



高等院校农学与生物技术专业规划教材

主编◎张国平 周伟军

Crop Production

# 作物栽培学

(第二版)



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社



高等院校农学与生物技术专业规划教材

主编◎张国平 周伟军

Crop Production

# 作物栽培学

(第二版)



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

作物栽培学 / 张国平, 周伟军主编. —2 版. —杭州:  
浙江大学出版社, 2016. 4

ISBN 978-7-308-15619-6

I. ①作… II. ①张…②周… III. ①作物—栽培学  
IV. ①S3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 039179 号

作物栽培学(第二版)

张国平 周伟军 主编

---

责任编辑 阮海潮(ruanhc@zju.edu.cn)

责任校对 杨利军 秦 瑕

封面设计 续设计

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州中大图文设计有限公司

印 刷 杭州杭新印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 18.5

字 数 474 千

版 印 次 2016 年 4 月第 2 版 2016 年 4 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-15619-6

定 价 49.00 元

---

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行中心联系方式: 0571-88925591; <http://zjdxcbcs.tmall.com>

## 前 言

作物栽培学是农学专业的一门骨干课程,也是植物保护、资源与环境等专业学生所必修的一门专业学位课。编者从教已逾 30 年,并长期讲授作物栽培学这门课程,每每在课堂上面对学生讲授这门课时,总觉得力不从心。原因很多:一是内容多,课时数少。20 世纪 80 年代初编者就学时,该课程学时数达 240~280 学时,横跨一个半学年,而时下各高校大多压缩至 80 学时以下。二是发展快,内容变动大。作物栽培学所涉及的种植制度、品种类型、耕作方式、肥水运筹、防病治虫、化学除草、机械收获等作物生产与管理体系统,可谓与时俱进,变化莫测。三是前置课程多,应用性强。作物栽培学的基本前置课程应有植物生理学、土壤学、植物营养学、植物保护学(植物病理学、昆虫学)、农业生态学、农业气象学等,这些课程的掌握直接关系到对作物栽培学知识的吸收与消化。同时,作物栽培学也是一门应用性、实践性很强的学科,要求教学上特别注重理论联系实际,创造更多的机会使学生“临其境”,加深对知识的理解与掌握。教学效果固然与很多因素有关,但在目前普遍采用多媒体教学且课时数不断减少的情形下,有一本优秀的教材至少可以为学生提供一个系统自习、全面领会并查阅相关文献的机会。鉴于此,我们启动了本教材的编写。

本教材是 2001 年浙江大学出版社出版的《作物栽培学》一书的修订本,基本上保留了原版本的框架与内容,主要改动或补充之处是各种作物的栽培技术,力求体现新颖,并实现了各章形式的统一,即专设一节阐述特定作物栽培科学现状与发展前景,以引导教师精选教学内容和拓展学生视野。

原版本的全体人员参与了本教材的修订工作,第一章(绪论)和第三章(小麦)由张国平负责,第二章(水稻)由程方民负责,第四章(玉米)由陈进红负责,第五章(棉花)由邬飞波负责,第六章(油菜)和第八章(甘薯)由周伟军负责,第七章(大豆)由汪自强负责,第九章(马铃薯)由黄冲平负责。编者在第一版前言述及,本教材是在浙江农业大学作物栽培学教研组于 20 世纪 80 年代编写的教学用书基础上撰写的,并参考了国内外新出版的相关教材,在此对这些教材的作者表示衷心的感谢。本教材得到浙江大学出版基金的资助,亦谨表谢意。

受编者水平所限,本教材恐难圆初衷、达到优秀之梦,且有不少谬误之处,祈盼读者指正。

张国平 周伟军

2016 年元月

# 目 录

第一章 绪 论 .....	1
第一节 作物栽培学的性质、任务和学习方法 .....	1
第二节 作物的概念和分类 .....	2
第三节 作物产量和生产潜力 .....	5
第四节 作物栽培科学成就与发展前景 .....	8
第二章 水 稻 .....	15
第一节 概 述 .....	15
第二节 水稻栽培的生物学基础 .....	18
第三节 水稻栽培技术 .....	43
第四节 稻作栽培科学现状与发展前景 .....	63
第三章 小 麦 .....	73
第一节 概 述 .....	73
第二节 小麦栽培的生物学基础 .....	74
第三节 小麦栽培技术 .....	90
第四节 小麦栽培科学现状与发展前景 .....	101
第四章 玉 米 .....	104
第一节 概 述 .....	104
第二节 玉米栽培的生物学基础 .....	106
第三节 玉米栽培技术 .....	115
第四节 玉米栽培科学现状与发展前景 .....	130
第五章 棉 花 .....	134
第一节 概 述 .....	134
第二节 棉花栽培的生物学基础 .....	138
第三节 棉花栽培技术 .....	153



---

<b>第六章 油菜</b> .....	173
第一节 概 述 .....	173
第二节 油菜栽培的生物学基础 .....	175
第三节 油菜栽培技术 .....	188
<b>第七章 大豆</b> .....	206
第一节 概 述 .....	206
第二节 大豆栽培的生物学基础 .....	209
第三节 大豆栽培技术 .....	219
第四节 大豆栽培科学现状与发展前景 .....	230
<b>第八章 甘 薯</b> .....	235
第一节 概 述 .....	235
第二节 甘薯栽培的生物学基础 .....	238
第三节 甘薯栽培技术 .....	250
第四节 甘薯栽培科学现状与发展前景 .....	263
<b>第九章 马铃薯</b> .....	267
第一节 概 述 .....	267
第二节 马铃薯栽培的生物学基础 .....	270
第三节 马铃薯栽培技术 .....	280
第四节 马铃薯栽培科学现状与前景 .....	287

# 第一章 绪论

作物生产是人类社会赖以生存和发展的最基本的产业,维系粮食安全,在国民经济发展中具有重要的战略地位。我国人民衣食需求的95%和纺织工业原料的65%左右,直接或间接来自作物生产;食品工业中的糕点、糖果和酿造业的原料,绝大多数也来自作物生产。作物生产是农业生产的第一性生产,是种植业的主要内容。作物生产的发展对于国民经济各部门的发展以及农业内部各业的调整与发展,均具有举足轻重的影响。

## 第一节 作物栽培学的性质、任务和学习方法

### 一、作物栽培学的性质和任务

作物栽培学(crop production, crop husbandry)是一门直接为农业生产服务的应用性科学。它的基本任务是围绕作物优质、高产、高效、生态、安全的生产目标,揭示作物生长发育、产量与品质形成等规律及其对生态环境、栽培措施的反应,探索作物优质高产高效的客观规律,制订综合配套栽培技术,以实现最大的经济效益、社会效益和生态效益。

作物栽培学的内容丰富,且综合性强。作物种类多,各种作物及其品种都有其自身的生长发育和产量及品质形成规律,因此作物栽培学首先必须研究它们的生育规律,在此基础上提出相应的栽培技术措施;作物在生长发育的不同阶段,对土、肥、水、光、气等外界条件都有特定的要求,且各种环境因子又是相互关联的,因此作物栽培学必须研究作物生长发育与环境条件的关系,明确最有利于作物高产和优质的环境因子以及为创造最佳生长环境的农艺调控技术;作物生产的对象是群体,而群体由个体所组成,在作物生长发育过程中,群体与个体间存在着一定的矛盾,主要表现在群体内不同个体对外界环境因子的竞争作用,因此作物栽培学必须分析这些作用,创造一个群体和个体协调发展的农田生态系统,改善群体质量(population quality),以充分发挥品种的遗传潜力;作物生产不仅要考虑当季当年的高产高效,而且要考虑生产的持续发展、资源的有效利用以及环境的洁净安全,因此作物栽培学还必须研究当季当年的生产对土壤肥力、资源利用和环境质量的影响,建立一种可持续发展的种植和栽培管理体系。

### 二、作物栽培学的学习方法

要学好作物栽培学,必须注意以下几点:

一是要了解国内外市场对作物产量和品质的要求,树立以市场为导向的生产观念。

二是要确立正确的学习方法。作物栽培学研究的对象是活的有机体,作物本身的生长发育规律、外界环境条件的变化规律,以及作物生长发育和环境条件关系的规律,都是客观存在的。因此,学习作物栽培学要理解这些规律的基本原理,并善于分析和归纳。

三是要有理论联系实际、实事求是的科学观。作物栽培学是一门实践性很强的科学,它直接用于指导实践,为生产服务。因此,学习作物栽培学,一方面要掌握理论知识,另一方面要紧密结合生产实践,从实践中不断提高发现问题、分析问题和解决问题的能力。

四是要学好相关的基础学科,奠定学好作物栽培学的理论基础。作物栽培学是一门综合性很强的应用科学,它以众多的学科为基础。如研究作物的形态结构,必须具有植物学、植物解剖学的知识;研究作物的生长发育规律,必须具有植物生理学、遗传学以及现代分子生物学的知识;研究作物对环境条件的要求,必须具有土壤学、农业气象学、农业化学、农业生态学以及植物生理学的知识;防治病虫杂草,必须具有农业微生物学、农业昆虫学、植物病理学和农药学的知识;在试验设计和数据分析时,必须具有生物统计学、计算机应用技术等知识;为了提高生产效益,还必须具有经济管理、农产品加工学和市场营销学等知识。

## 第二节 作物的概念和分类

### 一、农作物的概念

作物的概念有狭义和广义之分。从广义上说,凡是有利用价值并由人工栽培的植物都称作物,如粮食作物、油料作物、蔬菜作物、果树、桑和药用作物等。从狭义上讲,所谓作物是指粮、棉、油、麻、糖、烟等大田作物,即农作物。地球上有记载的植物有 30 万余种,目前被人类利用的约有 2500 种,其中约有 1500 种为人工栽培植物。世界栽培植物中最主要的农作物有 90 多种,我国目前种植的主要农作物有五六十种。

我国是一个具有悠久栽培植物历史的国家,是许多重要农作物如稻、粟、大豆等的原产地。小麦、大麦、黍、大麻等在我国也有数千年栽培历史,其他如甘薯、玉米、马铃薯、蚕豆等作物传入我国的时期,虽然有先有后,但在原产地都有相当长的栽培历史。随着农业生产的发展与人类对植物资源的开发利用,一些野生植物会逐步加入作物的行列。

### 二、农作物的分类

农作物的种类很多,为了便于比较、研究和利用,人们常根据作物的某些特征、特性进行分类,其中按用途和植物学系统的分类,是目前最常用的分类方法,依此分类,可将农作物分为三大部门、八大类别。

#### (一)粮食作物(food crops)

(1) 谷类作物(cereal crops) 一般属禾本科植物。常见的有稻、小麦、大麦(青稞、元麦)、燕麦(包括莜麦)、黑麦、玉米、高粱、粟、黍(包括稷)、龙爪稷、蜡烛稗、薏苡等。蓼科的荞麦,因其主要用途与上述作物相同一般也列在此类中。



(2) 豆科作物(legume crops) 属豆科植物。常见的有大豆、蚕豆、豌豆、绿豆、饭豆、小豆、豇豆、菜豆、兵豆(小扁豆)、扁豆、鹰嘴豆等。

(3) 薯类作物(tuber and root crops) 又称根茎类作物,植物学上科属不一。常见的有甘薯、马铃薯、豆薯、木薯、山药(薯蓣)、蕉藕、芋、魔芋、菊芋等。

## (二)经济作物(cash crops)

(4) 纤维作物(fiber crops) 植物学上科属不一,常见的有棉花、红麻、黄麻、大麻、苘麻、苧麻、亚麻、剑麻、蕉麻、菠萝麻、罗布麻等。

(5) 油料作物(oil crops) 常见的有油菜、花生、芝麻、蓖麻、向日葵、红花、油莎草等。

(6) 糖料作物(sugar crops) 常见的有甘蔗、甜菜和甜菊等。

(7) 其他作物(other crops) 包括烟草、茶叶、薄荷、咖啡、啤酒花、席草、浙贝母、白术、玄参、芍药、麦冬、延胡索、杭白菊、郁金、厚朴、山茱萸、西红花等。

## (三)绿肥及饲料作物(green manure and foliage crops)

(8) 绿肥饲料作物 大多数属于豆科植物,常见的有黄花苜蓿、紫云英、苕子、草木樨、田菁、桤麻、紫穗槐、绿萍、水花生、水葫芦、黑麦草、籽粒苋等。

表 1-1 列出了常见作物的名称及主要用途。

表 1-1 常见作物中文名、学名、英文名及主要用途

中文名	学名	英文名	主要用途
禾本科 Gramineae			
稻	<i>Oryza sativa</i> L.	Rice	籽实食用
小麦	<i>Triticum aestivum</i> L.	Wheat	籽实食用
大麦	<i>Hordeum vulgare</i> L.	Barley	籽实食用、饲用、啤用
黑麦	<i>Secale cereale</i> L.	Rye	籽实食用
燕麦	<i>Avena sativa</i> L.	Oat	籽实食用、饲用
玉米	<i>Zea mays</i> L.	Maize (corn)	籽实食用、饲用
高粱	<i>Sorghum vulgare</i> Pers.	Sorghum	籽实食用、饲用
黍(稷)	<i>Panicum miliaceum</i> L.	Proso millet	籽实食用
粟	<i>Setaria italica</i> (L.) Beauv.	Foxtail millet	籽实食用
薏苡	<i>Coix lacryma-jobi</i> L.	Job's-tears	籽实食用、药用
甘蔗	<i>Saccharum officinarum</i> L.	Sugar-cane	茎糖用
蓼科 Polygonaceae			
荞麦	<i>Fagopyrum esculentum</i> Moench	Buckwheat	籽实食用
豆科 Leguminosae			
大豆	<i>Glycine max</i> (L.) Merr.	Soybean	种子油用、食用
花生	<i>Arachis hypogaea</i> L.	Peanut	种子油用、食用
蚕豆	<i>Vicia faba</i> L.	Broad bean	籽实食用
豇豆	<i>Vigna unguiculata</i> L.	Common cowpea	籽实食用
豌豆	<i>Pisum sativum</i> L.	Garden pea	籽实食用
饭豆	<i>Phaseolus calcaratus</i> Roxb.	Rice bean	籽实食用
绿豆	<i>Phaseolus radiatus</i> L.	Mung bean, green gram	籽实食用

续表

中文名	学名	英文名	主要用途
小豆	<i>Phaseolus angularis</i> Wight	Adzuki bean	籽实食用
菜豆	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Common bean (kidney bean)	籽实食用
扁豆	<i>Dolichos lablab</i> L.	Hyacinth bean	籽实食用
紫云英	<i>Astragalus sinicus</i> L.	Milk vetch	全株作绿肥、饲料
南苜蓿	<i>Medicago denticulata</i> Willd	Alfalfa	全株作绿肥、饲料
苕子	<i>Vicia sativa</i> L.	Vetch	全株作绿肥、饲料
猪屎豆	<i>Crotalaria mucronata</i> Desv.	Striped crotalaria	全株作绿肥
柘麻	<i>Crotalaria juncea</i> L.	Sunn hemp	全株作绿肥
胡枝子	<i>Lespedeza bicolor</i> Turcz.	Shrub lespedeza	茎叶作绿肥
紫穗槐	<i>Amorpha fruticosa</i> L.	Bastard indigo, Falseindigo	茎叶作绿肥
田菁	<i>Sesbania cannabina</i> (Retz.) Poir.	Common sesbania	全株作绿肥
草木樨	<i>Melilotus officinalis</i> (L.) Pall.	Sweet clover	茎叶作绿肥
豆薯	<i>Pachyrhizus erosus</i> (L.) Urban	Wayaka yambean, yambean	块根食用
旋花科 Convolvulaceae			
甘薯	<i>Ipomoea batatas</i> Lam.	Sweet potato	块根食用
薯蓣科 Dioscoreaceae			
山药	<i>Dioscorea batatas</i> Decne.	Yam	块根食用
天南星科 Araceae			
芋	<i>Colocasia esculenta</i> Schott.	Taro	球茎食用
大藻	<i>Pistia stratiotes</i> L.	Water lettuce	全株饲用
美人蕉科 Cannaceae			
美人蕉	<i>Canna edulis</i> Ker	Queenalan arrowroot	块茎食用、饲用
茄科 Solanaceae			
马铃薯	<i>Solanum tuberosum</i> L.	Potato	块茎食用
烟草	<i>Nicotiana tabacum</i> L.	Tabacco	叶制烟
锦葵科 Malvaceae			
棉花	<i>Gossypium</i> spp.	Cotton	种子纤维纺织
红麻	<i>Hibiscus cannabinus</i> L.	Kenaf	韧皮, 纤维用
苘麻	<i>Abutilon avicennae</i> Gaertner	China jute	韧皮, 纤维用
椴树科 Tiliaceae			
黄麻	<i>Corchorus capsularis</i> L.	Jute	韧皮, 纤维用
荨麻科 Urticaceae			
苧麻	<i>Boehmeria nivea</i> (L.) Gaudich.	Ramie	韧皮, 纤维用
大麻科 Cannabiaceae			
大麻	<i>Cannabis sativa</i> L.	Hemp	韧皮, 纤维用
亚麻科 Linaceae			
亚麻	<i>Linum usitatissimum</i> L.	Flax	韧皮, 纤维用
龙舌兰科 Agavaceae			
剑麻	<i>Agave sisalana</i> Perr. ex Engelm	Sisal hemp	叶, 纤维用
芭蕉科 Musaceae			
蕉麻	<i>Musa textilis</i> Nee	Manila hemp, Abaca	叶, 纤维用
十字花科 Cruciferae			
油菜	<i>Brassica</i> spp.	Rape	种子油用

续表

中文名	学名	英文名	主要用途
胡麻科 Pedaliaceae			
芝麻	<i>Sesamum indicum</i> L.	Sesame	种子油用
菊科 Compositae			
向日葵	<i>Helianthus annuus</i> L.	Sunflower	种子油用
菊芋	<i>Helianthus tuberosus</i> L.	Jerusalem artichoke	块茎食用
大戟科 Euphorbiaceae			
蓖麻	<i>Ricinus communis</i> L.	Castor-oil plant	种子油用
木薯	<i>Manihot utilissima</i> (Pohl) Link	Cassava	块根食用
藜科 Chenopodiaceae			
甜菜	<i>Beta vulgaris</i> L.	Sugar beet	块根糖料
茶科 Theaceae			
茶	<i>Camellia sinensis</i> (L.) O. Ktze	Tea	叶制茶
雨久花科 Pontederiaceae			
水葫芦	<i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms	Common water hyacinth	全株饲用
苋科 Amaranthaceae			
水花生	<i>Alternanthera philoxeroides</i> (Mart.) Griseb.	Alligator alternanthera	全株饲用
槐叶苹科 Salviniaceae			
绿萍	<i>Azolla imbricata</i> L.	duckweed	全株绿肥

### 第三节 作物产量和生产潜力

#### 一、作物产量

作物产量有生物产量(biomass yield)和经济产量(economic yield)两个概念。生物产量是指作物在整个生育期间生产和积累的有机物质总量,即整个植株(一般不包括根系)的干物质总量。经济产量是指栽培目的所需要的产品收获量,即一般意义上的产量。由于作物种类和栽培目的不同,被利用作为产品的部分也不相同,如禾谷类、豆类作物的产品是籽实,薯类作物是块根、块茎,棉花是种子纤维,黄麻、红麻、大麻、苧麻等为韧皮纤维,甘蔗为茎秆,烟草、茶叶为叶片,绿肥作物为整个植株;当玉米作为粮食作物时,其产品收获物是籽实,作为饲料作物时,茎、叶、果穗均可用作饲料。

作物经济产量是生物产量的一部分,经济产量的形成以生物产量为物质基础。没有高的生物产量,就不可能有高的经济产量,但有了高的生物产量,是否就一定具有高的经济产量了呢?这取决于生物产量转化为经济产量的效率。这种转化效率可用经济系数(经济产量/生物产量)来衡量。经济系数(economic coefficient)越高,说明有机物转化为收获物的效率越高。现代育种大大提高了作物的经济系数,目前薯类作物为0.7~0.85,水稻、小麦在0.50左右,玉米为0.25~0.30,油菜和大豆在0.3左右。由此可见,不同作物的经济系数差

异很大,这很大程度上与所利用的产品器官及其化学成分有关。一般说来,凡是以营养器官作为收获对象的作物(如薯类),其产品形成过程比较简单,经济系数往往较高;凡是以生殖器官作为收获对象的作物(如禾谷类和豆类),其产品形成过程要经过较为复杂的有机物转运和再合成,经济系数较低。以碳水化合物为主的收获产品,因形成过程能量消耗少,往往经济系数较高;蛋白质和脂肪含量较多的收获产品,形成过程能量消耗多,经济系数较低,因而大豆、油菜等蛋白质、油分含量较高的作物经济系数要比稻、麦等禾谷类作物低。

一般,特定作物品种的经济系数相对比较稳定,作物产量主要取决于生物产量,因而提高生物产量是夺取高产的基础。从作物经济产量的形成过程上看,在作物营养生长阶段,光合同化物绝大部分用于营养体的建成,为以后产品器官的发育和形成奠定物质基础;进入生殖生长后,光合同化物主要用于生殖器官或储藏器官的形成,即形成产量。因此,作物生育后期的光合同化量与经济产量的关系十分密切。保持后期有较大的绿叶面积和较强的光合能力,是提高作物经济产量和经济系数的关键所在。为了达到高产目标,栽培上要运用综合配套技术措施,在作物生育前期,促进壮苗早发,建立起大的营养体(源, source),为生产大的生物产量打基础;在生育中期要促使营养器官和生殖(储藏)器官的协调生长,形成足够数量的有机物储存器官(库, sink);在生育后期要防止植株早衰和贪青,保证有充足的有机物合成和顺利向产品器官运输(流, stream)。也就是说,要获得作物高产,不仅要求同化物多,运转能力强,同时还要求有与之相适应的储存产品的器官,即要求库大、源足、流畅。

## 二、作物产量构成因子及相互关系

作物产量由单株产量和单位面积上的株数两大因素构成,且具体因素因作物种类而异(表 1-2)。作物栽培学的一个基本内容便是研究这些因素的形成规律和相互之间的关系,以及影响这些因素的条件,并制订相应的农艺措施以满足这些因素协调发展的需要。不同品种或同一品种不同生产条件下的产量可能相同,但它们的产量结构可能不同。以小麦为例,我国北方冬麦区高产田块的特点是穗数多,而南方麦区高产田块的穗数较少,但每穗粒数较多,这一差异是由地区间生态条件不同所决定的。

在一定的栽培条件下,作物群体的产量构成因素之间往往存在着一定的矛盾关系。以禾谷类作物为例,当单位面积的穗数增加时,每穗粒数就有减少的趋势,千粒重也会有所降低,这是因为作物的群体是由各个体组成的,当单位面积上株数(密度)增加时,各个体所占的空间就减少,这样个体的生物产量会相应削弱,因而表现为每穗粒数等构成经济产量的器官也减少。密度增加,个体变小是普遍现象,但个体变小,不等于最后产量就低,这是因为作物栽培的最终目的是单位面积上的产量,即要求单位面积上的穗数×粒数×粒重达到最大值。由此可见,若单位面积上的穗数增加能弥补并超过每穗粒数及粒重减少的损失,则表现为增产。当三因素中任一因素增加而不能弥补另两个因素减少的损失时,就表现为减产。那么,个体可以允许的削弱和过分削弱之间的界限在哪里呢?根据对以籽实为收获物的作

表 1-2 各类作物单位面积产量构成因素

作物类型	产量构成因素
禾谷类作物	穗数、每穗实粒数、粒重
豆类作物	株数、每株荚数、每荚实粒数、粒重
薯类作物	株数、每株薯块数、单薯重
棉花	株数、每株有效铃数、每铃籽棉重、衣分
油菜	株数、每株荚数、每荚粒数、粒重
甘蔗	有效茎数、单茎重
烟草	株数、每株叶数、单叶重
绿肥	株数、单株重

物的分析结果,当群体密度增加到一定水平时,单株籽实重并不随植株重量降低成比例下降,而是比株重下降更为剧烈,结果导致经济系数下降,即在密度提高后植株受到削弱时,生殖器官受到的削弱更为严重。因此,在密度过高时,虽然生物产量并不比密度适宜时少,但经济产量却由于经济系数的下降而比密度适宜时为低。所以,对于以籽实为主要收获物的稻、麦、玉米、大豆、油菜等作物来说,产量最高时的密度范围,出现在提高密度增加干物质积累的有利作用恰好与经济系数下降的不利作用相等的时候,而这个密度总是比生物产量最高时的密度要低。

当密度超过一定范围后,造成经济系数下降的根本原因是,群体过大引起的冠层郁蔽、通风透光差,叶片光合效率下降,从而影响干物质的生产和积累。任何作物达到高产,在具体的栽培条件下都有一个最适的叶面积值。在此值以下,增加密度,可增加单位面积上的绿色面积,提高光能利用率,从而增加干物质生产和积累。当密度超过一定范围,叶面积继续增大时,田间遮光严重,有效叶面积和光合产物不再增加,而呼吸消耗则随叶面积的增加而增大,因而干物质积累反而减少。作物各生育阶段的最适叶面积指数(leaf area index),是协调产量构成因素间的矛盾,增加干物质积累,提高经济系数的重要条件,也是作物高产栽培需要研究和解决的主要问题。

### 三、作物增产潜力与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,将吸收的二氧化碳和水通过光合作用合成的。通过各种措施和途径,最大限度地利用太阳光能,不断提高光合作用效率,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。

据研究,在自然条件下作物可以达到的太阳光能最高利用率,为可见光的12%左右,但目前我国耕地全年太阳光能平均利用率仅为0.5%~0.6%,即使是全年产量达15000 kg/hm<sup>2</sup>的田块,其太阳光能利用率也仅达4%左右。据报道,在气温>5℃的时期内,如农田的太阳光能利用率达到2%,则我国粮食作物的平均产量可达7500 kg/hm<sup>2</sup>以上;如在>5℃的时期内农田的太阳光能利用率提高到5.1%,则全国粮食平均产量将达到27765 kg/hm<sup>2</sup>。可见,提高作物的单位面积产量,还有巨大潜力。

以上光合潜力的估算值,必须在以下四个条件都具备时才能实现:一是具有充分利用光能的高光效作物品种;二是空气中的二氧化碳浓度正常;三是环境因素均处于最适宜状态;四是具备最佳的接受和分配阳光的群体。因此,从提高光能利用率上提高单产,必须从改良作物品种和改善环境条件等几方面着手。

第一,培育高光效的作物品种。要求具有高光合能力,低呼吸消耗,光合机能保持较长时间,叶面积适宜,株型、长相等有利于田间群体最大限度地利用光能的特点。

第二,充分利用生长季节,合理安排茬口。采用间作套种、育苗移栽等措施,提高复种指数,在温度允许范围内,使一年中尽可能多的时间有作物生长,特别是在温度高、光照强的时期,使单位面积上有较高的绿色面积,以提高作物群体的光能利用率。

第三,采用合理栽培措施。如合理密植,使田间有最适宜的作物群体;加强田间管理,正确运用肥、水,充分满足作物各生育阶段对外界环境条件的需求。

第四,提高作物光合效率。通过补施二氧化碳、人工补充光照和抑制光呼吸等手段达到这一目标。

## 第四节 作物栽培科学成就与发展前景

### 一、世界作物生产的发展概况

作物栽培科学是密切联系生产实际、把科学技术转化为生产力的应用性学科;作物栽培科学和技术是综合反映一个国家、一个地区农业科技水平和生产水平的标志之一。随着自然科学的研究发展、新技术的发明应用、生产条件的改善优化,作物栽培科学不断被赋予新的内容并把作物生产提高到一个新的水平。衡量作物栽培科学的标志最终显示在产量的增长、品质的改善和效益的提高上。从全世界范围看,当代作物栽培科学有以下特点和成就。

#### (一)作物生产发展迅速

##### 1. 总产大幅度增长

据联合国粮食及农业组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)(2013)报道,2013年谷类作物总产量达27.80亿t,其中稻谷7.41亿t,小麦7.16亿t,玉米10.18亿t;棉花(籽棉)总产量为2454.36万t;油菜籽总产量为7270万t,增长407.30%;大豆总产量为2.76亿t;其他如糖料作物、豆类和薯类也有不同程度的增长。

##### 2. 单产显著提高

近半个世纪以来世界农作物总产的大幅度增长主要归因为单位面积产量的显著提高。据统计,谷类作物种植面积2013年(7.22亿 $\text{hm}^2$ )与1970(6.75亿 $\text{hm}^2$ )相比,仅增加7.0%左右。从单产上看,2013年和1970年比较,谷类作物产量从1841 $\text{kg}/\text{hm}^2$ 提高到3857.3 $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,增加109.5%,其中稻谷产量从2380.8 $\text{kg}/\text{hm}^2$ 增加至4485.9 $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,增加88.4%;小麦从1494.1 $\text{kg}/\text{hm}^2$ 增加至3268.3 $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,增加118.7%;玉米产量从2350.9 $\text{kg}/\text{hm}^2$ 增加至5499.7 $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,增加133.9%;棉花籽棉产量从1069 $\text{kg}/\text{hm}^2$ 提高到2138 $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,增加100%;油菜籽产量从780 $\text{kg}/\text{hm}^2$ 提高到1992 $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,增加155.4%;大豆产量从1386 $\text{kg}/\text{hm}^2$ 提高到2474.6 $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,增加78.5%。

##### 3. 生产条件明显改善

农业技术现代化对作物产量增长起重要作用。自20世纪80年代以来,农业机械作业进一步发展,发达国家农田耕、种、管、收已全部实现机械化、自动化,农业劳动生产力显著提高;发展中国家农机作业比例也有所增加。化肥施用量成倍增长,且氮、磷、钾比例进一步调整,逐渐趋于合理。农田灌溉面积进一步扩大,据FAO统计资料,2012年世界农田灌溉面积约3.23亿 $\text{hm}^2$ ,占农用地面积的6.6%左右;我国是灌溉面积最大也是增加速度最快的国家。同时,新的节水灌溉技术不断得到开发和应用。



## (二) 生产技术不断改进与完善

### 1. 良种良法配合

作物新品种培育更注重高产、优质和抗逆性。近半个世纪以来,作物育种在矮秆抗倒、高产优质、抗逆抗病等方面取得了重大突破。水稻、玉米、棉花和油菜等作物都培育出一批杂种优势强、适应性广的高产组合(品种)。在良种推广应用前,通过对作物生长发育、产量形成、生产潜力、环境适应、抗逆性以及栽培技术效应等生理学、生态学、栽培学方面的研究,明确并提出充分发挥良种高产、优质潜力的栽培技术措施,实现良种良法配套。

### 2. 肥料管理

据 FAO 统计,在 20 世纪 80 年代的作物增产诸因素中,增施化肥和合理施肥的贡献率约为 30%~40%。鉴于化肥在作物生产上的重要作用以及施用过量或不合理会导致生产成本增加、环境污染的问题,提高肥料利用率一直是农业科学研究的主要内容,一是研究作物需肥规律和配方施肥技术,充分发挥肥效;二是改进施肥方法,减少养分挥发和流失;三是增施化肥增效剂;四是研制新型化肥品种,如复合肥料、缓效肥料、包衣肥料等。

### 3. 科学灌溉

20 世纪 80 年代世界农田灌溉面积约 3.23 亿  $\text{hm}^2$ ,不及农用土地面积的 20%,但提供的农产品占农业总产量的一半以上。在当今水资源紧缺的情况下,节水栽培是世界研究灌溉技术的重点。节水栽培是一项综合配套技术,它是以节水灌溉为核心,配合采用抗旱品种、秸秆或薄膜覆盖、少耕免耕、土壤保水剂等措施。各国在改进渠道灌溉的同时,发展管道灌溉。发达国家采用喷灌、滴灌、雾灌等新技术,一般比沟灌或漫灌节约用水 30%~50%,节约农地 7%~10%。

### 4. 设施栽培

设施栽培包括温室栽培、无土栽培、工厂化栽培以及植物工厂等,它是人工控制自然条件,创造作物良好生长环境的一种集约化程度很高的栽培方式,可以人为调节季节,显著增加光热资源利用,大幅度提高农作物产量。设施栽培的发端始于 20 世纪 70 年代掀起的塑料薄膜的广泛应用,从花卉、蔬菜等精细作物发展到粮食作物。薄膜覆盖具有增温保墒作用,增产增收显著,在高寒冷凉地区大田作物一般增产 30%~50%,高的达一倍以上。此后,一些农业发达国家陆续发展温室栽培和工厂化栽培,并已出现一定规模的植物工厂栽培,这些设施栽培不受季节、气候和土壤的限制,光照、水分、养分、二氧化碳等环境因子可自动控制,管理实现机械作业,并与组织培养等生物工程技术紧密结合、配套应用,实现了高产、优质、高效的目标。

### 5. 农作物模型模拟技术

利用计算机模拟作物生长发育和产量形成过程是一项新兴技术。20 世纪 60 年代有关科学家建立了农作物生长动力学模型,模拟作物光合作用、呼吸作用、物质运输等过程,解释

作物生长与环境的数量关系;之后开发了著名的作物生长模拟程序,可以模拟作物生长、农田小气候、光合进程、呼吸消耗、水分平衡等。80年代从理论研究逐步进入应用研究,如美国建立的棉花生长发育和产量形成动态模型(Gossypium Simulation Model, GOSSYM),已在棉花种植带大范围推广应用;建立的作物-环境资源综合体系(Crop-Environmental Resource Synthesis, CERES)小麦、玉米生长和产量模型,用来预测玉米带的产量以及研究气候变化对作物产量的影响。目前,全球已有几十种作物生长发育模拟模型或作物高产专家咨询决策系统。

## 6. 农业机械作业

总体而言,发达国家已实现了农田作业机械化,农业机械日益向大功率、高速、宽幅、联合作业与自动化方向发展。例如,130 马力轮式拖拉机带动 10 铧犁,耕地前进速度每小时 8 km,每天可耕翻土地 16 hm<sup>2</sup>;整地播种机具幅宽 10~20 m,并广泛采用悬挂装置和复式作业。联合收割机采用液压操纵、自动挂接、电子监视技术等。迄今,大多数发展中国家农业机械化尚处于较低水平,劳、畜、机作业兼而有之,因而农业生产力相对低下。

## 二、我国作物栽培科学的成就和发展

### (一)种植制度改革

作物间套复种是合理利用自然资源和提高单位土地生产力的重要途径,也是作物栽培科学的主要研究内容。我国南方稻区 20 世纪 50 年代进行单改双、间改套、粳改籼,60 年代大力推广双季稻,70 年代以后部分地区在双季稻改制的基础上,发展粮食和经济作物的两熟制和复种形式的三熟制,在江淮地区发展小麦—水稻、小麦—棉花或油菜—水稻两熟制,在黄淮海平原逐步从一年一熟发展到两年三熟及以小麦、玉米为主的间套复种一年两熟。种植制度改革显著增加了复种指数,1952 年全国耕地复种指数为 131%,1979 年增加到 151%,1990 年发展到 155.6%。据估算,我国粮食的 1/2、棉花和油料的 1/3 都是依靠间套复种获得的。种植制度改革的主要成就有:①在查明全国不同生态类型区光、热、水资源分布和种植方式的基础上,研究制订了全国农作物种植制度区划,为调整作物布局、改革种植制度和分布分类指导提供了依据。②研究不同种植类型农田生态系统的物质能量循环,明确了物质循环的特点以及氮素、碳素和其他矿质元素的循环过程。③研究多熟种植与培肥地力的关系。查明间套复种对土壤理化性状和养分含量的影响,通过各种土壤培肥措施,如多施有机肥、秸秆还田、建立合理作物轮作和土壤耕作制,实现用地与养地相结合。④研究复合群体的竞争和互助,包括种内和种间竞争和互助。查明作物复合群体在空间、时间和地下部对光照、水分、养分的竞争以及对植物代谢产物的影响,通过优化种植方式、品种搭配、行向、行比以及各种调控措施,提高光能利用率和对养分、水分的吸收利用,加快物质能量的转化进程。⑤针对不同生态区多熟种植方式,如南方水田双季稻、黄淮海平原小麦玉米两熟间套复种、西南丘陵旱地三熟套种和北方一熟种植等,研究多熟高产综合配套栽培技术以及大、中、小结合一型多用的农业机械。我国农作物间套复种种植制度及其研究成果,在世界农业科学领域中居领先水平。

## (二)育秧(苗)移栽技术的发展

作物育秧(苗)移栽在我国有悠久的历史,它可以集中育苗,适时移栽,合理安排作物茬口,调节劳力,提早播种,充分利用农时季节,是获取农作物高产的一项重要技术。育秧(苗)移栽是作物栽培学的重点研究内容之一,取得的主要成果有:①水稻培育壮秧机理及防止烂秧的措施;②农作物工厂化育秧(苗)生态因子的调控;③玉米、棉花等作物营养钵育苗的形态生理指标及移栽技术;④育苗移栽机械化。我国大田作物育苗移栽技术及其研究成果在国际上具有较高的水平。

## (三)施肥技术的改进

作物科学施肥是保证作物不同生育阶段对营养需求、培肥地力、提高产量和改进品质的重要措施。取得的主要研究成果有:①主要农作物的需肥规律,作物对养分吸收的动态和数量。②施肥与环境条件的关系,包括肥料性质、土壤肥力、水分状况以及气候因素等。③施肥时期、次数和方法,确定农作物施肥的基本原则:无机与有机结合;基肥为主,追肥为辅;化肥为主,有机肥为辅;氮肥为主,磷钾肥为辅等。④施肥诊断技术,包括叶色诊断、株形诊断、营养诊断和根系诊断等。⑤配方施肥,即根据作物需肥规律、土壤供肥能力和肥料成分,设计获得预期产量所采用的施肥数量和氮、磷、钾适宜比例。农作物配方施肥的研究成果推广在减少化肥用量、增产增益上发挥了积极的作用。

## (四)节水灌溉技术

作物节水灌溉技术包括灌溉节水技术、节水制度、区域水资源平衡以及上述节水措施的综合配套应用。我国稻田面积近 3000 万  $\text{hm}^2$ ,长期以来发展形成了四种节水灌溉类型:①水层湿润与晒田结合灌溉型;②长期水层与晒田结合灌溉型;③长期水层灌溉型;④干湿灌溉型。在有灌溉条件的旱田作物,采用畦灌和沟灌方式,能够不同程度地节约用水;经济作物采用喷灌、滴灌和雾灌技术,可增产 5%~20%,节约用水 50%以上。节水技术研究的主要成果有:①缩小灌溉湿润层深度。根据作物根系集中分布区把灌溉层深度从 80~100 cm 缩小到 50~80 cm。②降低适宜土壤水分指标。通过主要作物产量形成与土壤水分含量关系的研究,将适宜下限降低 20%~30%。③利用深层土壤苦水,用以补偿浅水层水分不足。④根据作物需水规律和降水特点进行补充灌溉。还有,综合考虑上述指标,制订农作物高产节水的规范化灌溉实施方案。

## (五)旱地农作技术

我国无灌溉条件的旱作面积约占耕地的一半,年降雨量仅 250~500 mm。蓄住天上水,保住土中墒,最大限度地蓄水保墒和提高水分利用率,是旱作农业增产的关键。围绕旱作栽培的蓄水和用水过程,将工程措施与生物措施相结合,研究形成了以纳雨蓄水为主的耕作技术,达到以土蓄水、增肥保水、水肥保苗、壮苗根深、以根调水、开发利用深层水、提高自然降雨利用率以实现旱作稳产高产的目的。主要旱作农业措施有修筑梯田、深层耙压、节水播种、合理轮作、应用化学抗旱剂等。科研人员根据农民的长期实践,研究总结出丰富的旱作经验,如沙田、掩田、露水聚肥改土耕作法,以及耕耙盖耱、整地保墒技术和旱作综合栽培技术。