



现代农业高新技术成果丛书

作物生产力形成基础及调控

Crop Ecophysiology – Productivity and Management in Cropping System

欧阳竹 武兰芳 主编



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

现代农业高新技术成果丛书

作物生产力形成基础及调控

Crop Ecophysiology-Productivity and
Management in Cropping System

欧阳竹 武兰芳 主编



中国农业大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书以小麦、玉米等作物为主,比较系统地阐述了资源环境与作物生产的关系,作物个体生长发育特点与群体形成构建的关系,作物产量形成及其生理生态基础,农田光、温、水分、养分状况及其调控利用,作物生长模型与模拟的发展及其在研究实践中的应用等。

图书在版编目(CIP)数据

作物生产力形成基础及调控/欧阳竹,武兰芳主编. —北京:中国农业大学出版社,2012.7
ISBN 978-7-5655-0551-5

I. ①作… II. ①欧… ②武… III. ①农田-生态系统-研究 IV. ①S181

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 118725 号

书 名 作物生产力形成基础及调控

作 者 欧阳竹 武兰芳 主编

责任编辑 梁爱荣 潘晓丽 洪重光

封面设计 郑川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

电 话 发行部 010-62818525,8625

编辑部 010-62732617,2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月第 1 次印刷

规 格 787×1092 16 开本 18 印张 440 千字

定 价 88.00 元

责任校对 王晓凤 陈莹

邮政编码 100193

读者服务部 010-62732336

出 版 部 010-62733440

e-mail cbsszs @ cau.edu.cn

图书如有质量问题本社发行部负责调换

现代农业高新技术成果丛书

编审指导委员会

主 任 石元春

副主任 傅泽田 刘 艳

委 员 (按姓氏拼音排序)

高旺盛 李 宁 刘庆昌 束怀瑞

佟建明 汪懋华 吴常信 武维华

编者名单

主 编 欧阳竹 武兰芳

编 者 (按汉语拼音为序)

陈 博 陈 超 陈根云 程维新

房全孝 葛晓颖 何春娥 刘丽平

欧阳竹 王吉顺 邬定荣 武兰芳

谢贤群 邢洪涛 于 强 张兴权

赵风华 周勋波

出版说明

瞄准世界农业科技前沿,围绕我国农业发展需求,努力突破关键核心技术,提升我国农业科研实力,加快现代农业发展,是胡锦涛总书记在 2009 年五四青年节视察中国农业大学时向广大农业科技工作者提出的要求。党和国家一贯高度重视农业领域科技创新和基础理论研究,特别是 863 计划和 973 计划实施以来,农业科技投入大幅增长。国家科技支撑计划、863 计划和 973 计划等主体科技计划向农业领域倾斜,极大地促进了农业科技创新发展和现代农业科技进步。

中国农业大学出版社以 973 计划、863 计划和科技支撑计划中农业领域重大研究项目成果为主体,以服务我国农业产业提升的重大需求为目标,在“国家重大出版工程”项目基础上,筛选确定了农业生物技术、良种培育、丰产栽培、疫病防治、防灾减灾、农业资源利用和农业信息化等领域 50 个重大科技创新成果,作为“现代农业高新技术成果丛书”项目申报了 2009 年度国家出版基金项目,经国家出版基金管理委员会审批立项。

国家出版基金是我国继自然科学基金、哲学社会科学基金之后设立的第三大基金项目。国家出版基金由国家设立、国家主导,资助体现国家意志、传承中华文明、促进文化繁荣、提高文化软实力的国家级重大项目;受助项目应能够发挥示范引导作用,为国家、为当代、为子孙后代创造先进文化;受助项目应能够成为站在时代前沿、弘扬民族文化、体现国家水准、传之久远的国家级精品力作。

为确保“现代农业高新技术成果丛书”编写出版质量,在教育部、农业部和中国农业大学的指导和支持下,成立了以石元春院士为主任的编审指导委员会;出版社成立了以社长为组长的项目协调组并专门设立了项目运行管理办公室。

“现代农业高新技术成果丛书”始于“十一五”,跨入“十二五”,是中国农业大学出版社“十二五”开局的献礼之作,她的立项和出版标志着我社学术出版进入了一个新的高度,各项工作迈上了新的台阶。出版社将以此为新的起点,为我国现代农业的发展,为出版文化事业的繁荣作出新的更大贡献。

中国农业大学出版社

2010 年 12 月

前言

农田生态系统的基本功能是生产力。农田生态系统的生产力与自然生态系统的生产力有所不同,单株的生产力和群体生产力有很大的差异,群体结构和生产力的关系更为复杂,特别是具有分蘖特性的水稻、小麦等作物,由于分蘖特性,植株具有自身的调节功能,大大增加了调控的难度。农田生产力是在人类的活动管理下,采用统一的品种,设计优化的种植结构,在群体水平下达到最大的生产能力。如何发挥作物群体的最大生产力,人类为此开展了大量的研究和实践的探索,在不同时期提出了各种作物的种植结构和群体调控技术,如小麦的精量播种、宽窄行种植、宽播幅种植、撒播种植等。在群体调控技术方面,重点在通过水肥对群体动态的调控,平衡穗数、粒数和粒重产量三要素,以实现单位面积的最大产量。然而,作物的群体调控与立地的气候、土壤、管理水平和作物的品种特性密切相关,因此,随着条件的变化和品种的变化,群体结构也应随之变化,我们现在还难以根据不同的作物品种、环境条件对作物高产群体的结构进行优化设计,生产者主要还是依靠传统的经验和实践中的体会进行种植。群体结构设计和调控首先需要我们有表征群体结构优劣的指标,群体结构优化的目标是协调作物群体和群体内部的光、 CO_2 分布以及群体的总体光合能力的提高,目前最为常用的是叶面积指数、群体茎数、消光系数等,这些指标可以较好地反映作物群体的主要状况,更多的是反映群体的物理特征,在模型中应用较多。揭示群体生产力形成,指导生产管理更需要的是耦合作物群体物理特征和生理特征的指标。认识作物群体的生理生态过程,构建作物高产群体结构,需要研究群体结构动态变化和群体光合作用、干物质生产的关系和机理。

华北平原是我国最具优势的冬小麦、夏玉米轮作优势产区,其光、热、水分条件非常适合冬小麦和夏玉米的生长。由于我国耕地资源有限、水资源不足、矿物营养资源匮乏,在此背景下,研究如何在资源高效利用的目标下获得高产,使高产种植进入了一个精细化设计和调控的阶段。在该地区以冬小麦和夏玉米为对象,研究农田生态系统作物生产力的形成基础和调控管理,目的是揭示冬小麦、夏玉米群体生产力形成机制,指导高产创建的设计和调控。我们在国家 973 项目、中国科学院农业项目和国家出版基金项目的资助下,利用中国科学院禹城综合试验站等野外试验研究平台,针对不同作物群体的群体结构、光分布特征、不同叶

位的叶片光合作用、干物质积累以及穗数、粒数和粒重三要素构成特征和农田生态系统的光、温、水、肥特征进行了大量的试验观测,在获得大量观测资料的基础上,开展了作物群体光合作用和产量形成的机制、群体生产力和农田生态要素的关系和群体光合作用和产量的数学模拟和群体优化调控的研究,由于作物群体生理生态的过程机理极其复杂,要全面揭示其过程机理还需要不断探索,目前要形成一套科学的、标准的,适合不同环境条件的高产群体调控技术还有困难。本书中的研究结果和大量的数据资料对进一步认识作物群体生产力形成过程,揭示生产力形成和环境要素的相互作用关系,提出作物高产群体结构的设计和调控技术具有一定的参考作用,部分结论还需要进一步研究验证,希望本书的出版对我国合理利用有限资源,提高农田作物生产力的研究与实践发挥一定的作用。

《作物生产力形成基础及调控》一书主要是基于“十一五”国家重点基础发展研究计划课题“资源高效型作物高产系统构建的理论基础与调控”及其他有关项目中的部分研究成果,结合相关文献资料,经过进一步梳理而成。参加项目的研究人员来自于中国科学院地理科学与资源研究所、上海植物生理生态研究所、亚热带农业生态研究所、遗传与发育研究所、山东农业大学等,引用的成果在各章节中尽可能进行了标注,在此对相关作者及人员一并表示感谢!

全书由欧阳竹、武兰芳统稿。具体编写分工如下:第1章由武兰芳、欧阳竹编写;第2章由赵风华、王吉顺、刘丽平编写;第3章由赵风华、王吉顺、刘丽平编写;第4章由武兰芳、陈根云、周勋波编写;第5章由赵风华、刘丽平、王吉顺编写;第6章由谢贤群编写;第7章由程维新、陈博、张兴权编写;第8章由何春娥、葛晓颖编写;第9章由于强、邬定荣、房全孝、陈超、邢洪涛编写。

由于编者水平所限,书中难免存在错误和不足之处,请读者批评指正。

编 者

2012年4月

目 录

第 1 章 资源环境与作物生产	1
1.1 作物的生态特性与生态适应性	2
1.2 环境条件与作物生产	8
参考文献	24
第 2 章 作物生长发育	25
2.1 作物生长发育基本概念	25
2.2 小麦的生长发育进程	28
2.3 玉米的生长发育进程	30
2.4 作物生长发育过程中的基本数量特征	33
2.5 作物生长发育的生态条件	39
参考文献	42
第 3 章 作物群体与光合生产力	44
3.1 作物群体和群体结构	44
3.2 作物群体动态	46
3.3 作物群体微环境	50
3.4 作物群体光合	52
参考文献	57
第 4 章 作物产量形成及其生理生态基础	58
4.1 作物的产量潜力及其形成基础	59
4.2 养分亏缺对作物光合作用的影响	65
4.3 不同种植结构对小麦生长动态的影响	72
4.4 不同种植结构下作物叶片光合特征	77
4.5 不同群体构成与产量表现	84
参考文献	90

第 5 章 作物群体生产力调控	91
5.1 作物群体生产力调控的理论基础	91
5.2 作物群体质量指标	93
5.3 作物群体质量优化调控途径	97
5.4 小麦群体质量及其调控	99
5.5 玉米群体质量及其调控	104
参考文献	107
第 6 章 光热资源及其利用	109
6.1 农田辐射特征及其生态效应	109
6.2 农田光能利用率	123
6.3 光热资源的时空变化	128
参考文献	135
第 7 章 农田水分及其利用	137
7.1 农田水量平衡与水分转化	137
7.2 作物耗水量及其变化趋势	148
7.3 农田水分利用效率	158
7.4 农田水分与作物产量形成	164
参考文献	171
第 8 章 农田养分及作物生产	179
8.1 土壤养分组成及其有效性	179
8.2 主要作物产量形成对养分的需求及其养分管理	182
8.3 养分循环和土壤养分演变	198
8.4 养分平衡与产量形成	206
参考文献	212
第 9 章 作物生长模型与模拟	217
9.1 农田生态系统模型概述	217
9.2 应用 APSIM 模型模拟冬小麦-夏玉米轮作制的作物生长与水分利用	220
9.3 农田生态系统氮素利用效率与硝态氮淋失的模拟	238
参考文献	268

资源环境与作物生产

“资源环境”指的是生物有机体生活空间内外界条件的总和,是由多种要素构成的复合体。那些直接或间接影响生物有机体的环境要素就称为生态因子。环境通常被分为自然环境和人工环境,自然环境是指没有人为作用参与的环境;人工环境则是指由于人的影响而使其发生了变化的环境。自然环境因子可分为气候因子(光、温、降水、空气等)、土壤因子(质地、结构、有机质、酸碱度和土壤生物等)、地形因子(坡度、起伏等)、生物因子(动植物和微生物等)以及水文因子(河流、湖泊等)。

作物是指野生植物经过人类不断的选择、驯化、利用、演化而来的具有经济价值的栽培植物。地球上有记载的39万种植物中,被人类利用的有2500种以上。目前,世界栽培种植的植物约1500种,其中粮、棉、油、糖、麻、烟、茶、菜、果等这些人工栽培的植物统称为作物。从狭义上讲,作物主要指农田大面积栽培的作物,一般称大田作物。

作物的生产能力首先应取决于作物本身的遗传潜势,这种潜在的生产能力在外界环境与作物要求完全吻合时才能得到充分体现;作物在某一地的生长状况首先取决于这种作物(品种)对环境的反应,其生长和生产处于土壤—作物—大气系统中,生长的好坏强烈地受到外界环境的影响,决定作物反应的是各种因素的共同作用(图1.1)。对于自然植物(野生)来说,在地球上不同地域内自然环境中潜在生长势发挥程度的不同,就会表现为这种植物不同数量或质量上的分布。而对作物来说,情况则有所不同,这表现在:第一,人的作用或多或少总会改变或改善一些作物生长环境,结果会使一种作物比同一品种的野生种在同一地域内的生产能力要高;第二,对作物的栽培是以高产、优质满足人们需要为目的的,在一种作物种的生产力降低到一定值以后,由于“经济效益”不高,人们就不会再去种植,这种作物可能会从当地的农田中消失,不再有分布,而同一种的野生种则可能存在。因此,要想定量地描述作物的生产和分布与环境条件的关系必须做到以下几点(韩湘玲与曲曼丽,1991)。

(1)定量地描述(以数字或图形)作物的潜在生产力以及能使这种潜力充分发挥出来的环境特征。

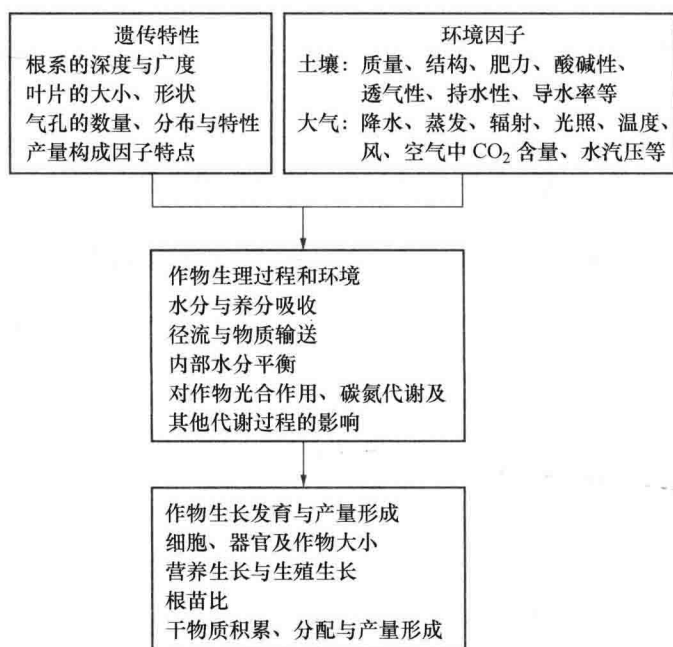


图 1.1 作物生长发育及其产量、质量的形成与遗传特性和环境因子的关系

(2) 定量地描述某一地域内各环境因子值。

(3) 定量地描述地域内环境因子值与潜在生产力发挥所要求的环境因子值的吻合或偏离程度,以及这种偏离对潜在生产力发挥的影响。

这往往是复杂而困难的,但是,这种思路却启迪我们去考查作物生产力的决定因子,从而把作物与环境联系起来。

考查作物生产力形成的三要素光合速率、光合面积和光合时间就会发现,叶面积相同的不同作物,甚至生长期也近似的不同作物仍会有不同的生产量,这就是净光合速率上的差别,这决定于碳同化的途径和这种同化途径受环境因子的影响形式。

1.1 作物的生态特性与生态适应性

1.1.1 作物的生态特性

1.1.1.1 栽培作物的起源

作物的起源和形成是自然选择与人工选择共同作用的结果。古人类活动的重点除渔猎外,主要是采集野生植物。最初栽培作物,仅仅是在自然启迪下的偶然尝试。人们常常将所采集的植物带到住地食用,其中一部分被遗弃或埋藏起来,那些具有繁殖能力的果实、种子、块根、块茎等,在住地附近开始繁殖起来。人们对这类植物开始注意,并逐渐从野生植物群落中将其分离加以保护,这是由采集野生植物转变成栽培作物的萌芽。

薯类和禾谷类可能是最早被驯化的植物。因为薯类在采挖后,遗留在土壤里的残根又长成新薯,于是给人以人工种薯的启示。禾谷类种子适应性强,生长期短,结实多,成熟期较一致,易储藏,所以易被驯化、种植。

人类在从事种植野生植物的过程中,不断改善栽培技术,逐渐积累了经验,在此基础上通过长期的自然选择和人工选择,适合于人类需要的那些变异类型被保留下来,使野生植物逐步转变成为栽培作物。作物的形成标志着原始社会生产力的飞跃发展和原始农业的诞生。

1.1.1.2 作物的起源中心

尽管由于人工选育,形成了很多作物变种和品种,如小麦有冬小麦、春小麦,冬小麦又有冬性、弱冬性和春性等,但是,每种作物仍表现出其起源地区的特定习性。如源于印度热带的甘蔗、香蕉等作物具有要求高温、高湿的特性,因而适应于高温、高湿的地区和季节。源于南美、智利高山较凉气候的马铃薯,具有喜温凉的特性,适应于温凉地区和季节,忌高温。

关于作物的起源地,早就为植物学、作物育种学家及栽培学家所重视。解决栽培植物的起源问题,目的是寻找植物资源和建立“种质资源库”,以培育出更多有价值的农作物。

对作物起源问题研究较早的是瑞士植物学家德·康多尔(de Candolle),他曾对477种栽培植物的起源进行了研究,于1883年出版了《栽培植物的起源》一书。其后是前苏联植物学家瓦维洛夫(Вавилов Н. И.)等,他们对世界6大洲60多个国家采集到的30多万份作物品种材料进行了详细的比较研究,在1926—1935年提出世界作物8大起源中心。1968年前苏联的茹可夫斯基(Жуковский П. М.)提出大基因中心观念,他把瓦维洛夫提出的8大起源中心扩大到12个。1975年瑞典的泽文(A. C. Zeven)和茹可夫斯基共同编写了《栽培植物及其变异中心检索》,重新修订了茹可夫斯基提出的12个起源中心(于振文,2003)。

(1)中国—日本起源中心(瓦维洛夫称东亚起源中心)。中国起源中心是主要的、初生的,由它发展了次生的日本起源中心。包括中国中部、西部山区及其毗邻低地,是世界上最大的农业发源地和栽培植物起源中心,主要有大豆、谷子、萝卜、桃、梨、茶等。

(2)印度支那一印度尼西亚起源中心(瓦维洛夫称东南亚热带起源中心)。是爪哇稻(*Oryza sativa* L. ssp. *javavica*)和芋[*Colacaia esculenta* (L.) Schott]的初生基因中心。同时,还具有丰富的热带野生植物区系。

(3)澳大利亚中心。除美洲外,这是烟草的基因中心之一,并有稻属(*Oryza*)的野生种。

(4)印度斯坦中心(瓦维洛夫称南亚热带起源中心)。农作物有稻、甘蔗、绿豆、豇豆等,还有许多热带果树。

(5)中亚细亚中心(瓦维洛夫称西南亚起源中心)。该中心农作物有小麦、豌豆等。

(6)近东起源中心(瓦维洛夫称近东起源中心)。农作物有麦类、豆类、饲草、坚果、亚麻等。

(7)地中海中心(瓦维洛夫称地中海中心)。从许多作物品种和组成来看,这里是次生起源地,很多作物在此区被驯化,如燕麦、甜菜、亚麻、三叶草、羽扇豆等。

(8)非洲中心(包括瓦维洛夫的埃塞俄比亚起源中心)。农作物有高粱、棉、稻等属的种。此中心对世界作物影响很大,许多作物起源于非洲。

(9)欧洲—西伯利亚中心。农作物有两年生的块根糖用和饲用甜菜、苜蓿、三叶草等。

(10)南美洲中心。农作物有马铃薯、花生、木薯、烟草、棉、苋菜等。

(11)中美洲—墨西哥中心。农作物有甘薯、玉米、陆地棉等。

(12)北美洲中心。该中心驯化的主要作物有向日葵、羽扇豆等。

1.1.1.3 遗传、变异与驯化

遗传(heredity)系指生物的亲代与子代间相似的传递过程。但是,遗传性不是绝对不变的。由于外界因素的作用,遗传过程中会产生变异(variation),即亲代和子代之间,子代个体之间的差异,这是由基因分子结构的改变所引起的。自然界生物间存在着种内和种间的生存竞争,在竞争过程中,有利的变异将保存并积累下来,不利的变异将被消除。基于这种自然选择,促使其向适应的方向发展,随着时间的进展,使后代比祖先更适应于环境,这种变化称为“进化”。遗传和变异是一对矛盾,是促进进化的根本原因。自然选择长期继续下去,持续到一定程度时,将导致新种的形成。驯化(acclimation)则是指人工选择与培育的作用。植物、动物从野生到栽培、饲养,发生了变化,这是人工选择与培育的结果。驯化可引起某些遗传特性的改变,使作物较好地适应人类的需要和环境条件。

环境、自然选择和人工培育是由影响有机体生命活动的每一外界事物构成,包括非生物和生物两部分。非生物部分即无机部分,如气候、地理、土壤等;生物部分含微生物、病虫害、杂草等。环境对作物的适应与分布的作用有:①引起变异,如长时期强烈的气候变化(冷热、干湿等),可引起部分遗传性的变异;②自然选择,环境对变异进行选择,直接影响了不同基因型的生存;③环境改变,可导致生存或繁殖条件的变化,并易促进适应性的形成;④影响新物种的传播、扩大或缩小。由于人的干预和所采取的措施,改变了作物的环境,这将大大影响作物的生态适应性,从而扩大作物分布的范围。如水稻源于东南亚热带季风湿热地区,人工培育多个品种(如籼、粳、杂交稻等)、多种类型(如早、中、晚熟稻),再采取不同播种期,则可利用季风气候水热同季的特点,使之种植到温带 50°N 以北的地区。

可见,遗传与环境的统一,即内因与外因的统一,决定了作物的起源分布,在很大程度上决定了自然植被和人工栽培作物的分布。

1.1.1.4 作物形态、生理、品质与环境

由于人类的需要,作物从起源中心广泛迁移到各处,比起植物的自然迁移要广。在非起源地能生存繁殖,则是变异与驯化的结果。某种作物在某个地区的生长发育对环境的反应和产量品质形成,可以说,是该作物对各种环境条件的生理反应和形态反应的综合表现。这种反应,既包含着作物与环境相互作用的因素,同时,在其外表的体现,也蕴藏着复杂的生理过程,或外部形态变化的特征。这种变化所起的作用,有利于作物生命活动,这就是所谓“生态适应”。这种适应能力的大小,乃属遗传学的领域,但是,表现这种能力的过程,则又属生理学的领域。所以,同一地区同一种类的作物,若要继续生存下去,必然会受到环境条件的选择,并且导致遗传的适应与气候性亚种(climatic race)的出现。由于生理及形成两种适应性的影响,各种生境条件下便生长着各种作物,它们都具有各自固有的生理特征与形态特征。

同一作物(品种)处于不同环境下,为发挥环境的优势或忍受不利的环境条件,其生育阶段、形态特征及生理机制,往往有某些改变。环境影响作物的生理形态特征,常常表现为以

下几种情况:

(1)环境与作物生育期。小麦在我国华北北部地区,生育期为 270 d 左右,穗分化期间温度高,适于穗分化的时期较短,灌浆到成熟阶段处于该地区气温升高期,籽粒灌浆也缩短到 30 d,易促使早熟,因而一般表现为穗小粒少;而在我国西藏高原,小麦全年处在适宜生长发育的光、温条件中,特别是在灌浆阶段有利于光合作用的温度持续时间长,生育期可达 360 d,形成穗大粒多、千粒重高的产量结构。

(2)环境与作物形态生理特征。在不同环境条件下,往往形成不同的形态特征,如在水分条件下,则形成有旱生型(xerophyte)和水生型(hydrophyte)特征。旱生型是在干旱条件下形成,表现为根系发达,针叶、短生或叶小,叶片有厚的角质层或绒毛,叶肉细胞及其间隙小,细胞小,细胞液渗透浓度高,蒸腾效率高,遇旱时气孔关闭。水生型是在水分充足条件下形成,表现为根系多,维管组织不发达,茎内组织多空腔,通气组织发达,营养生长好,细胞液渗透浓度等于或稍高于水介质;如遇旱时,根、茎、叶之比增大,叶小、茎短细,小穗数减少,籽粒不饱满;而水分适宜时,则根与茎叶比小,叶宽、长,植株高大,小穗多,千粒重高。同一品种、同一生育期的玉米,在同样的光、温条件下,由于水分供应的差异,光合速率会有明显差异。

(3)环境与产品品质。棉花品质的主要指标是纤维强度和长度。棉花纤维加厚的适宜温度为 30℃左右,20℃以下加厚变缓,纤维伸长的适宜温度为 20~30℃,并要求适宜的水分。同一品种,在纤维伸长时期,水分充足的地区或年份,则纤维较长,如我国黄淮海地区,7—8 月份降水量 400 mm 左右,有利于纤维伸长,可达 29 mm,基这一阶段降水量若小于 250 mm,则纤维长度只有 27 mm。纤维加厚时期,若有丰富的热量供应,日平均气温>25℃的天数越多,则单强越高。如新疆吐鲁番地区在纤维加强时期,日平均气温>25℃的天数达 120 d,可获 5 g 单强;黄淮海南部地区和长江流域,日平均气温>25℃天数只有 60~70 d,单强仅有 4 g 左右。

1.1.2 作物的生态适应性

1.1.2.1 作物生态适应性概念与应用

作物生态适应性,系指作物的要求与环境条件下的吻合程度,即是作物生长发育和产量形成过程的节律与环境节律相吻合的程度。吻合度越高,适应性越强,作物生长发育就越好,获得高产、稳产、优质、低耗、高效目标的可能性就越大。

作物的生态适应性具有季节性和地区性,一个物种和一类作物有其特定的生态范围,有的适应性宽,有的适应性窄,适应性宽的分布范围就广,如小麦、玉米。当环境因子限制作物生长发育时,繁殖时期常常是关键时期,因为大部分作物的产量是在该时期形成的,所以,关键时期的适应性是至关重要的。

环境因子的相互作用,可使作物的生态性发生一定变化。不利的环境因子影响其他因子的作用,作物对某一因子不适,既可使另一因子的适应性下降,也可由另一个因子获得补偿。如生产中采用的以肥调水作用,就是在一定范围内水分受到限制时,利用于氮肥或磷肥的补偿作用。环境因子常常综合作用于作物,使其适应性增加。总体看来,作物生态适应性是指作物所具有的遗传、生理、形态等属性和环境协调统一起来的专有特性,它只能在一定

的、有边界范围的气候——土壤等环境因子的组合中,在其动态的、综合的影响下,使该作物生长繁殖,并具有一定的生产力。

作物的生态适应性与作物的生物学特性不同。生物学特性是作物的遗传本性,反映作物对外界环境条件的要求与反应,如棉花要求充足的光照和热量,小麦要求适当的低温通过春化阶段等。生态适应性是反映作物的生物学特性与环境相吻合的程度,是作物与环境的协调统一。尽管有些作物在世界范围内分布十分广泛,但仍有适应程度的不同;同时,对于一个地区或生产单位,可能种植的作物很多。如在暖温带的黄淮海地区,除典型的热带、亚热带作物外,相当多种类的作物都能生长,但不同作物在该地区的生态适应性是不同的。在水肥条件保证下,小麦亩产可达 500 kg 以上,但不及河西走廊、青藏高原的小麦生态适应性强;棉花不及南疆、东疆和江淮平原;大豆不及东北的松辽平原等。但是,该地区小麦、玉米的组合还是较好的。也就是说,一种作物总有其最适宜或较适宜的分布地区,一个地区也总有其最优或较优的作物种类及组合。

由于人类需要和社会经济条件的差别,往往是在最适宜的地区不能发展某种作物,而在不适宜的地区却需要种植它。如新疆吐鲁番、南疆的棉花品质好,但受交通条件的限制却不能过多发展;辽南的热量不足,只能种植早熟棉花,品质欠佳,由于群众经济上需要而要适当种植。因此,作物生态适应性既有其客观性,也应考虑其相对性。作物生态适应性的相对性,最主要表现为人类的需要与选择,即同一种作物的生态适应性的相对性表现为:

(1)同一作物因不同变种、品种而异。如小麦能从温带种植到亚热带,在冬季严寒的地区适宜种植春小麦,在冬季温度偏高的地区适宜种植春性强的冬小麦,但最适宜的地区是在有水分供应的暖温带,或在冬温暖多雨夏干热的地中海气候带。

(2)不同生育阶段的生态适应性不同。苗期一般要求热量、水分相对较少,适应性较宽,而繁殖时期则适应性较窄。

(3)新的品种育成往往可扩大适应范围,但驯化是有一定范围的。在一定范围内某些变化增强抗逆性,从而扩大适应范围。如短生育期或耐寒品种的育成,可扩大适应范围。以东北大豆为例,原生育期 90~100 d 或以上的品种只能在哈尔滨以南种植,育成 70~80 d 的品种可北种到黑河。小麦耐寒品种的成功育成,加拿大的小麦向北推进了 500 km。

另外,改善生产条件,提高科学技术水平,也可以使作物适应性发生改变。通过农业气候、作物生态的研究,可以提高自然资源的利用率和生产力。

作物的分布是由作物的生态适应性和人类活动两方面的因素决定,生态适应性是决定作物分布的基础,而社会经济条件又起着重要调节作用。

1.1.2.2 作物生态适应性是决定作物产量品质形成的基础

世界上大范围内主要农作物的分布是由作物生态适应性决定的,具有地带性的规律,如北半球,喜凉的春小麦、黑麦、甜菜等分布在北部寒温带和中温带;喜温的玉米、大豆、冬小麦分布在中温带、暖温带;而喜湿热的水稻、棉花、花生、甘薯、油菜分布在亚热带。处于温带的美国,其北部种植春小麦,中部种植玉米、大豆、冬小麦,南部是棉花。

一种作物的生态适应性在很大程度上决定了作物产量与品质的形成。对某种作物生态适应性强的地区或季节,若环境因子的动态进程与作物生育节律相吻合,可以形成高产、稳

产、优质。青藏高原水浇地上生长的小麦,温度适宜,生育期长,尤其灌浆期间光照充足,适于穗大、粒多、千粒重高的产量结构的形成,结合水、肥的供应,产量可达 $12\,000\text{ kg/hm}^2$ 以上,但在黄淮海平原和江南,即使有好的水肥条件,要达到如此高产却具有较大的困难。

作物(品种)—气候—土壤生产力的形成,是气候—土壤和作物某一特定品种类型共同作用的结果。在不同的气候、土壤条件下,作物生产力是不同的。如中国东部地区冬小麦生产力高产区在黄淮海平原、江淮平原,取决于温度、降水配合的良好程度。地学条件的差异,往往决定于气候的水热状况,同时地学条件,特别是土壤条件受气候条件影响。因此,气候条件对作物生态适应性起决定性作用。德国学者 Maiv 提出气候相似学说,即作物的引种、扩种需遵循气候的相似,也就是气候相似的地区,作物分布应该相同;原苏联学者提出农业气候相似原理,即作物从一个地区扩种到另一个地区,决定于满足其发育和产量形成的生存条件的相似与否,即作物的扩种(分布),严格遵循农业相似,也就是说,气候条件中对作物生育和产量形成起决定作用的关键因子及其组合必须相似。由此说明为什么玉米可在温带(中国的东北)、暖温带(中国的华北、美国的玉米带)、亚热带(中国的西南)以及热带种植的原因。农业气候相似,实质上是作物的气候生态型相同。

小麦、玉米、棉花、大豆等作物,可在各种土壤生长,说明决定其大面积分布和产量形成的是温度、水分、地势、地形等因子,但地学因素也不可忽视,尤其是决定气候因素再分配的地势、地形。在同一气候地区,土壤的土层厚薄、理化性状、肥沃程度,对作物的产量形成也具有重要作用,这些因子共同决定作物的生育状况和产量。一些障碍性土壤,如盐碱土、酸性土、沙土、沼泽土等,往往是影响局地作物分布的主要因素。一般情况下,气候决定大范围(世界、大区、国家、省域)内的作物分布,而在小范围内(县、乡),则地学因素(地势、地形、土壤)常常起主导作用。作物生态适应性的核心是生育节律与环境因子节律的一致性,如黄淮海地区的玉米、棉花的生长发育和当地的气候节律基本一致。

Liebig T. (1840)提出最小限制因子定律,首先是从“生命决定于数量最少的那种营养元素”的化学角度谈及的。如在低产农田中,缺氮是限制因子,它不但限制了作物生长,同时也限制了其他因子发挥作用,从而影响产量形成;在高产农田中,氮就不是限制因子,而磷或光成为产量形成的限制因子。Taylor(1934)和 Boughcy(1973)等认为,最小因素不仅限于营养元素,而且包括环境因子,并强调作物生育过程中的关键阶段,即作物对某些因子的适应范围的时期是最重要的。

20 世纪初,Hooker 认为,植物的生命现象不只是决定于一个因素,而是决定于综合因素。单一过程,服从于最小因子定律,但总体却服从于综合因素。任何环境因素,不是孤立地对作物起作用,而是与其他因素共同对作物起作用。如果一个地区的土壤中含有丰富的营养物质,但如果没有必需的气候因子,土壤营养也表现不出其有效作用;反之,虽有优越的光、温条件,如果土壤瘠薄,也不能发挥气候的优越性。作物产量与品质的形成是光、温、水、土、气综合作用的结果。因子组合的不同,适合不同的作物,如高温(特定生育时期)、强光、较大日较差的新疆荒漠地区,如果水分供应充足,适于哈密瓜生长;而高温(全生育期)、高湿、强光的华南某些地区,则适于甘蔗生长。棉花在暖温带的黄淮海地区,生长期较长,能耐盐碱,而在生长期较短的辽东半岛海边,或较冷凉的北疆盐渍化土壤上却不能种植,这是因为在盐碱地的前期生长慢,生长期短,霜后花多则产量低。