 70 突变的毒株。在终止 AZT 治疗后，从抗药毒株中出现敏感毒株，这可能是一个很慢的过程。这种速度可能与治疗的时间，和病人体内的病毒群体的组成有关。研究工作发现在 AZT 治疗停止后 4-11 个月会出现 AZT 敏感的毒株，这表示在病毒群体中还有敏感的毒株存在。广泛研究了这种抗药毒株发生的机制，在体外对逆转录酶进行分析，敏感毒株和抗药毒株对三磷酸 AZT 是一样敏感的，虽然作了不少工作，但对其作用机制尚不清楚。

交叉抗药性，即对一种药有抗药性，对其它药也有抗药性，如病人接受了 ddI 治疗后密码子 74 突变能产生对 ddC 的抗药。相反的，有的病人用 AZT

治 12 个月后，HIV-1 产生一定的抗药性，当换成 DDI 后，发现一年内分离的病毒对 DDI 的敏感性下降，但对 AZT 的敏感性却增加。AZT 引起的抗药性突变在密码子 215，此突变株存在于 ddI 抗药病毒群体中，但对 AZT 的抗药性较小，ddI 引起的突变密码子 74，它的出现抑制了 215 突变的作用，因此提高病毒对 AZT 敏感性。在体外在氨基酸 69 位置上，蛋氨酸取代了天冬氨酸引起对 d4T (didehydroxythymidine, stavudine) 的抗药性，也对 ddi 和 ddc 有交叉抗药性。

第 2 代抑制逆转录酶的核苷酸类似物，如 3TC (dideoxy thiacytidine, Lamivudine) 和 FTC (deoxyfluorothiacytidine)。在体内和体外已发现密码子 184 处发生突变，即蛋氨酸取代了缬氨酸或亮氨酸，产生对上述二种药物很强的抗药性。这种 3TC 和 FTC 抗药性的出现较其它核苷酸类似物抗药性出现早。3TC 的抗药性对 ddI 和 ddC 有低交叉作用，但对 AZT 则作用。抗 AZT 变异株的 184 蛋氨酸被缬氨酸取代后会恢复病毒对 AZT 的敏感性。

非核苷酸类抗逆转录药物 (Non - nucleoside RT inhibitors, NNRTI)，其作用机制与核苷类似物作用不同，它们与逆转录酶的特殊部位结合而抑制酶的功能。

对 NNRTI 的抗药性在体外或体内发生得很快，它们之间的抗药性有交叉作用。181 位置的半胱氨酸取代酪氨酸，产生对 Nevirapine 和其它 NNRTI 的抗药性。这种突变会恢复逆转录酶对 AZT 的敏感性。已知道一系列的氨基酸取代会引起对 NNRTI 的抗药性。

表 3 对核苷酸类似物和非核苷酸类似物的抗药性的突变位置归纳如下

药物	抗药性突变氨基酸位置
AZT	41 , 67 , 70 , 215 , 219
d4t/ddI/ddC	75
ddI/ddc	65 , 69 , 74
3TC/FTC/ddC/ddI	184
NNRTI	98 , 100 , 101 , 103 , 106 , 108 , 179 , 181 , 188 , 190 , 236 , 238
能使 AZT 抗药性逆转	74 , 100 , 181 , 184

蛋白酶抑制物

Ro-31-8959 是 HIV-1 和 HIV-2 蛋白酶的高度选择性抑制物。在体外实验，当增加 Ro-31-8959 浓度传代病毒时，发现其出现抗药性，常在蛋白酶的位置 48 处甘氨酸变成缬氨酸，在 90 位置处的亮氨酸变成蛋氨酸。这些位点在 HIV-1，HIV-2 和 SIV 病毒是较保守的。何大-和魏报告应用蛋白抑制剂 ABT-538 治疗艾滋病病人，治疗前每立方毫米含 CD4T 淋巴细胞数自 36 至 409 个不等，每毫升血浆含病毒颗粒自 1.55 到 5.4×10^9 不等，治疗后，开始二周病毒量急速下降，这种下降与治疗前的病毒含量无关，下降从 11 到 275 倍，平均为 66 倍，CD4T 淋巴细胞数也明显上升。但治疗 14 天后病毒量不再下降，这是由于抗药毒株出现的结果。病毒的突变出现抗药株是目前治疗的主要问题。

由于现在研究的很多抗核苷酸类似物和非核苷酸类似物都能有效地抑制 HIV 的逆转录酶。但单个药应用容易产生变异的抗药性毒株，产生 NNRTI 的

抗药性毒株特别快。有的药使用后产生变异病毒，还能使原来的抗药性毒株中出现敏感株，因此，考虑到多种药物的联合使用或序贯使用问题。三种药物联合使用能增加药物的抗病毒活性，避免或减少毒性，预防或延迟抗药性的产生。现在临床上联合使用的有：AZT + ddI 或 ddC，AZT + NNR-TI，AZT + ddI + NNRTI，AZT + ddC + 蛋白抑制剂，AZT + 3TC 等。在选择药物时，要避免产生交叉抗药性，避免联合的有 AZT + ddC，或 Azt + d4T 等。在临床上联合使用可以见到显著效果，如增加抗病毒活性和增加细胞数等。血浆中的病毒 RNA 水平迅速下降，推迟抗药性毒株的出现，有的病人在联合用药治疗后一年仍未复发，为治疗的前景带来一线曙光，看是否能将致死性疾病变为慢性疾病，这是今后继续研究的重要问题。

六、预防

关于 HIV 疫苗的问题，研制出多种疫苗，包括病毒灭活，亚单位、重组等疫苗进行临床，期试验，但未见其效果，有的在疫苗免疫后仍感染 HIV。因此，美国宣布不再投入大量的人力财力进行疫苗研究。由于艾滋病毒在发展中国家仍在迅速地传播，单靠宣传教育及医疗上的措施，如消毒注射器，血液筛选是不能很快阻止艾滋病毒传播的，安全有效的疫苗广泛使用仍然是控制艾滋病的主要措施，即使现在尚未有有效的疫苗，仍应继续研究。有效疫苗的主要问题是病毒的变异问题。HIV-1 型病毒不单有 11 个亚型，而且同一亚型之间也缺乏明显的保护作用。这就是为什么大多数病人经长期潜伏后仍然发展至艾滋病。是否有可能获得有效的疫苗呢？（1）有 5% 左右的 HIV 感染者没有任何临床症状，能维持正常免疫状态达 10 年以上，称为 HIV 长期生存者。对这些人进行研究，发现其体内的病毒量少，毒力低，生长慢，虽然其 CD4 细胞并没能显示抗 HIV-1 的能力，但其 CD8T 淋巴细胞却有很强的抑制 HIV-1 复制的能力，而且有较高浓度中和 HIV-1 的抗体。（2）在非洲对妓女的追踪观察，发现一些妓女，虽经常与带 HIV-1 者发生性关系，查不到 HIV-1 抗体，也查不到病毒 DNA。但是她们有很强的细胞免疫，CD8 细胞能识别并杀伤 HIV-1 感染的细胞。（3）Essex 实验室报告感染了 HIV—2 型病毒者可能对 HIV-1 型病毒有保护作用。（4）少数儿童在他们出生时感染了 HIV，但后来他们清除了 HIV 病毒。（5）经遗传工程变异的活 SIV 病毒接种于猴子，能保护 SIV 野毒株的攻击。这些资料给人以希望，安全有效的疫苗不是不可能得到的。从现有资料看来特异性的细胞免疫是更为重要的。今后仍应加强疫苗的研究。

最有效的预防措施是广泛进行宣传教育，让广大人群了解艾滋病是如何传播和如何预防。同时应避免医源性的传播，如输血、注射等。性传播将成为主要的传播途径，因此，应严禁娼妓、嫖娼等非法活动。此外还应大力打击贩毒和吸毒等行为。