



黄土高原土壤侵蚀与旱地农业研究进展

黄土高原旱地农业生产 力稳定提升的生物-环境调控

张岁岐 殷俐娜 等 著



科学出版社

黄土高原土壤侵蚀与旱地农业研究进展

黄土高原旱地农业生产力稳定提升的 生物-环境调控

张岁岐 殷俐娜 等 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

水分不足是黄土高原地区农业生产和社会经济可持续发展的主要限制因素,在当前地膜覆盖技术广泛应用、部分地区降水就地利用已接近极值的情况下,科学认识植物本身对黄土高原多变低水环境的适应机制,通过生长环境控制和生物改良结合的技术途径实现大范围旱作高产稳产成为一个新的突破方向。本书是黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室旱农团队自2010年以来围绕这一问题所做工作的系统总结,全书分为旱地作物生产力稳定提升的分子生理机制、旱作农田生产力稳定提升的生物环境调控和旱地农业生产与全球变化三大部分,涵盖了从分子水平的研究到大田产量试验,再到小流域尺度等不同层次的研究成果,对指导干旱半干旱地区旱作农业生产具有重要科学价值。

本书丰富和发展了植物抗旱生理生态学、旱地农业生物学,可供农业、生态、作物生理学、土壤学、园艺等专业的科研与教学人员参考,也可作为相关专业的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

黄土高原旱地农业生产力稳定提升的生物-环境调控 / 张岁岐等著.
—北京:科学出版社,2014.12

(黄土高原土壤侵蚀与旱地农业研究进展)

ISBN 978-7-03-042829-5

I. ①黄… II. ①张… III. ①黄土高原-旱地-土壤改良-研究
IV. ①S156.92

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第301345号

责任编辑:祝洁 杨向萍 白丹 / 责任校对:李影

责任印制:肖兴 / 封面设计:迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年3月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015年3月第一次印刷 印张:37 3/4

字数:760 000

定价:245.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

各章节主要作者

第一篇 旱地作物生产力稳定提升的分子生理机制

第1章 抗坏血酸及糖脂在提高植物抗逆中的作用

殷俐娜 王仕稳

第2章 硅提高植物抗旱抗盐的作用机制研究

王仕稳 刘朋 陈道钊

第3章 转抗逆基因甘薯对干旱和复水的生理响应

李红兵 邓西平 陆燕元

第4章 外源 Ca^{2+} 调控玉米根系吸水的生理生态机制

张岁岐 王卫峰 吴 妍

第5章 不同抗旱性玉米和高粱品种水力结构特性比较

李秧秧 赵丽敏

第6章 植物整体水分平衡的调控

王卫峰 张岁岐

第7章 大穗型小麦品系高产生理机制研究

王丽芳 上官周平

第二篇 旱作农田生产力稳定提升的生物环境调控

第8章 旱地作物根系提水作用

沈玉芳 张 扬 李世清

第9章 花后干旱及复水对小麦物质转运的调控

邓西平 陈 炜 王仕稳

第10章 高产高效旱地玉米适宜土壤供氮量

刘建亮 李世清

第11章 旱地小麦高产高效施氮研究

邓西平 王林林 王仕稳

- 第 12 章 旱地小麦高产栽培技术
邓西平 李红兵 郝明德
- 第 13 章 黄土高原旱作春玉米高产高效栽培体系构建
卜令铎 李世清
- 第 14 章 旱区农田作物生产模拟与少量水优化利用技术
邹 龙 王文佳 郝志鹏 冯 浩
- 第三篇 旱地农业生产与全球变化
- 第 15 章 大气 CO₂ 浓度升高对玉米幼苗碳氮资源分配的影响
宗毓铮 上官周平
- 第 16 章 旱作高产农田环境效应研究
岳善超 刘建亮 李世清
- 第 17 章 黄土丘陵区天然草地群落及其优势种对短期补水的响应
牛富荣 段东平 徐炳成
- 第 18 章 植物水分利用效率随环境因子变化的研究
王 楠
- 第 19 章 气候和土地利用变化对小流域生产力影响的定量评价
王凯博 上官周平

序

资源合理有效利用和生态环境保护是保障我国西部可持续发展的基础。不合理的人类活动影响环境健康与生态安全,危及人类自身生存和发展。开展土壤侵蚀与水土保持、旱地农业与资源合理利用研究是实现生态文明与社会经济可持续发展的科学途径。

该丛书以黄土高原土壤侵蚀、旱地农业、土壤过程及生态恢复等研究方向为切入点,从土壤侵蚀动力过程与调控、旱地生产力稳定提升的生物-环境调控、水土资源时空过程及其调控、植被恢复的生态功能等方面,反映了实验室基于大量系统的科学研究获得的重要进展和创新成果。

第一,提出了核素示踪测定土壤风蚀速率的方法,阐明了冻融-风蚀、风蚀-水蚀的互作过程,发现了多侵蚀营力复合侵蚀过程机理的叠加效应;揭示了坡面水蚀过程中泥沙分选搬运过程、水土保持措施对流域坡沟系统和受损下垫面侵蚀过程调控机理,深化了流域暴雨-洪水-泥沙搬运过程的数值模拟,拓展了土壤侵蚀研究的深度和广度。

第二,探索了转基因工程、营养调控对提高植物抗逆能力的可行性,揭示了不同抗旱性作物品种的水力学特征及水分平衡策略;建立了兼顾水土资源保持与作物高产高效栽培的理论及技术体系;定量评价了水分优化管理、旱作农田温室气体排放通量及作物产量潜力。

第三,突出了黄土高原土壤水分状况与土地利用结构调整的关联纽带作用,推进了土壤侵蚀与旱地农业的交叉研究;分析了流域水循环对土地利用结构调整、水土保持工程措施的响应特征,定量评价了土壤退化对旱地农业生产力和生态环境的影响,提出了土壤质量改善与水土资源利用效率提升的综合技术措施。

第四,揭示了黄土高原土壤生物,特别是土壤微生物、生物结皮及土壤种子库对植被恢复过程的响应机制及效应;研究了区域植被类型生态固碳的时空变化特征、机制及影响因素,分析了主要植被类型对环境条件的适应性及植被恢复过程中群落生产力和稳定性,定量评价了典型区域主要植被类型的生态服务功能。

该丛书体现了团队的研究成果,特别是国家重点实验室专项经费研究的新进展。每部专著相对独立,但又相互补充,体系完整,资料系统,涉及地学、资源环境科学、农业科学及生态学等诸多领域,是一套在理论上有深度、实践上有价值的系列著作。该丛书的出版发行对土壤侵蚀与水土保持、旱地水肥资源优化管理和农业生产力提高、水土资源时空过程与利用、植被恢复与生态建设的研究及实践将会

产生积极作用。

该丛书资料丰富,数据可靠,内容翔实,图文并茂。可供地学、生态学、土壤学、植物营养学、农学、水土保持与荒漠化防治等专业的科技人员及高等院校师生参考使用。我相信这套专著的出版,将会有力推动我国土壤侵蚀和旱地农业学科建设与发展。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '傅伯杰' (Fu Bojie), written in a cursive style.

2014 年 12 月 26 日

前 言

干旱是一个世界性的问题,世界干旱半干旱地区遍及 50 多个国家和地区。在我国,干旱半干旱面积占国土面积的 52%,水资源的短缺严重限制了区域农业生产力的提高,但该区域同时具有土地、光热资源丰富的特点,又是增产潜力较大的区域。因此,如何提高干旱半干旱地区农业生产力对我国粮食安全具有重要意义。

国际上治理和开发半干旱地区的成功经验,集中到一点就是:寻求改善生态环境和提高土地生产力的结合点,采取使两者同时受益的关键技术。这种因地制宜的关键技术,在美国中西部可归结为“少耕覆盖”,在澳大利亚南部称为“粮草轮作”,在以色列称为“节水集约耕作”。而在我国黄土高原,以水平梯田为主的基本农田既控制了水土流失,又有利于增产,在一定发展阶段起到了关键作用。上述关键技术的核心都在于防治水土流失,促进有限水资源的高效利用。

黄土高原大部分属于半干旱地区,严重的水土流失和干旱并存是其主要环境特征,低而不稳的旱地农田生产力严重制约了区域生态恢复与社会经济的可持续发展。该区域旱农生产大体经历了坡地耕作—基本农田建设—化肥施用—应用覆盖技术等几个阶段,使得该区域的农业生产力得到了显著提高,如目前甘肃省推广的全膜双垄沟播技术可使降水量 400mm 地区的玉米亩产量达到 400kg 以上。这些成果让我们看到了黄土高原旱地农业发展的希望,但该模式大面积应用是否具有可持续性,目前尚无定论。另外在黄土高原旱农发展的几个阶段中,起主导作用的均是高效用水的环境控制技术,虽然也注意到作物品种、种的作用,但对如何发挥作物自身的抗旱节水潜力重视不够,而当前通过环境控制技术实现降水就地利用在一些地区已接近极值。因此,科学认识植物本身对黄土高原多变低水环境的适应机制,通过生长环境控制和生物改良结合的技术途径实现大范围旱作高产稳产成为了一个新的突破方向。

从分子水平上阐明作物抗旱高产的物质基础及其生理功能,并试图通过生物技术手段创造新类型是目前生物研究的热点问题。现已经证明作物产量和抗旱性是由多基因控制的,通过多途径实现的,作物生产力在单株和器官水平上有特定的整体性调节功能,并具有自组织达到自适应的反应机制。然而,在不同生育阶段和不同水平上(分子、细胞、器官、组织、个体、群体),作物是如何通过自组织达到自适应的,对此问题并未充分展开研究,微观分子机理研究的新发现尚未与旱地作物产量提高有机联系起来。

以前在黄土高原旱地作物水分高效利用的环境控制方面做了大量的工作,土

壤水分调控、水肥耦合等技术在提高旱作产量方面起了重要作用。但在目前通过覆盖大幅度提高作物产量的同时,却面临土壤质量下降的风险,如高产农田深层土壤出现干燥化现象,“土壤水库”调蓄功能减弱,对年际或季节性干旱的调节能力降低,产量年际波动幅度增大,肥料利用率降低等。因此,如何通过水肥调控与抗逆高产品种结合,实现水分养分供应与作物群体需求的时空一致,实现旱作高产农田的持续稳定和低产农田的稳定增产是一个迫切需要解决的问题。

本书是黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室旱农研究团队自2010年成立以来围绕上述问题所做研究工作的系统总结,全书分为旱地作物生产力稳定提升的分子生理机制、旱作农田生产力稳定提升的生物环境调控和旱地农业生产与全球变化三大部分,内容包括旱地作物从分子、细胞、器官和群体等不同层次上适应黄土高原多变低水环境的生物学过程和机制,干旱缺水环境下不同基因型作物生产力形成过程、差异及其机理;旱地作物降水生产潜力实现过程中土壤水库的有效范围与可调度,旱地作物产量和水肥利用效率协同提高的调控机制,旱作条件下水肥与作物生产力形成的定量关系及模型模拟;兼顾水土资源保持与作物高产高效栽培的理论及技术体系、技术规程和标准的研究及建立;旱区农田少量水优化管理、旱作农田温室气体排放通量、作物产量潜力及小流域生产力的定量评价,对指导干旱半干旱地区旱作农业生产具有重要科学价值。

全书由张岁岐、殷俐娜统稿。在编写过程中得到了山仑院士的指导,中国科学院水利部水土保持研究所刘国彬研究员、吴普特研究员等提出了许多宝贵意见,陈娟、方燕等在全书插图处理和文字校对方面做了大量工作,在此一并表示衷心的感谢。

在成书过程中,尽管我们作了大量努力,经过多次修改和反复讨论,但由于水平所限,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

张岁岐

2014年12月

目 录

序 前言

第一篇 旱地作物生产力稳定提升的分子生理机制

第1章 抗坏血酸及糖脂在提高植物抗逆中的作用	3
1.1 抗坏血酸在植物抗逆中的作用	3
1.1.1 抗坏血酸在植物中的作用及其再生途径	3
1.1.2 铝胁迫引起植物的氧化伤害	4
1.1.3 抗坏血酸在植物耐铝中的作用机理	5
1.2 半乳糖脂在植物抗逆中的作用	14
1.2.1 半乳糖脂在植物生长发育中的功能	14
1.2.2 调节植物体半乳糖脂合成的关键酶	16
1.3 半乳糖脂在提高植物抗盐中的作用	17
1.4 半乳糖脂在提高植物耐低磷胁迫中的作用	22
1.5 半乳糖脂在提高植物耐铝胁迫中的作用	24
参考文献	26
第2章 硅提高植物抗旱抗盐的作用机制	32
2.1 硅通过调控水孔蛋白表达提高植物根系的水导增强吸水来提高植物抗旱能力	35
2.2 硅通过缓解盐胁迫引起渗透胁迫提高植物的抗盐能力	38
2.3 硅通过调控根系水孔蛋白表达,增强根系吸水能力缓解盐引起的渗透胁迫	40
2.4 在干旱胁迫下硅调节多胺的累积和1-氨基环丙烷-1-羧酸(ACC)的减少可能参与了硅提高植物的抗旱能力	46
参考文献	50
第3章 转抗逆基因甘薯对干旱和复水的生理响应	54
3.1 转抗逆基因甘薯研究进展	54
3.1.1 引言	54
3.1.2 甘薯遗传转化体系的建立和转化方法	55

3.1.3 转化甘薯的主要抗逆基因	56
3.2 PEG 胁迫及复水对甘薯幼苗叶片光合系统和抗氧化酶系统的影响	63
3.2.1 PEG 胁迫及复水对甘薯幼苗叶片光合作用的影响	63
3.2.2 PEG 胁迫及复水对甘薯幼苗叶片抗氧化酶系统的影响	68
3.3 PEG 胁迫及复水对甘薯幼苗根系抗氧化酶系统及水力学导度的影响	73
3.3.1 水分胁迫时间及复水对转基因和非转基因甘薯根系 SOD 活性的影响	73
3.3.2 水分胁迫时间及复水对转基因和非转基因甘薯根系 APX 活性的影响	74
3.3.3 水分胁迫时间及复水对转基因和非转基因甘薯根系 CAT 活性的影响	75
3.3.4 水分胁迫时间及复水对转基因和非转基因甘薯根系水力学导度的影响	76
3.4 土壤干旱对甘薯生长、产量、收获指数和水分利用效率的影响	78
3.4.1 土壤干旱对转基因和非转基因甘薯生长的影响	79
3.4.2 土壤干旱对甘薯生物量形成的影响	80
3.4.3 土壤干旱对甘薯耗水量以及水分利用效率的影响	80
3.5 转基因甘薯应用前景及目前抗性研究中存在的问题	83
参考文献	84
第4章 外源 Ca^{2+} 调控玉米根系吸水的生理生态机制	90
4.1 引言	90
4.2 干旱及旱后复水条件下外源 Ca^{2+} 对玉米幼苗生长、钙含量和水分状况的影响	93
4.2.1 外源 Ca^{2+} 对干物质积累和钙含量的影响	93
4.2.2 外源 Ca^{2+} 对玉米幼苗根系形态和解剖结构的影响	95
4.2.3 外源 Ca^{2+} 对玉米气体交换参数和叶水势的影响	100
4.3 干旱及旱后复水下外源 Ca^{2+} 对玉米根水分运输特性的影响	103
4.3.1 外源 Ca^{2+} 对玉米幼苗整根系导水率的影响	103
4.3.2 外源 Ca^{2+} 对玉米幼苗根皮层细胞导水率的影响	104
4.3.3 外源 Ca^{2+} 调控玉米幼苗根吸水特性的生理机制	105
4.3.4 冠层水分状况、根吸水特性与整株水分平衡	106
参考文献	107

第5章 不同抗旱性玉米和高粱品种水力结构特性比较	112
5.1 供试材料的抗旱性评价	114
5.1.1 压力-容积曲线(PV 曲线)	114
5.1.2 叶表皮导度	115
5.1.3 快速离体过程中光合速率的变化	115
5.1.4 产量及水分利用效率	116
5.2 茎木质部水分传输效率及栓塞脆弱性	118
5.2.1 玉米、高粱茎导水率及脆弱性曲线	118
5.2.2 玉米、高粱茎木质部解剖结构特征	120
5.3 叶木质部水分传输效率及栓塞脆弱性	122
5.3.1 玉米、高粱的叶水分传输效率及对栓塞的脆弱性	122
5.3.2 玉米、高粱的水力安全范围阈值	124
5.3.3 玉米、高粱的水势和气孔导度日变化	126
5.4 讨论	128
5.4.1 茎水力学特性	128
5.4.2 叶水力学特性	130
5.5 下一步研究的问题	132
参考文献	136
第6章 植物整体水分平衡的调控	142
6.1 引言	142
6.2 不同抗旱性玉米品种维持整株水分平衡的策略差异	145
6.2.1 形态与解剖结构差异	145
6.2.2 叶气体交换参数和水分状况	146
6.2.3 根系和叶导水率变化	146
6.2.4 植物整合多方面特性以维持冠层失水	147
6.2.5 维持叶片水分平衡的策略差异	149
6.2.6 木质部薄壁细胞是否可以调节 K_{leaf}	151
6.2.7 根导水率的响应差异与整株水分平衡	151
6.3 玉米根、叶导水率变化与 $ZmPIP_s$ 基因转录调节的关系	152
6.3.1 短期水分胁迫下玉米叶片水分状况参数变化	152
6.3.2 短期水分胁迫对玉米叶、根系以及整株导水率的影响	152
6.3.3 短期水分胁迫下 $ZmPIP_s$ 基因的 mRNA 含量变化	154
6.3.4 叶蒸腾与根、叶导水特性相互关系	157
6.3.5 $ZmPIP_s$ 参与调节根、叶导水阻力短期响应	159

6.3.6 通过调节 <i>ZmPIP1;2</i> 表达改变水分跨膜阻力的优势	159
参考文献	160
第7章 大穗型小麦品系高产生理机制研究	165
7.1 大穗型小麦产量形成过程中光合特性的动态变化	167
7.1.1 小麦产量及其构成因素的变化	167
7.1.2 不同生育期小麦叶绿素含量的动态变化	168
7.1.3 不同生育期小麦叶片光合速率变化	169
7.1.4 不同生育期小麦叶片荧光参数变化	169
7.1.5 不同生育期小麦叶面积系数的动态变化	171
7.1.6 讨论	172
7.2 大穗型小麦叶片性状与养分含量及氮素分配特征的研究	173
7.2.1 小麦不同生育期旗叶比叶面积(SLA)的变化	173
7.2.2 小麦不同生育期旗叶干物质含量(LDMC)的变化	174
7.2.3 小麦不同生育期叶片营养元素平均含量的变化	175
7.2.4 小麦抽穗期叶片性状与营养元素的相关性	177
7.2.5 小麦成熟期氮素在小麦不同器官的积累与分配	177
7.2.6 讨论	180
7.3 大穗型小麦单穗及不同穗位籽粒灌浆过程研究	181
7.3.1 小麦旗叶全展后光合速率的变化动态	182
7.3.2 小麦籽粒千粒重动态变化	182
7.3.3 小麦籽粒灌浆速率动态变化	183
7.3.4 小麦籽粒灌浆参数及次级参数的差异与变化	185
7.3.5 讨论	189
7.4 大穗小麦品系产量与主要农艺性状的相关性及通径分析	191
7.4.1 大穗小麦产量及构成特点	191
7.4.2 小麦主要农艺性状间的相关性	194
7.4.3 小麦产量与主要农艺性状的关系	194
7.4.4 讨论	195
参考文献	196

第二篇 旱作农田生产力稳定提升的生物环境调控

第8章 旱地作物根系提水作用	203
8.1 引言	203
8.2 黄土高原旱地作物根系提水特征及影响因子	205

8.2.1	扬花期冬小麦浅层土壤 24h 含水量变化	205
8.2.2	作物根系提水作用生育期特征	206
8.2.3	不同水势差、不同养分及种植方式对作物根系提水作用的影响	209
8.2.4	不同作物生育期提水总量	213
8.3	根系提水作用与作物根系特征关系及水分养分调节效应	214
8.3.1	夏玉米根系特征	215
8.3.2	不同冬小麦品种根系特征	216
8.3.3	根系提水作用与根系生物量和体积的关系	217
8.3.4	根系提水作用与作物产量效应	218
8.3.5	根系提水作用下不同处理冬小麦耗水量及水分利用效率	219
8.4	讨论与结论	221
	参考文献	222
第 9 章	花后干旱及复水对小麦物质转运的调控	226
9.1	干旱对小麦叶片和叶鞘碳水化合物代谢的调节机制	226
9.1.1	干旱对小麦旗叶和旗叶鞘可溶性总糖含量的影响	227
9.1.2	干旱对小麦旗叶和旗叶鞘蔗糖含量的影响	228
9.1.3	干旱对小麦旗叶中 SPS 和 SS 活性的影响	229
9.1.4	干旱对小麦旗叶鞘中 SPS 和 SS 活性的影响	231
9.1.5	干旱与叶源光合产物的转运的影响	231
9.2	干旱对小麦茎秆碳水化合物代谢的调节机制	234
9.2.1	干旱对小麦茎中可溶性总糖含量的影响	234
9.2.2	干旱对小麦茎中糖组分含量的影响	235
9.2.3	小麦茎秆中可溶性总糖和糖组分含量之间的关系	238
9.2.4	干旱对小麦茎中果聚糖外水解酶活性的影响	238
9.2.5	干旱对小麦茎中蔗糖磷酸合成酶活性的影响	239
9.2.6	干旱对小麦茎中蔗糖合成酶活性的影响	239
9.2.7	干旱与小麦茎中碳水化合物的动员	241
9.3	干旱对小麦籽粒中蔗糖向淀粉转化的调节机制	243
9.3.1	干旱条件下小麦籽粒淀粉积累量及其积累速率的变化	243
9.3.2	干旱条件下小麦籽粒蔗糖合成酶活性及蔗糖含量的变化	245
9.3.3	干旱条件下小麦籽粒淀粉合成酶活性的变化	246
9.3.4	干旱影响籽粒淀粉积累速率与淀粉合成相关酶活性的关系	249
9.3.5	干旱影响籽粒淀粉合成的原因	249

9.4 干旱条件下小麦储藏物质积累转运与穗粒重的关系	251
9.4.1 干旱对小麦花后干物质积累动态的影响	251
9.4.2 干旱对小麦各营养器官花前储藏物质转运的影响	256
9.4.3 干旱对小麦茎秆及组成节间花后储藏物质转运的影响	260
9.4.4 小麦营养器官储藏物质积累转运与穗粒重积累的关系	261
9.4.5 干旱条件下的小麦源库关系调控	263
9.5 干旱对小麦产量、收获指数和水分利用效率的影响	266
9.5.1 干旱对小麦生长的影响	266
9.5.2 干旱对小麦产量及其构成因素的影响	267
9.5.3 干旱对小麦地上生物产量及收获指数的影响	267
9.5.4 干旱对小麦耗水量和水分利用效率的影响	268
9.5.5 干旱对小麦产量形成要素的影响	268
9.6 旱后复水对小麦灌浆期蔗糖代谢和淀粉积累的补偿机制	271
9.6.1 旱后复水对小麦光合作用的补偿效应	272
9.6.2 旱后复水对小麦蔗糖合成的补偿效应	273
9.6.3 旱后复水对小麦产量形成的补偿效应	274
9.6.4 旱后复水对小麦产量水分利用效率的补偿机制	277
参考文献	279
第10章 高产高效旱地玉米适宜土壤供氮量	284
10.1 引言	284
10.2 旱地玉米生产现状	284
10.3 不同氮肥用量对旱地玉米生长发育的影响	286
10.3.1 干物质和氮素积累	286
10.3.2 植株氮浓度	287
10.3.3 产量及产量构成	288
10.4 不同氮肥用量对氮肥利用效率及氮素平衡的影响	289
10.4.1 氮肥利用效率	289
10.4.2 氮素平衡	290
10.5 高产高效旱地玉米适宜供氮量	291
10.6 讨论	292
10.6.1 不同氮肥用量对玉米生长发育的影响	292
10.6.2 不同氮肥用量对氮肥利用效率及氮素平衡的影响	293
10.6.3 高产高效旱地玉米最优供氮量	293
参考文献	294

第 11 章 旱地小麦高产高效施氮研究	297
11.1 不同施氮量对小麦干物质积累和运转的影响	297
11.1.1 不同施氮量对小麦花后干物质积累及运转的影响	297
11.1.2 不同施氮量下花前干物质对籽粒的贡献	302
11.1.3 施氮量与小麦物质运转的关系	303
11.2 不同施氮量对小麦氮素积累分配和转运的调节	305
11.2.1 不同施氮量对小麦花后氮积累和运转的影响	305
11.2.2 不同生长阶段小麦植株对氮素的吸收	307
11.2.3 不同施氮量下氮素在植株不同器官的分配	309
11.2.4 不同施氮量对小麦植株氮素转移量和转移效率的影响	309
11.2.5 不同施氮量对籽粒蛋白质含量和产量的影响	311
11.2.6 不同施氮量对氮肥利用效率的影响	311
11.2.7 不同施氮量对旱地小麦氮素转运的调节	312
11.3 不同施氮量对谷氨酰胺合成酶(GS)和谷氨酸脱氢酶(GDH)活性的 影响	313
11.3.1 不同施氮量对 GS 活性的影响	313
11.3.2 不同施氮量对 GDH 活性的影响	315
11.3.3 酶活性与氮素转运	317
11.4 不同施氮量与水分利用的关系	317
11.5 水氮互作对小麦物质积累和转运的调节	320
11.5.1 对氮素吸收和利用的影响	320
11.5.2 对冬小麦干物质转运的影响	320
参考文献	332
第 12 章 旱地小麦高产栽培技术	335
12.1 不同栽培模式协同提高产量和水分利用效率	335
12.1.1 不同栽培模式对籽粒产量及其构成的影响	335
12.1.2 不同栽培模式对收获指数的影响	337
12.1.3 不同栽培模式对小麦水分利用效率的影响	337
12.1.4 不同栽培模式提高产量的技术原理	337
12.2 不同供水模式的小麦增加产量与水分利用效率技术	338
12.2.1 不同供水模式对冬小麦产量的影响	339
12.2.2 不同供水模式对冬小麦产量构成因素的影响	340
12.2.3 不同供水模式对水分利用效率的影响	341
12.2.4 营养生长期与生殖生长期供水模式的产量效应差异	341

12.2.5 不同供水模式的增产增效技术原理	342
12.3 旱地小麦栽培技术体系	344
12.3.1 旱地小麦覆盖栽培技术	345
12.3.2 旱地小麦有限灌溉技术	346
12.3.3 旱地小麦土壤培肥技术	347
12.4 旱地小麦栽培技术规程	348
12.4.1 旱地小麦栽培技术标准	348
12.4.2 旱地小麦栽培施肥技术规程	350
12.4.3 旱地小麦生长发育与管理模式	350
12.4.4 旱地小麦高产栽培试验示范	350
参考文献	354
第13章 黄土高原旱作春玉米高产高效栽培体系构建	356
13.1 引言	356
13.2 材料和方法	357
13.2.1 Hybrid-Maize 模型	357
13.2.2 旱地玉米产量潜力估算	357
13.2.3 春玉米高产高效栽培体系构建	357
13.2.4 高产高效栽培体系的田间验证	357
13.3 结果与分析	358
13.3.1 长武地区气候条件	358
13.3.2 长武地区旱作春玉米产量潜力估算	359
13.3.3 旱地玉米栽培措施优化	360
13.3.4 旱地春玉米高产高效栽培体系的技术集成	366
13.3.5 栽培体系的田间验证	366
13.3.6 旱地玉米高产高效栽培技术规程	367
13.4 讨论	368
13.5 小结	369
参考文献	370
第14章 旱区农田作物生产模拟与少量水优化利用技术	374
14.1 DSSAT 作物模型	375
14.1.1 DSSAT 作物模型简介	375
14.1.2 DSSAT 模型研究进展	378
14.2 AquaCrop 作物模型	381
14.2.1 AquaCrop 作物模型简介	381