

情报 · 决策 · 管理 · 效益

未 来 的 领 域

21世纪世界食物生产研究和技术

西尔文·威特 (Sylvan H. Wittwer) 著

曾 衍 川 译

周 广 源 校

北京市农林科学院情报资料室

目 录

导言、背景和挑战	(1)
研究重点	(8)
控制食用作物生产力的生物过程	(9)
光合作用效率和增产	(9)
生物固氮	(12)
遗传改良	(15)
遗传工程—扩大基因基础	(17)
提高营养吸收效率	(19)
菌根和土壤微生物学	(21)
对环境压力的抗性	(23)
大气污染物	(24)
对生物竞争系统更大的抗性	(25)
病虫害综合治理	(26)
激素机制和植物发育	(29)
动物农业和世界食物系统	(30)
改进饲草生产	(33)
水产养殖的潜力	(34)
技术需要和机会	(36)
资源的保护和利用	(36)
气候	(36)
土地	(39)

水.....	(42)
能.....	(46)
机械化.....	(47)
新作物和种植制度	(48)
(1) 新作物.....	(48)
(2) 种植制度.....	(50)
保护栽培	(51)
遥感	(53)
食物生产的限度	(54)
对食物生产研究和技术的支 持.....	(59)
结论—食物生产的趋势.....	(64)

导言、背景和挑战

农业是世界最古老和最庞大的产业，也是最重要和最根本的事业。有半数以上的人民在农村生活。食物是我们的第一位需要。它是我们最重要的可更新资源。农产品的可更新能力来自太阳能，农业是通过绿色植物生产的独一无二的“加功太阳能”的产业。绿色植物是生物学的“阳光捕获器”。

作物生产的目的是使物种能适应当地条件、种植方式、种植制度和栽培措施，从而利用绿色植物的光合作用，去获得最大的生物学产量，为人类生产有用的产品（食物、饲料、纤维、能源）。许多农产品可根据需要，既可作食物，也可作饲料，还可作纤维或能源。

农业生产的可更新特征，使其在资源条件方面具有重要意义。作为国际上的一项战略资源以及国内经济中的一项重要因素，它的潜在力量正受到人们的再一次审查。

达到食物的充分及有保证的供应既是一项具有人道主义的目标，也是进步的象征。1978—79年度，世界小麦产量为43,900万吨，稻米为38,500万吨。1979年玉米为40,600万吨，是历史最高产量。1979—80年度谷物生产低于平常年，库存也大为减少。

虽然，单搞食物生产是不够的，但它在缓和饥饿方面将是大有帮助的。还存在着分配、运送和收入等难题。把粮食运送到人们所在的地方以及使人们有能力购买它们是一个不

易解决的问题。现在世界上70%以上的人口（43亿）以及估计今后85%的增长人口生活在不发达国家。绝对和相对贫困的很大一部份（占80%）是在农村和农业部门。发展中国家农村里的许多穷人不是无地的劳动者，便是土地缺乏，资金不足的小农。他们从事农业不足以维持生计，也无力购买土地。

增加食物生产虽然对解决世界饥饿有所帮助，但并非是唯一的答案和解决办法。某些国家尽管食物过剩，仍还有饥饿发生，当然如果没有过剩，情况会更糟糕。如果食物价格合理，就一定会促使食物增产。而假如不提高食物产量，世界食物贮备也会成为空话。

为了避免目前食物供应恶化和营养不良问题，必须大力发展生产。根据世界食物和营养研究指导委员会的报告，从现在起到21世纪初，食物生产增长率每年至少要达到3—4%才能有较大改善。

食物需求量的增长需要综合考虑以下诸因素：养活更多的人；更多的收入；改善饮食的欲望，特别是期望有更多的动物食品；国家对减轻饥饿和营养不良的决心。

鉴于70年代，无论在全世界或在美国，许多主要食用作物的产量都趋于停滞状态，上述食物需求量的增长是令人吃惊的。美国唯一的例外是玉米。世界食物产量在1979—80年度大约下降了2.5%。其中有些可能的原因已经谈到了。这是一个不祥的预兆，因为大多数发展中国家要在7—10年内使食物生产提高一倍，才能应付预测的消费需要。50和60年代确实是美国农业生产率增长的黄金时代。

要达到3—4%的增长率，主要是靠提高单位土地面积、单位时间和单位成本的生产力，预计这样的增长率可来

自可耕地的扩大了4—28%、并且还需要提高单产、增加复种、强化土地利用。因此，大量地、不断地增产的关键是技术进步。

这种挑战就是所谓：“使过去只长一个棒子的玉米，长出两个棒子。使过去只长一片叶子的牧草，长出两片叶子”。要实现这种理想，可以用增加传统的投入方法，但是要提高成本。应该用较少的成本来对付这种挑战，这样才会使食物增加，而价格仍然合理。同时必须考虑到资源投入（气候、土地、水、能、肥料、农药、人力、机械等），它们的成本、可获得性以及可再生性。

在美国，发展节省人力的技术已成为主要的目标，并已获得可观的成就。一个农场工人，今天生产的食物足够他自己和60个人享用。对比1970年是29人，40年前仅11人，而在1900年，美国一个农民仅能养活他自己和6个其它的人。在整个历史上，这是无与伦比的，从来没有过这么少的人生产了这么多东西。除了由于大量增加了土地、水、能、肥料和农药等资源投入，单位劳动力投入的生产率的提高也应部分归功于更好的经营管理，更及时的生产活动以及更有效和高产的装备。

在美国，机械化使农民既能及时完成农活，又能有效的进行管理。由于劳动力的不易获得、不可靠以及成本高，机械化就更加加强了。日本和其它某些工业化国家存在着相反的情况，因为那里资源（土地、能源）有限，而人力比较丰富。在可预见的未来，那里产量越高，每个农业工人的产出则越少。

因此，未来的食物生产技术有两种类型，一种是高度机械化，以及土地、水、能源资源的大量使用；另一种是以生物

学为基础,土地、水、能源节约使用。未来世界的农业将普遍从减少依靠资源转向更多依靠科学和生物学基础。重点将放在提高单位资源投入的产出,从而不受较紧张的土地、水、肥料、农药、能源以及在有些国家里,劳动力的供应的限制。

鲁坦 (Ruttan) 指出:在20世纪前半期这种技术类型就已在日本和一些欧洲国家出现。当美国采取机械—资源集约的技术路线时,日本走的是生物—化学—资源节约的技术路线。美国由于资源丰富和价廉,直至目前为止,对增产技术的刺激,已落后于日本和某些欧洲国家。现在可以预计,今后食物生产上的进一步提高将是单位土地和单位时间产出的增长,以及增加种植指数的结果。确实没有其它的选择余地了。本文的主题将是讨论这种增产的技术。

以上所述特别强调了科学和新技术对满足未来各国和世界对食物的需求的重要意义。未来新的高报酬的农业技术不但注重高产,而且注重稳产,劳动比资本更为集约,种植更集约化,资源则较节约使用。它们必须不造成污染。此外,还应能解决世界粮食问题,增加对过剩劳动的需求,使人们每年有更多的工作日和有更高的生产力。

这样的技术已经有了,印度的杂交棉花和中国的杂交水稻就是最好的例子,它们可以增产50%和一倍,需要大量的农业工人进行授粉。而我们至今还未能认真地去发展这种农业技术。

在为未来制定食物研究和技术的日程时,我们面临的一个阻碍就是认为:只要把我们现有的技术使用起来,便能万事如意的了。这意味着我们不需要更多的研究,只要对已有的研究成果更好地推广便可以了。

事实胜过雄辩。美国和其它一些工业化国家的农业研究机构,无论是公立或私人的,曾经把注意力集中于大规模单一种植或饲养的生产活动上,热衷于劳动力节约,但资金、管理和资源高度集约的技术。经济和技术发展演变如此之快,以致昨天有效的东西,今天就不再有效果了。能源价格变化正在破坏我们过去在成本方面的一切设想,从而影响农业增产的可行性。我们再也无法根据传统或按照过去的模子来制定研究计划。

未来的农业技术将不可避免地从小型机械化、节省劳动力的单一种植和饲养制度转移到更多应用科学和生物学,资源得到更好保护的技术方面去。

发展中国家是一个小型化的世界。那里有大量的农场存在,要比美国的小得多。土地和资金都很少,可是劳力相对富裕。4/5的农场面积在5公顷以下,其中半数只有1公顷,未来的挑战是提高小农场的生产率,小农场能成为一种经济上可行的单位。而且小农场的单位土地面积和单位资本的产出经常是较高的。它们也是劳动集约型的。

发展中国家,还有美国和其它工业化国家,要认真注意那样一些农业生产技术,它们规模小、能使产出最大化,就业最优化,资源投入和资金费用最小化。任何一种新技术,若要被发展中国家的农业采用,并产生效果,那么必定要能改进小农的经济条件。同时,在任何小农占优势的国家,许多农民都需要就地得到一些新的技术。因此,不仅研究计划,而且推广工作都负有重大责任。

为了促进生产率的提高,更多的土地、水、肥料和农药用于食物生产,环境问题也将增多。为了提高食物产量,新

技术会要求使用更多的化学物品（肥料、农药），而不是减少。人口的增长和需求的提高将加剧这方面的问题。

由农业生产引起的环境恶化表现在许多方面。然而，也有大量事例可以证实，有些耕作措施不仅没有对环境造成威胁，反而有所改善了。

农业食物生产是土地和水资源方面最主要的使用者。环境中的有毒化学物质，其中有些是在食物生产上应用的农药和肥料，已被公认对环境污染及人类健康有危险。有关食物安全性，对鱼和野生生物的毒害作用，物种灭绝和致癌作用等问题的争论将继续下去。虽然有些人作了尝试，但至今仍然没有一个人从环境的角度上可以接受的农业生产技术作了阐明或下了定义。这些努力的最终结果总是争论双方各持一端。

美国政府的各项规定使美国人民每年要化费一千亿美元以上。其中大约有三百亿用于食物和农业方面。联邦政府的直接开支约占六十亿美元。问题在于我们在多大程度上愿意直接或间接地为在美国生产的食物和产品付出高的代价；而且问题还在于我们的竞争力还能保持多久？

预言历史上充满世界性饥荒即将来临。在60年代和70年代曾有人掀起一股风潮，声称70年代中后期会发生世界性食物短缺和饥荒，许多地区将会发生灾荒。许多人相信了这些预言。这些可怕的预言至今尚未过时。这些预言的不幸结果在于一旦人们失去了希望便不去行动了。加之，还有关于资源、食物、人口和环境的大量虚假的、危言耸听，而对人们已取得的成就却闭口不提。

例如，有些人推论食物生产的形势正在恶化，我们离缓

和饥饿和营养不良的目标与1974年相比更远了，就是非常典型的例子。这种说法出现在最近发表的关于世界饥饿问题总统委员会的最终报告中，然而这个报告并未对这种说法提出任何证据，事实上恰巧相反。还有其它一些报告，同样存在阴郁和低沉的情绪。它们没有考虑到未来的科学发现，相反，却认为生产上的突破似乎不会发生。

须知，人类大脑的科学创造力是无限的。对未来的判断往往根据静止的技术。由于科学成果和技术进步，物质资源的范围也会扩大。资源基础会随着时间和技术而变化。

最成功的食物生产制度所表现的特性是：人民的富有成果的创造性、公民参与政府事务、自由企业的利润动机。

人类仅仅只开始探索增加食物生产的潜力，距离达到科学和生物学的限度还很远。基础和应用研究是促进政府和私人努力、提高生产稳定性、扩大食物供应的催化剂。科学正在突破局限性，开创我们从未梦想过的新领域。

食物、饲料或燃料生产在使用土地与水资源方面的矛盾，将随着资源的进一步紧张而继续下去。由于化石燃料衍生物的毒害和预测的气候变更，将更加强调可更新资源的生产和利用。

1979年美国谷物贸易额将近世界的61%。农业出口抵偿了进口石油费用的五分之三。考虑到目前大量的资源投入，严重的问题在于我们的食物出口能支持多久。长时期的食物低价仍然是一个重要问题。本文将概略地叙述21世纪的研究和技术，它们不仅使美国，而且也使世界其它地区有可能实行食品低价。对研究作更多的投资能给我们带来希望。

研究重点

未来的重点研究方向将涉及到对生物学过程的控制。因为这些过程限制着经济上有重要意义的食用作物和动物食物的生产力，限制着对资源和其它生产性投入的更有效利用和管理。在一次作物生产率国际会议上，在美国全国科学研究委员会和美国科学院提供的几篇世界食物和营养的报告中，在《满足21世纪人类需求——动物农业》的最近一次全国会议上，以及美国国会技术评价办公室，都已对植物和动物科学研究重点进行了详尽的评价。

1976年世界食物大会已提出过研究重点。80年代食物生产战略国际会议提出了植物和动物资源、土壤、水和能源的研究项目。在过去3—5年中，几乎所有的农业和食物研究中心、研究机关、试验站（国际的、全国的、地区的、省的，公立和私人的）已反复估价和鉴定了研究重点，并举办了长远规划大会和讨论会，对食物和农业发展的主要趋势进行了探索，去寻求更深刻的认识。在所有这些努力中，人们可以看到一种令人惊讶的一致性。

控制食用作物生产力 的基本生物学过程

加强光合作用、生物固氮方面的研究以及在植物育种方面采用细胞学和分子学方法，已经被提到了显要的地位。此外的重点是：常规的遗传改良；激素机制和植物发育；改进营养和水的吸收效率；对竞争生物系统、有问题土壤的矿质营养压力、环境和气候压力，以及有毒化学物质的更大的抗性和适应性。

这些研究重点曾被美国科学院全国研究委员会最近的世界食物和营养研究报告以及其它一些单位鉴定为资金严重不足的研究项目。

如果这种研究面向经济上重要的食用作物，并以此作为试验材料的话，那么生产力和产出的稳定性可能得到很大的提高。这些研究项目已被确定为下一代的农业研究，不仅对农业发展中国家，就是对比较发达的国家也都是十分重要的。

光合作用效率和增产

绿色植物是自由太阳能最初的产物。光合作用是地球上最重要的生物学过程。它不仅为动物的生存提供了食物，

而且也為石油、天然氣和煤的形成提供了植物材料。改進光合作用效率是使未來具有充足的食物之關鍵。植物每天貯存的能相當於目前全世界每天消費的能的17倍。它們能在可更新之基礎上，成為食物和能之淨生產者。

一切旨在提高食用作物生產率之農業措施，最終都與提高植物中太陽能之轉化率有關。可是對光合作用效率之研究，在世界範圍內尚沒有被重視，儘管它對上述每一項新之重要的農業研究都有著重要意義。

在光合作用方面，很少有人把研究重點置於改進作物生產率。對主要食用作物來說，每年綠色植物通過光合作用所獲得之太陽能平均不到0.1%。大多數作物在生長期間對太陽能之利用率也不超過1%。在條件最好之情況下只能達到2—3%，如甘蔗和鳳眼蘭之類之作物。許多環境因素影響產量和合光作用，而不同植物中又有很大差異。

在合適之環境條件下（高溫、充足之陽光和水），地球上具有最高生產力之作物是 C_4 植物（光合作用之第一步產品是 C_4 分子）。 C_4 植物包括甘蔗、玉米、高粱、谷粟、某些熱帶牧草和少數有害雜草。大多數食用作物却是 C_3 植物，包括小粒谷物、豆类、塊根、塊莖、水果和蔬菜作物，還有林木。這兩類植物在解剖學、生物化學和對環境之反應方面不同。

通過研究可以增強光合作用效率。這些包括對有些機制之測定和控制。這些機制能調節或減少由黑暗或光所誘導之呼吸之消耗過程。類似之機制決定著光合產物之再分配，而這些光合產物又調節著產量和取得最大之收穫指數（即指植物收穫中有經濟價值之一部分，即Harvest Index）。

光呼吸是能之消耗過程，發生在 C_3 植物中。控制它對

提高作物生产率起着主要作用。降低光呼吸的关键是防止核糖二磷酸羧基酶的最初反应，即氧化。拟南芥的突变体已被鉴定为缺少一种光呼吸的酶。

其它促进提高光合效率的研究有：激素系统的改变；控制开花和叶片衰老的生长调节剂和可遗传成份的鉴定；对植株结构和解剖学方面的改良，种植制度、种植方式和栽培措施的改良等，其目的都是为了更好地采光；此外，还有提高作物大气圈二氧化碳成份。

植物育种研究目标一般还未针对改进光合作用过程。光合作用和作物产量间的关系是相当复杂的。应寻求更多的光合作用强烈的突变体。任何叶绿体功能活动期和片叶寿命的生理遗传性的延长对提高光合生产率都有重要意义。

许多食用作物在光合作用方面最直接的一种改良，是改良植物结构的遗传。最新技术成功的范例是育成旗叶直立于谷穗之上而不下垂的水稻。较好的光能接受系统能显著地提高产量。

由于燃烧化石燃料、砍伐森林和土壤侵蚀，大气中 CO_2 水平正在提高（每年接近百万分之1.5），这种发展正引起人们的担忧。可能发生的气候变化会影响我们的能源，打乱农业生产，预测的大气层的增温将会引起南极冰帽的溶化，从而使海平面增高5—6米，这些都已引起了科学家和公众的注意。但是这种预测至今尚未被可以察明的气候变化所证实。

提高大气 CO_2 水平也可能产生生物学效应。其中大部分效应将是积极的。这样的效应很少被人们所注意。我们已经了解到在受控制的环境下，作物将如何对成倍提高大气 CO_2 水平作出反应。在其它条件（阳光、土壤肥力、水的供应，

温度和病虫害防治)相同下,在短期试验中,几乎所有主要的食用作物都能增产。在几乎所有有关 CO_2 的文献中都缺乏这种观点。

然而,在 C_3 和 C_4 杂草与作物的竞争关系上,可能会出现一些特异现象。提高大气中 CO_2 水平后,可能会缓和水和高温的压力。 CO_2 在大气中的增多本身以及它的增温作用,对杂草和作物之间的关系会有不同的影响。一些有害的杂草,如马齿苋由于温度增高可能更为猖獗。

作为一种平衡,由于提高了 CO_2 水平而产生的许多积极效应,可被水和温度方面的不利变化抵销。1982年5月23—30日在密执安州、波依恩山召开的一次重要国际会议上,中心议题即提高大气 CO_2 水平对植物产生的潜在的重要生物学效应。

最后,现有的光合作用方面的许多基础研究,不仅应在实验室进行,也应面向大田生产的具有重要经济价值的作物。随着从微观实验室研究走向宏观大田试验研究, C_4 植物比 C_3 植物有更高生产力的光合优势也不断下降。在高温条件下, C_4 作物或杂草比 C_3 作物生长更好,因为在高温下 C_3 植物的光呼吸增长得很快。

生 物 固 氮

化学固氮是农业方面最大的一项能量投入。这种能量投入主要靠天然气,它是不可再生的。这种能量用于把空气氮转化为植物可利用的氮。地球上作物生产力总量的35%归之于这一种能量投入。这种能量的投资报酬,若就能源和蛋白质来说是相当大的,它几乎是所有植物蛋白的来源。

全世界用于作物生产的化学固氮肥料增长很快，1905年生产了400,000吨，1950年3,500,000吨，1974年达40,000,000吨，1981年估计超过50,000,000吨。主要是用天然气（占95%）生产合成氨肥料。由于成本低廉，几乎所有的合成氨肥料厂都用天然气作燃料。氮肥工厂每生产1公斤大约要消耗1立方米天然气。

生物固氮是对化学固氮的一种替换。当前美国提供给生物固氮研究的经费每年只有8百万美元。近五年内在这个非常重要的领域中增加的研究经费几乎跟不上通货膨胀。第一位的重点是建立根瘤菌技术研究中心。应继续研究高效豆科作物与根瘤菌的共生现象，而不是先搞禾谷固氮工程这样一个长远目标。

也有可能发展生物固氮的林木，因为营养不充足往往是森林发展的一个主要限制因素。牧豆树、无刺洋槐与红桤木等树木是有前途的生物固氮树种。其次，要重新研究农业制度，尤其是种植制度，更多地推广豆科绿肥、冬季作物、豆科饲草、以及豆科与非豆科的间作。

问题是要发展那样一类农业制度，它们主要以生物固氮为基础，但仍可获得高产。这一点和“有机农业”观点有联系，也是对它的一个方面的支持。也就是说，需要尽可能多地依靠轮作、利用作物秸秆、动物厩肥、豆科作物、绿肥和农场外的有机废弃物，以维持土壤生产力和土壤结构，并提供必需的土壤氮素。还需要积极地依靠对寄主和微生物双方改良的基因工程。

共生关系存在于豆科作物、放线菌、根瘤被子植物和固氮蓝藻（*Anabaena*—*Azolla*）之间，它们能使水稻田变得肥。

沃，也存在于禾草、禾谷类和非豆科作物与自生固氮菌和螺旋菌根际共生体之间。最主要的植物是分泌碳水化合物以供它们根际的固氮细菌所需要的能源。共生固氮是靠大量光合能生存的。共生固氮能的效率可以加以改进。

许多作物生物固氮的数量已经很高了。稻田红萍兰绿藻共生体可以提供加州水稻氮需求量的75%。根据国际稻作所的试验，有22种红萍，在335天周期内，每公顷获得465公斤氮素。

加州在利用苜蓿和三叶草方面，只要增添适量的矿质营养，也获得类似结果，每公顷每年生物固氮可达到500公斤。种植集约程度和根的深度是重要因素。1943年以来，英国罗萨姆斯特的著名的大巴尔克试验地上用兰绿藻在土壤表面固氮可以满足小麦对氮的需求量的一半以上。

旨在改进豆科作物生物固氮的试验室和田间试验，包括改进接种技术、改良根瘤菌种、改良植物栽培种、根瘤菌种与豆科栽培种的最佳配合、最低能量消耗、发展适宜豆科的氮肥制度、为了改进光合作用而降低光呼吸等。

这些提高生物固氮的途径，可能正如改进固氮本身一样重要。这些都是近来强调的方法。过去20多年，生物固氮研究在提供精细的基本情况方面，成绩显著，已发表了大量论文，可是对提高田间食用作物生产的实际运用方面，作用甚微。若从事实验室基础研究的科学家与在大田条件下从事定向研究和解决难题的科学家很好结合起来，对提高农业生产率具有重要意义。生物固氮研究的进一步突破必然会加快。

应鼓励发达国家和非发达国家科学家之间的协作努力。以应用科学解决全球性和国家难题方面，生物固氮研究具有