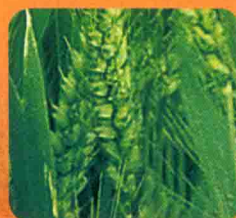


富硒作物 生产关键技术研究

王道波 黄 维 著



NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS

WWW.NNUP.COM

东北师范大学出版社

富硒作物 生产关键技术研究



王道波 黄 维 著



NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS

WWW.NNNUP.COM

东北师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

富硒作物生产关键技术研究 / 王道波, 黄维著. --
长春: 东北师范大学出版社, 2019.2
ISBN 978-7-5681-5534-2

I. ①富… II. ①王… ②黄… III. ①硒—作物—栽培技术—研究 IV. ①S31

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第040585号

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| ☐ 责任编辑: 卢永康 | ☐ 策划编辑: 王春彦 |
| ☐ 责任校对: 肖茜茜 | ☐ 封面设计: 优盛文化 |
| | ☐ 责任印制: 张允豪 |
-

东北师范大学出版社出版发行
长春市净月经济开发区金宝街118号(邮政编码: 130117)
销售热线: 0431-84568036
传真: 0431-84568036
网址: <http://www.nenup.com>
电子函件: sdcbbs@mail.jl.cn
定州启航印刷有限公司印装
2019年4月第1版 2019年4月第1次印刷
幅画尺寸: 170mm×240mm 印张: 16.5 字数: 310千
定价: 79.00元

前 言

硒元素是人体必需的微量营养元素，其在提高人体免疫力和预防癌症方面有着重要作用。目前，硒元素的匮乏已经涉及 21 个国家和地区，波及 5 ~ 10 亿人口，人均硒摄入量不足 40 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。但是，缺硒个体也不能过多地补充硒元素。研究表明，摄入大量硒会增加患内皮功能障碍和糖尿病的风险。为了安全起见，世界卫生组织设定安全硒摄入上限为 400 $\mu\text{g}/\text{d}$ 。

土壤缺硒是导致人体硒含量不足的主要因素，中国、南非、波兰尤为突出。富硒作物可以有效提高人体硒水平，同时产生巨大的社会效益和经济效益。2013 年 4 月发布的《“中国富硒食品标志”行业管理规范》有如下规定：“富硒食品是遵循我国特有的天然富硒带所产富硒食品可持续经营原则，在优良的生态环境下，按照特定方式生产无污染、安全、优质的食用富硒食品，包括水果、蔬菜、药材、粮油、干果食品、肉蛋类食品等。”但是，在非富硒地区通过合理的施用硒肥也能够达到富硒的标准。

我国是一个缺硒大国，发展富硒作物对促进全民健康有着积极的作用。在土壤肥料方面，对缺硒地区施用硒肥是一条有效途径；富硒地区除了生产富硒作物外，生产富硒肥料，改良相对缺硒地区的土壤状况也是较好的途径；在作物选择上，除了选择富硒作物外，水稻、小麦、花生、苹果、柑橘等对全民补硒的贡献也较大。

本书以技术为主线，详细而系统地介绍了富硒作物生产的基本知识，主要内容为富硒作物的栽培与生产的关键技术。书中既有对理论性内容的阐述，又有对实践经验的总结，还增加了近几年国内外在富硒作物生产技

术方面新的科研成果。本书为大力开发富硒农产品、推进富硒食品产业发展提供了技术支撑，可以作为富硒作物种植人员的参考书。

尽管本书在编写过程中尽量收集相关的信息以及最新的进展，但是笔者水平所限，不足之处在所难免，敬请各位读者批评指正，不胜感激。

王道波 朱宇林 刘永贤

2018.10

第一章 作物栽培概述 / 001

第一节 作物的分类 / 001

第二节 富硒作物栽培的任务 / 003

第三节 富硒作物产量和生产潜力 / 008

第二章 富硒水稻生产关键技术 / 011

第一节 富硒水稻栽培基础 / 011

第二节 富硒水稻育秧技术 / 017

第三节 富硒水稻移栽技术 / 024

第四节 富硒水稻田间管理技术 / 028

第五节 富硒水稻收获储藏技术 / 037

第三章 富硒小麦生产关键技术 / 040

第一节 富硒小麦栽培基础 / 040

第二节 富硒小麦播前准备 / 053

第三节 富硒小麦播种技术 / 059

第四节 富硒小麦田间管理技术 / 061

第五节 富硒小麦收获储藏技术 / 068

第四章 富硒玉米生产关键技术 / 069

第一节 富硒玉米栽培基础 / 069

第二节 富硒玉米播前准备 / 079

第三节 富硒玉米播种技术 / 087

第四节 富硒玉米田间管理技术 / 090

第五节 富硒玉米收获储藏技术 / 103

第五章 富硒花生生产关键技术 / 105

- 第一节 富硒花生栽培基础 / 105
- 第二节 富硒花生播前准备 / 110
- 第三节 富硒花生播种技术 / 116
- 第四节 富硒花生田间管理技术 / 118
- 第五节 富硒花生收获储藏技术 / 123

第六章 富硒大豆生产关键技术 / 126

- 第一节 富硒大豆栽培基础 / 126
- 第二节 富硒大豆播前准备 / 133
- 第三节 富硒大豆播种技术 / 140
- 第四节 富硒大豆田间管理技术 / 142
- 第五节 富硒大豆收获储藏技术 / 151

第七章 富硒棉花生产关键技术 / 152

- 第一节 富硒棉花栽培基础 / 152
- 第二节 富硒棉花播种技术 / 159
- 第三节 富硒棉花育苗移栽技术 / 169
- 第四节 富硒棉花田间管理技术 / 172
- 第五节 富硒棉花收获技术 / 180

第八章 富硒甜菜生产关键技术 / 182

- 第一节 富硒甜菜栽培基础 / 182
- 第二节 富硒甜菜播前准备 / 190
- 第三节 富硒甜菜播种技术 / 195
- 第四节 富硒甜菜田间管理技术 / 198
- 第五节 富硒甜菜收获储藏技术 / 203
- 第六节 富硒甜菜纸筒育苗栽培技术 / 204
- 第七节 富硒甜菜地膜覆盖栽培技术 / 208

第九章	富硒甘薯生产关键技术	/	215
第一节	富硒甘薯栽培基础	/	216
第二节	富硒甘薯育苗与扦插技术	/	220
第三节	富硒甘薯田间管理技术	/	233
第四节	富硒甘薯收获储藏技术	/	236
第十章	富硒向日葵栽培技术	/	241
第一节	富硒向日葵栽培基础	/	241
第二节	富硒向日葵的栽培技术	/	247
参考文献		/	255

第一章 作物栽培概述

第一节 作物的分类

作物是指野生植物经过人类不断选择、驯化、利用、演化而来的具有经济价值的栽培植物。广义的作物概念是指粮食、棉花、油料、糖料、麻类、烟草、茶叶、桑树、果树、蔬菜、药材、花卉等。狭义的作物概念主要指农田大面积栽培的农作物，一般称大田作物，俗称庄稼。由于作物的种类很多，人们为了便于比较、利用和研究，需要进行分类，一般常按用途和植物学特征把农作物分成四大种九大类。

一、粮食作物

在生产中常见的粮食作物主要包括以下三类作物。

(一) 谷类作物

主要作物有小麦、大麦、黑麦、燕麦、水稻、玉米、谷子、高粱、黍、龙爪稷、蜡烛稗、薏苡等。

(二) 薯类作物

常见的有甘薯、马铃薯、山药、芋头、菊芋等。

(三) 豆类作物

常见的有大豆、蚕豆、豌豆、绿豆、小豆、豇豆、菜豆、小扁豆等。

二、经济作物

经济作物又称技术作物、工业原料作物，主要指具有某种特定经济用途的农作物。广义的经济作物还包括蔬菜、瓜果、花卉、果品等园艺作物。主要包括以下五类作物。

（一）纤维作物

常见的有棉花、大麻、黄麻等。

（二）油料作物

常见的有花生、芝麻、油菜、向日葵、蓖麻等。

（三）糖料作物

常见的有甘蔗、甜菜、甜叶菊等。

（四）嗜好及香料作物

常见的有烟草、茶叶、薄荷等。

（五）饮料作物

常见的有茶叶、咖啡、可可等。

三、药用作物

主要有三七、天麻、人参、黄连、枸杞、白术、甘草、半夏、红花、百合、何首乌、五味子、茯苓、灵芝等。

四、饲料绿肥作物

饲料和绿肥作物之间，大多在用途上没有严格的界限，常把其归为一类，统称为饲料绿肥作物。饲料绿肥作物较常见的有紫云英、苕子、草木樨、苜蓿、田菁、紫穗槐、箭舌豌豆、沙打旺、水葫芦、水浮莲、红萍等。

中国农业历史悠久，作物种类较多。上述分类中所提及的各种农作物在中国都有面积不等的分布，其中不少作物的生产在世界上处于优势地位。

第二节 富硒作物栽培的任务

一、作物栽培的概念

作物栽培是研究作物生长发育、产量和品质形成规律及其与环境条件的关系，探索通过栽培管理、生长调控和优化决策等途径，实现作物优质、高产、高效、可持续发展的理论、方法与技术的总称。

栽培作物的生产过程，概括起来主要包括三个方面，即作物、环境和技术措施。作物栽培技术不仅要研究作物个体的生长发育和器官形成规律，还要研究作物群体的结构和发展变化规律，探讨如何协调群体与个体的矛盾。作物与外界环境条件之间的关系也是作物栽培技术必须研究的内容。在作物栽培过程中必须树立生态平衡的意识，兼顾生产力增长、资源高效利用和环境安全，实现农业生产系统的可持续发展。

二、作物栽培的任务

作物栽培的内容很广且综合性强，又密切联系生产实际，其主要任务如下。

（一）为保障国家粮食安全提供科技支撑

一个国家唯有立足粮食基本自给，才能掌握粮食安全的主动权，才能保障国运民生。这是由粮食的极端重要性决定的。粮食是一种特殊的产品，不仅具有食物属性，同时具有政治、经济、能源、人权等多重属性。只有坚持立足国内，实现粮食基本自给，才能做到“手中有粮，心中不慌”。同时，这是由我国作为人口大国的特殊国情决定的。我国是世界上最大的粮食消费国，每年消费量要占到世界粮食消费总量的 1/5，是世界粮食贸易量的两倍多。如果我国出现较大的粮食供求缺口，不仅国际市场难以承受，还会给低收入国家的粮食安全带来不利影响。这也是由我国农业发展水平决定的。目前，我国小麦和水稻单产水平与世界前 10 位国家相比，仅为它们平均水平的 60% 左右。从国内看，粮食增产潜力巨大，如果过度进口粮食，必然会冲击国内粮食生产，不利于农业发展和农民增收。这也是由国际粮食市场的不确定性决定的。当前，除了受一般供求规律的左右，其他各种因素对粮食生产的影响也越来越明显，包括气候因素以及自然灾害导致的粮食供给不足，生物燃料和消费结构变化导致的粮食需求旺盛，以及部分国家出口

禁令、国际投机资本在期货市场上的炒作等。据测算,近10年来全球谷物消费需求年均增长1.1%,而产量年均仅增长0.5%,难以满足消费需求的持续增加。

稳定粮食播种面积,作物栽培具有不可替代的作用。尤其提高单产水平更是增强我国粮食综合生产能力的主要路径。这就需要充分发挥科技对粮食增产的支撑作用,借助良种、良肥、良法综合配套,利用自然条件和各种技术手段,探索现代农业发展新机制。

(二) 为实现全民食品安全提供技术保障

粮食作物、油料作物和经济作物是最原始的食品和食品加工原料。当前,环境污染、土壤污染、化肥污染、农药污染、农膜污染、除草剂污染等严重影响和制约着食品安全。食品安全是指能够有效地提供给全体居民数量充足、结构合理、质量达标的包括粮食在内的各种食物。食品安全还包含“要有充足的粮食储备”。粮食的最低安全系数是储备量至少应占需要量的17%~18%。食品安全不仅是管出来的,也是种出来的。这就需要借助现代的作物栽培技术,从源头上治理和预防食品的各种不安全因素,生产出优质高效的符合人们需求的多元化食品。

富硒农产品在我国有至少30年历史,国外发达国家历史更长。调查研究与资料显示,富硒农产品深受人们喜爱。克山病的发现、治疗和杜绝就是一个很好的例证。另外,通过富硒技术生产的富硒农产品,如富硒水稻、面粉、茶、蔬菜等,价格固然高一些,但口感好,还可以提高人体免疫力、预防疾病。富硒农产品问世数十年,未发现因食用原因而引起健康缺陷的报道,而因坚持食用富硒农产品改善健康的例证并不少。

富硒农产品种植使用的是有机硒肥。有机硒肥具有作物吸收快、果实硒含量稳定、重金属及非有机杂质含量低的突出特点,同时人食用有机富硒农产品后,微量元素硒不会在身体内沉淀积累,而是正常转化、排泄,这也是有机硒肥与无机硒肥的根本区别。当然,现阶段真正的有机类硒肥非常少,所以在选择硒肥时一定要谨慎。还有一点要引起正视,无机硒肥除了毒性大、重金属杂质多、作物富硒量不稳定、无法正常吸收等缺陷外,大量、长期使用后还会造成土肥害,形成二次污染。

富硒农产品中硒含量应严格控制在世界卫生组织及国家相关规定尺度,如茶叶硒含量在2 mg最为适宜,粮食硒含量在0.5~0.8 mg较为适宜。国家农产品质量安全监视检查中心及其他相关机构对富硒农产品质量有严格的监控检测,确保富硒食品的安全性。长期坚持食用富硒食品有益健康、延年益寿。

（三）是增加供给的多样性，改善作物品质的必然选择

随着我国建成小康社会目标的实现，人民生活水平的日益提高，国人不但要吃得饱，还要吃得好。这就要求作物栽培技术拓宽研究领域，由“粮食作物—经济作物”二元结构，向“粮食作物—经济作物—饲料作物”三元结构甚至多元化发展，为改善我国人民的食物构成提供物质基础。按照不同的生产目标 and 需求标准，人均粮食 300 kg 只能算温饱的低限水平，400 kg 可算温饱有余的水平，只有 500 kg 以上才能算充足富裕的水平。目前，单纯地追求产量，已不能适应社会发展的需要，必须达到优质，才能满足市场的需求。随着质量标准不断出现，对各种作物品质的要求更加严格和迫切，而且由于家庭农场、承包大户、农业合作社的兴起，一些专业化生产正在形成，有机食品、绿色食品、无公害生产日趋得到全社会的普遍认可。因此，必须借助作物栽培技术改善作物品质，这也将是未来农业的发展方向。

（四）是实现农业可持续发展，提高作物生产效益的基础性措施

土地是不可再生资源，在坚持 12×10^6 亩耕地红线的前提下，必须依靠科技的支撑作用，提升农业的总体发展水平。可持续农业包含两层含义：一是发展生产满足当代人的需要；二是发展生产不以损坏环境为代价，使各种资源得到延续利用。因此，可持续发展的目标是改变农村贫困的落后面貌，逐渐达到农业生产率的稳定增长，提高食物生产数量和质量，保护食物安全，发展农村经济，增加农民收入。只有走可持续发展道路，才能够保护和改善农业生态环境，合理、持续地利用自然资源，最终实现人口、环境与发展的和谐。

增产不增收，已严重影响着农业发展和农民生产的积极性。调整生产内部结构，实现作物生产效益和农民增收是作物栽培的重要内容之一。

三、作物栽培技术的主要科技成就

（一）作物栽培技术的历史

在我国，作物栽培是一门古老而又富有生命力的科学。春秋战国时期的《吕氏春秋》中，就有农事种植的记载。西汉的《泛胜之书》、后魏的《齐民要术》、元代的《农桑辑要》及清代的《授时通考》等古农书都是对我国古农业中的精耕细作、用地养地、抗逆栽培、因地制宜和因时制宜等经验的总结，至今仍有指导价值。

中华人民共和国成立之前，我国只有《作物学》，内容包括育种、栽培、植

病、昆虫、肥料、土壤、气象及贮藏技术，而无独立的作物栽培技术。中华人民共和国成立后，随着我国农业科技的发展和学科分类的需要，作物栽培走向分化，专业的作物栽培技术应运而生。

（二）作物栽培技术的主要科技成就

半个世纪以来，中国作物栽培科研工作取得了重大进展，对我国农业发展做出了突出贡献。主要表现在以下几个方面。

第一，研究并参加编制了各种主要作物的生态适应区划、合理种植制度区划和品质生态区划（与土壤肥料、耕作、气象学等专业协作进行）；充分发挥区域比较优势，加快农业布局调整和优化；提出重点地区的栽培技术改革途径，促进农业大面积平衡增产。

第二，研究了作物高产、稳产、优质、高效的植株个体形态、群体长势与长相，群体结构的动态指标，营养诊断指标，水分生理指标等。有重点地研究了与农业现代化相适应的生产操作机械化、农业技术指标化、栽培措施标准化，逐步形成了规范化的综合栽培技术体系。

第三，研究了作物栽培技术改革的新途径和新方法。例如，节能、省工、低消耗、高效率的栽培技术新途径；无土栽培、保护地栽培、覆盖栽培等新技术体系；信息技术在作物栽培中的应用等。

第四，研究了提高作物产量和品质的生物学理论基础。例如，研究作物产量形成过程中产量构成因素与器官建成的关系、器官同伸规律及其调节控制机理；群体结构及其发展动态，农田生态系统与光能利用；作物生长发育（包括产品数量与质量形成过程）对营养、水分的需要和吸收利用规律；作物田间诊断的原理、内容、方法和指标，以及作物生长发育对环境的要求、适宜范围、临界指标和对不良条件的反应等。

第五，揭示作物的生长发育规律及其与环境条件的关系，配套集成了各种作物在主要产区的高产、稳产、优质、高效栽培技术，如“小麦、玉米一体化亩产吨粮栽培技术”“冬小麦精播高产栽培技术”等，为我国作物生产的发展做出了重要贡献。

四、作物栽培技术的发展

（一）作物的“源、流、库”理论及其应用

作物产量的形成，实质上是通过叶片的光合作用进行的，因此源是指生产和

输出光合同化物的叶片。就作物群体而言，其主要指群体的叶片面积及光合能力。从产量形成的角度看，库主要是指产品器官的容积和接纳营养物质的能力。流是指作物植株体内输导系统的发育状况及其运转速率。从源与库的关系看，源是产量库形成和充实的物质基础。源、库器官的功能是相对的，有时同一器官兼有两个因素的双重作用。从源、库与流的关系看，库、源大小对流的方向、速率、数量都有明显的影响，起着“拉力”和“推力”的作用。源、流、库在作物代谢活动和产量形成中构成统一的整体，三者的平衡发展状况决定作物产量的高低。国内外在近代作物栽培生理研究中，特别是在作物产量和品质形成的理论探讨中，常用源、流、库三因素的关系阐明其形成规律，探索实现高产、优质的途径，进而挖掘作物产量的潜力。

（二）作物生长模拟研究及其应用

作物生长模拟是在作物科学中引进系统分析方法和应用计算机后兴起的一个研究领域。它是通过对作物生育和产量的实验数据加以理论概括和数据抽象，找出作物生育动态及其与环境之间关系的动态模型，然后在计算机上模拟作物在给定的环境下整个生育期的生长状况，确定因地制宜、因苗管理的应变决策，提出分类指导的最佳方案，提高现代化管理水平。

（三）作物智能栽培技术

作物智能栽培使作物栽培技术的研究工作从定性理解向定量分析、概念模式向模拟模型、专家经验向优化决策转化。作物智能栽培先必须依赖于作物模拟模型及智能决策支持系统来实现对作物生产系统的动态预测和管理决策，提高生物技术的量化、规范化和集成化程度。作物智能栽培的理论基础广泛，涉及计算机技术、信息科学、系统科学、管理科学、生态学、土壤学、作物科学等多个学科领域，但其主要学术思想是将系统动力学、知识工程和智能管理的方法、技术创造性地应用于作物生产系统，对不同环境下的作物生产状况做出实时预测，并提供优化管理决策，实现作物生产的优质、高产、高效、持续发展。作物智能栽培的应用系统既可用于生产单位和技术指导部门，又可作为主管农业领导的管理办公系统。

（四）多学科相融合的现代栽培技术研究

从合理利用资源，达到优质、高产、高效以及保护环境、可持续发展等多方面考虑，现代作物栽培技术的研究需要多学科交叉与融合，研究的对象从只注重单一作物的研究拓展到两作、多作的复合群体，乃至有关的连作、轮作等理论与

技术；研究目标从单纯追求产量，发展到着眼于高产、优质、高效，注重产品品质，讲求市场效益，掌握商品信息，关心经营管理；研究领域从单纯研究作物在农田的生产系统，延伸到产前（种子）和产后（农产品加工）相联系，农业生产与农业机械化相联系；研究途径从重视作物内在的栽培生理微观机理的研究，拓展到同时注重作物生产的生态环境、栽培环境、高效利用与节约自然资源，以及社会生产过程的宏观环境的研究，扩大视野与边界；研究手段和方法，从单纯研究某一生育阶段或生产技术的田间试验，发展到运用高新技术研究作物栽培的生物学机制，丰富作物栽培学科的理论基础。

（五）生物高新技术的研究将进一步促进作物栽培技术的发展

作物产量和品质潜力是由作物自身的遗传特性和生理生化过程等内在因素决定的，而产量和品质潜力的实现，则取决于环境因子、栽培条件与作物的协调统一。作物栽培的任务，说到底改善环境、创造条件，使作物的遗传潜力得以充分表达。

当前，人们已经认识到产量和品质潜力不但涉及作物形态、解剖、生理，而且与作物的基因、酶等有着密切的关系。在生理学水平上，改变光合色素的组成和数量，改造叶片的吸光特性，改良二氧化碳固定酶，提高酶活性及对二氧化碳的亲和力，均有助于提高光合效率。

生产富硒农产品，特别是各方面要求甚严的粮食作物，一定要选用有机类硒元素，如土伯有机硒肥。这种肥料不仅重金属非有机杂质含量符合标准，生物活性好，易被作物吸收，农产品硒含量稳定，品质产量优于普通农产品，而且生产成本低，农产品符合富硒农产品质量要求。

第三节 富硒作物产量和生产潜力

一、作物产量

所谓作物产量，包括两个概念：一个是生物产量，即作物在生育期间积累的干物质总量（一般不包括根系）；另一个是经济产量（即通常所说的产量），是指生物产量中被利用作为主要产品的部分。

作物的经济产量是生物产量的一部分。经济产量占生物产量的比值叫经济系数。作物的经济系数越高，说明该作物对有机质的利用率越高，主产品的比例

越大，而副产品的比例越小。不同作物的经济系数有很大差别，如薯类作物为70%~80%，小麦为45%，玉米为30%~40%，大豆为30%左右。同一种作物因品种、环境条件及栽培技术的不同，其经济系数也有明显的变化。

二、作物产量构成因素

作物不同，产量（经济产量）构成因素也不同。禾谷类作物的产量由穗数、粒数和粒重三个基本因素构成，三者的乘积越大产量越高。在相同产量情况下，不同品种、不同条件，构成产量因素的作用可以不一样。有的三个因素同时得到发展，也有的仅是其中一个或两个因素较好。以小麦为例，北部麦区高产田的产量构成因素以穗多为特点；南部高产田的穗数较少，但每穗粒数较多。因此，不同地区、不同品种，在不同栽培条件下，有着各自不同的最优产量因素组合。

在一定的栽培条件下，产量构成因素之间存在着一定程度的矛盾。单位面积上穗数增加到一定程度后，每穗粒数就会相应减少，粒重也有降低趋势，这是普遍规律。当穗数的增多能弥补并超过粒数、粒重，降低的损失时，则表现为增产；当某一因素作用的增大不能弥补另外两个因素减少的损失时，就表现为减产。

三、作物增产潜力及提高作物产量的途径

作物所积累的有机物质，是作物利用太阳光能、二氧化碳和水，通过光合作用合成的。因此，通过各种途径和措施，最大限度地利用太阳光能，不断提高光合效率，以形成尽可能多的有机物质，是挖掘作物生产潜力的重要手段。

阳光是作物进行光合作用的巨大能源。据计算，作物可能达到的对阳光的最高利用率为可见光的12%左右。但目前耕地平均全年对太阳光能的利用率只有0.4%，仅是可能最高利用率的1/30。即使亩产已达500 kg水平的地块，其光能利用率也只有2%；就是亩产1 000~1 500 kg的地块，其光能利用率也不过3%~5%。由此可见，提高作物单位面积产量，还有巨大的潜力。

要达到最大光能利用率，必须具备以下四个条件：一是具有充分利用光能的高光效作物及品种；二是空气中的二氧化碳浓度正常；三是环境条件处于最适状态；四是具有最适于接受和分配阳光的群体。这四个条件可分为改进作物因素和改善环境因素两个方面。具体应从以下四个方面着手。

（一）培育高光效的农作物品种

要求作物具有高光合能力、低呼吸消耗，叶面积适当，光合机能持续时间较长，株型、叶型、长相都利于群体最大限度地利用光能。