

Eco-Physiology and Formation
of Yield and Quality in Maize

玉米生态生理 与产量品质形成

□ 董树亭 等 编著



高等教育出版社
Higher Education Press

国家科技攻关
农业科技跨越计划

国家自然科学基金
山东省农业良种工程

等资助项目

Eco-Physiology and Formation of Yield and Quality in Maize

玉米生态生理 与产量品质形成

□ 董树亭 等 编著



高等教育出版社
Higher Education Press

图书在版编目 (CIP) 数据

玉米生态生理与产量品质形成 / 董树亨等编著. —北京:
高等教育出版社, 2006.10
ISBN 7-04-020078-3

I. 玉.. II. 董... III. ①玉米-植物生态学-研究
②玉米-植物生理学-研究 ③玉米-栽培-研究
IV.S513

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 132656 号

策划编辑 李光跃 责任编辑 李光跃
封面设计 张 楠 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京佳信达艺术印刷有限公司

开 本 850×1168 1/16
印 张 27.5
字 数 610 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2006 年 10 月第 1 版
印 次 2006 年 10 月第 1 次印刷
定 价 86.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 20078-00

编著人员

董树亭

(以下按姓氏拼音字母为序)

高荣岐 胡昌浩

刘 鹏 刘开昌

孙庆泉 王空军

谢瑞芝 张吉旺

内容提要

本书系统介绍了玉米生态生理与产量品质形成的理论及技术。第1章 玉米群体光合性能与产量形成，阐述高产玉米群体光合速率的时空变化规律及其调控。第2章 玉米根叶生态生理与产量品质形成，阐述根系与地上部的关系及生理机制，论述了叶片保绿性与玉米产量的关系，保绿型玉米的生理生化特征和遗传特性。第3章 玉米穗粒发育与产量品质形成，论述玉米穗粒发育的过程及其与穗粒库容的关系，比较不同类型品种、不同穗位和粒位间的发育差异。第4章 玉米品种更替过程中的生理特性演化，阐述了50年来我国玉米品种更替过程中生理特性演进规律，明确高产品种应具备的生理性状，提出了玉米高产优质高效品种类型的选择依据。第5章 玉米品质形成与生态调控，论述了玉米品质的形成机制以及与品种类型、生态环境的关系，提出了品质调控的措施。第6章 玉米的硫素需求与氮磷钾营养，论述了玉米的硫素需求规律、硫素时空分布和硫肥施用技术，阐明了硫素对玉米产量和品质的影响机制。第7章 生态环境对玉米产量品质及生理特性的影响，揭示了光、温、水等生态因素对玉米生长发育和高产高效的影响，分析了不同生态区玉米高产优质的途径。

本书的主要内容为作者近20年的研究成果，同时吸纳了国内外研究者的最新研究资料，力求理论与实践的有机结合。本书可供作物栽培生理工作者及相关专业科研人员、研究生参阅使用。

董树亭教授简介



董树亭，教授，博士生导师，国家级教学名师，山东农业大学副校长，作物栽培与耕作学国家级重点学科负责人，省部共建作物生物学重点实验室主任，农业部黄淮海区域玉米技术创新中心主任，国家“百千万人才工程”第一、二层次人才，人事部专家顾问，中国农学会常务理事，山东省农业专家顾问团副团长，山东省有突出贡献的中青年专家，省专业技术拔尖人才，享受国务院特殊津贴。

曾赴乌克兰、美国、澳大利亚、新西兰、日本、欧洲等国合作科研、讲学或考察。

回国后致力于玉米高产优质高效栽培和宏观农业方面的研究，先后主持国家科技攻关、国家自然科学基金、农业科技跨越计划、山东省农业良种工程等重大科研课题20余项，获得省部级以上科研、教学成果14项，其中国家科技进步二等奖1项，全国农牧渔业丰收奖一等奖1项，山东省科技进步一等奖2项；获国家级教学成果一、二等奖各1项，山东省省级教学成果一等奖2项；在《The Journal of Agricultural Science》、《Biologia Plantarum》、《Photosynthetica》和《中国农业科学》、《植物生理与分子生物学报》、《作物学报》等国内外重要学术刊物上发表论文140余篇，编著出版教材专著12部。培养博士后、博士生、硕士生46名。常年服务于农业生产第一线，为我国玉米生产做出了重要贡献。

序

玉米是世界重要的粮食作物之一,伴随着世界人口的增长,畜牧业和加工业的快速发展,人类对玉米的需求量也随之增加。世界玉米生产总的发展趋势是种植面积趋于相对稳定或略有增加,以利用现代科学技术和先进管理手段提高单产为主攻方向,玉米栽培工作者自然成为担当这一重任的主力军。

我国玉米栽培研究工作,20世纪50—60年代以总结丰产经验、推广新技术为主;70—80年代主要进行生物学和生理学的研究;进入90年代以来,开始了玉米高产优质的生态生理机制探讨,以此作为推动玉米栽培技术进步的理論依据,形成了大力推广紧凑型杂交种、缩行增株加大密度、科学合理配方施肥提高土壤肥力,以及节水灌溉等行之有效的栽培技术,大大促进了我国玉米生产的发展。

社会发展到今天,玉米已不仅是粮食和饲料,还是重要的工业、生物能源业的原料,众多的需求对玉米生产提出了更高要求。为适应这种要求,就要以高产优质高效生态安全为目标,认真研究玉米高产的生理生化基础、生长发育与生态环境的关系,形成一套高科技含量的栽培技术,以促进我国玉米生产的快速发展。

董树亭和他的课题组,倾20年之努力,从玉米生态生理入手,系统研究了玉米产量品质形成与环境条件的关系,内容包括群体光合规律与调控、根叶生理特性、品种更替与生理特性演变、硫素营养与氮磷钾施用、穗粒发育与产量形成、产品质量对生态环境的响应等,形成了一套玉米高产优质高效生态安全生产的理论与技术体系,并在生产上取得了显著效益,先后在国际国内重要学术刊物上发表论文100余篇,对作物生物学理论的发展做出了重要贡献。今天,这些珍贵资料经过作者精心整理、润色,以专著的形式出版了,这是我国作物栽培学界乃至农业系统的一大幸事。

董树亭曾是我的学生。作为他的老师,我看着他数十年在玉米地里摸爬滚打,在实验室里孜孜以求。对于他的踏实努力,我深感欣慰;对于他在科学研究上的睿智和取得的成就,也很自豪。值他主编的《玉米生态生理与产量品质形成》一书出版之际,我预祝他及他的课题组在玉米科学研究上取得更大成绩,同时也相信从事农业科学研究的科研人员、教师、研究生会从中有所受益。

中国工程院院士

2006年6月

前 言

玉米是我国主要的粮、饲、经作物,我国是世界玉米生产第二大国,常年播种面积 2 500 万 hm^2 左右,约占世界玉米面积的 17%。近年来随着国民经济的快速发展,玉米的用途愈加广泛,重要作用更加突出,同时玉米生产中存在的产量低、效益低、品质差的问题日益显现。长期以来,我们一直在思考两个问题,一是我国玉米单产的平均水平仅是美国单产的 57.2%,二是我国自己选育的玉米品种小面积最高单产为 21 042.9 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,而全国大面积平均单产不足 6 000 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。提高单产、改善品质、挖掘品种最大生产潜力,赶超世界玉米生产先进水平,是玉米栽培工作者的最大责任和义务。围绕以上问题,20 余年来我们从玉米生态生理入手,研究玉米产量品质形成与环境条件之间的关系,在单项田间技术试验的基础上,集成玉米高产优质高效技术体系,在实践中推广应用。本书以作者的研究成果为主,同时吸收国内外同行专家的研究成果编著而成。

全书共 7 章。第 1 章 玉米群体光合性能与产量形成。围绕玉米群体光合性能与产量关系这一主题,阐述高产玉米群体光合速率的时空变化规律,光合产物的呼吸消耗和分配,品种、肥料、密度、播期等措施对群体光合的调控作用,延长开花后群体光合高值持续期的措施等。第 2 章 玉米根叶生态生理与产量品质形成。阐述根系与地上部的关系及生理机制,探明高产品种根系的时空分布、生理特性及其伸展空间受限条件下与地上部生长的关系,提出在根系伸展空间受限条件下的调控措施。论述了叶片保绿性与玉米产量形成的关系,玉米叶片保绿类型的划分标准,保绿型玉米的生理生化特征和遗传特性。第 3 章 玉米穗粒发育与产量品质形成。论述玉米穗粒发育的过程及其与穗粒库容的关系,穗粒库容形成的形态、生理及分子机制,比较不同类型品种、不同穗位、粒位间的发育差异,种植密度、环境条件对籽粒产量、品质的影响,提高产量潜力的措施。第 4 章 玉米品种更替过程中的生理特性演化。阐述了新中国成立后 50 年来我国玉米品种更替过程中生理特性演进规律,明确高产品种应具备的生理性状,提出了玉米高产优质高效品种类型的选择依据。第 5 章 玉米品质形成与生态调控。论述了玉米品质的指标,籽粒中蛋白质、淀粉、脂肪等贮藏物质的形成机制,以及与品种类型、生态环境的关系,提出了品质生态调控的措施。第 6 章 玉米的硫素需求与氮磷钾营

养。论述了玉米的硫素需求规律、硫素时空分布和硫肥施用技术,对玉米硫素营养的敏感性进行基因分类,阐明了硫素对玉米产量和品质的影响机制,以及与氮、磷、钾营养的关系。第7章 生态环境对玉米产量品质及生理特性的影响。揭示了光、温、水等生态因素对玉米生长发育和高产高效的影响,论述了限制玉米高产优质高效的主要生态障碍因素,以及玉米高产优质的生态需求,分析了不同生态区玉米高产优质的途径和解决限制性生态因素的核心技术。

在研究过程中,先后得到国家自然科学基金(30100108、30170546、30470420、30471025、39870525)、国家“十五”攻关(2002BA516A13)、农业部跨越计划(2003.19)、山东省农业良种产业化工程等项目的资助,在此一并致谢。

本书撰写过程中力求做到:①将玉米生态生理理论与栽培技术紧密结合,既阐明理论问题,又解决玉米高产优质高效生产问题;②以作者的研究成果为主线,阐明玉米生态生理与产品形成的关系,重点突出,特色鲜明;③体例新颖,务实求新,把握玉米生理和栽培的衔接,突出栽培生理,强化专题论述,力求少而精。

本书承蒙中国工程院余松烈、束怀瑞、山仑3位院士指导和帮助,对此深表谢意。对先后参加该课题研究的全体人员和给予出版支持的领导专家,表示衷心的感谢。由于作者水平有限,书中不妥之处,敬请读者批评指正。

董树亭

2006年6月于山东农业大学

E-mail: stdong@sdau.edu.cn



▶ 2005年9月9日,温家宝总理亲切接见国家级教学成果一等奖获得者董树亭教授

2006年1月9日,董树亭教授出席全国科学技术大会,获国家科技进步二等奖



▶ 2005年7月,董树亭教授在登海种业集团参观考察



▶ 2006年8月,董树亭教授在农星种业集团考察玉米不育系制种



▶ 2006年9月,董树亭教授在山东高唐县考察玉米生产情况



▶ 1995年7月,董树亭教授在玉米试验田中做观察记载



▶ 2005年7月,董树亭教授与聊城市科技人员下乡指导玉米生产



▶ 2005年6月,董树亭教授和黄淮海区域玉米技术创新中心部分成员及博士、硕士研究生

郑 重 声 明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街 4 号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 维：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

1 玉米群体光合性能与产量形成	1
1.1 玉米群体光合性能与产量研究现状	1
1.1.1 群体光合作用系统	2
1.1.2 品种类型与光合	4
1.1.3 生态因素与群体光合	6
1.2 玉米群体光合性能与高产潜力	11
1.2.1 不同株型玉米群体光合作用特点	11
1.2.2 花粒期群体光合特性与高产潜力	15
1.2.3 群体光合作用、籽粒生长动态与产量潜力	20
1.3 玉米群体光合与品种特性	22
1.3.1 品种间群体光合特性差异	22
1.3.2 不同品种群体光合速率的冠层分布	24
1.3.3 品种间群体光合对种植密度的反应	25
1.4 生态因素对玉米群体光合的影响及调控	27
1.4.1 群体光合速率的日变化及对光、温、气的响应	27
1.4.2 群体中的单叶光合与群体光合作用系统的关系	30
1.4.3 群体光合作用的肥水调控	31
1.5 玉米光合产物的消耗与积累	33
1.5.1 不同器官的呼吸速率	33
1.5.2 群体呼吸速率特点及与光合作用的关系	34
1.6 玉米的库源比值与产量形成	37
1.6.1 群体叶源量的变化	37
1.6.2 群体库容量的变化	40
1.6.3 群体库源比值与产量	41
主要参考文献	43

2 玉米根叶生态生理与产量品质形成	46
2.1 玉米根系生理特性及其与地上部的关系	46

2.1.1	不同类型品种个体与群体籽粒产量潜力	46
2.1.2	不同类型品种充分生长条件下根系及地上部的生理特性	47
2.1.3	不同类型品种根系及地上部对密度的反应	51
2.2	限制根系伸展空间对不同类型玉米根系及地上部生长的影响	54
2.2.1	对根系及地上部物质生产的影响	54
2.2.2	对不同层次根系生理活性的影响	57
2.2.3	对 N 素吸收与 N 素利用效率的影响	58
2.2.4	对不同类型品种产量及物质积累分配的影响	61
2.2.5	根系伸展空间受限条件下对根系的调控	64
2.3	玉米根系密度与籽粒产量的关系	72
2.3.1	限制根系伸展对根系密度的影响及其与产量的关系	72
2.3.2	种植密度对根系密度的影响及与产量的关系	72
2.3.3	根系与产量相关的几个问题	74
2.4	玉米叶的生理特性	80
2.4.1	玉米叶片的结构	80
2.4.2	玉米叶片的生长姿态	84
2.4.3	玉米叶片的生长及功能	85
2.5	玉米叶片的衰老及调控	87
2.5.1	叶片衰老的形态变化与顺序	87
2.5.2	叶片碳代谢关键酶活性的变化动态	97
2.5.3	叶片内源激素的变化动态	109
2.5.4	影响叶片生长的环境因素	112
	主要参考文献	113

3	玉米穗粒发育与产量品质形成	116
3.1	玉米果穗维管束系统的发育与穗粒库容	116
3.1.1	果穗维管束联络系统的形成及特点	116
3.1.2	不同穗位、粒位间维管束的结构差异	119
3.1.3	果穗维管束系统的结构功能与穗粒库容的关系	121
3.1.4	不同类型品种果穗维管束系统的结构差异	124
3.1.5	密度对果穗维管束的结构、功能及穗柄伤流的影响	128
3.1.6	激素对果穗维管束结构、功能及穗粒库容的影响	133
3.2	玉米籽粒发育、营养物质积累及其与籽粒库容的关系	135
3.2.1	胚的形成、发育和营养物质变化	136
3.2.2	胚乳的发育和营养物质积累	143
3.2.3	果种皮的发育	148
3.2.4	籽粒的生长模式与适期晚收	149
3.2.5	籽粒乳线消长与养分积累及粒重的关系	152

3.3 玉米盾片发育的超微结构及其与籽粒发育的相关性	154
3.3.1 盾片发育的超微结构	154
3.3.2 盾片内部细胞中蛋白质体的形成和结构	157
3.3.3 盾片的发育过程及其与籽粒发育的相关性	157
3.4 玉米胚乳传递细胞的发育及其与籽粒发育的相关性	159
3.4.1 胚乳传递细胞发育的显超微结构	160
3.4.2 胚乳传递细胞的发育与籽粒发育的相关性	164
主要参考文献	165

4 玉米品种更替过程中的生理特性演化	168
4.1 玉米品种更替过程中物质生产和器官集成的演化	169
4.1.1 品种更替过程中的物质积累与分配演化	169
4.1.2 不同年代品种干物质积累速率的演化	171
4.1.3 不同年代品种籽粒灌浆的物质来源和籽粒灌浆特性	172
4.1.4 不同年代品种的群体内叶面积冠层分布和采光特点的演化	172
4.2 品种更替过程中产量构成因素和主要产量性状的演化	175
4.2.1 不同年代玉米品种产量构成因素的演化	175
4.2.2 不同年代品种的穗部性状和植株形态比较	176
4.2.3 不同年代品种在不同种植密度条件下的产量性状演化	178
4.3 我国不同年代玉米品种单叶光合特性演化规律	181
4.3.1 不同年代品种净光合速率、蒸腾速率和气孔导度的演化特点	181
4.3.2 不同品种叶片光合色素含量的演化特点	183
4.3.3 不同品种叶片细胞间隙 CO_2 浓度的演化特点	184
4.3.4 不同叶位叶片净光合速率及光合色素含量的品种间比较	185
4.4 品种更替过程中不同年代品种籽粒库生理特性的演化	186
4.4.1 不同年代品种籽粒胚乳细胞增殖的演化特点	187
4.4.2 不同年代品种籽粒充实期的生理活性演化特点	190
4.5 玉米品种更替过程中叶片内源激素调控的演化	194
4.5.1 不同年代品种不同叶位叶片乙烯释放速率研究	194
4.5.2 不同年代品种叶片 iPA 和 ABA 含量的比较研究	197
4.6 玉米品种更替过程中叶器官的抗衰老特性演化	202
4.6.1 不同年代品种开花后叶片 SOD 的演化特点	202
4.6.2 不同年代品种开花后叶片 CAT 酶活性的演化特点	204
4.6.3 不同年代品种开花后叶片 POD 酶活性的演化特点	205
4.6.4 不同年代品种开花后叶片丙二醛(MDA)含量的演化特点	207
4.7 玉米品种更替过程中根系的演化	208
4.7.1 品种更替过程中根系时空分布特性的演变	208
4.7.2 不同年代品种生育全程根系特性演化研究	212

4.7.3 不同年代品种根系活性与 ATPase 活性的演化	217
4.7.4 不同年代品种根系保护酶活性及膜脂过氧化作用的演化	222
主要参考文献	225

5 玉米品质形成与生态调控	228
5.1 玉米籽粒品质研究进展	228
5.1.1 品质形成的遗传因素研究与品质育种	228
5.1.2 品质形成的非遗传因素研究	234
5.2 玉米籽粒糖类物质的合成与积累	238
5.2.1 糖的合成与积累	238
5.2.2 淀粉的合成与积累	248
5.3 玉米籽粒蛋白质类物质的合成与积累	254
5.3.1 氨基酸的合成与积累	254
5.3.2 蛋白质的合成与积累	258
5.4 玉米籽粒脂肪的合成与积累	262
5.5 玉米籽粒品质的生态调控	262
5.5.1 播期调控	263
5.5.2 不同生态区玉米籽粒品质差异	269
5.5.3 海拔高度对玉米籽粒品质的影响	272
5.5.4 不同生态因子与品质的关系分析	276
主要参考文献	278

6 玉米的硫素需求与氮磷钾营养	281
6.1 硫素营养及其研究进展	281
6.2 玉米的硫素营养	283
6.2.1 玉米的硫素吸收与分配	283
6.2.2 硫肥对玉米生长发育的影响	287
6.2.3 硫肥对玉米产量的影响	294
6.2.4 硫肥对玉米品质的影响	295
6.3 玉米硫效率的基因型差异	296
6.3.1 玉米根系硫素吸收动力学的基因型差异	296
6.3.2 玉米对硫素响应的基因型差异	298
6.3.3 玉米硫素吸收利用效率的基因型差异	300
6.4 玉米的氮磷钾营养及硫素的影响	304
6.4.1 玉米的氮素营养	304
6.4.2 氮硫互作对玉米生产的影响	312
6.4.3 玉米的磷素营养及硫对磷素吸收利用的影响	323

6.4.4 玉米的钾素营养及硫对钾素吸收利用的影响	329
6.4.5 硫素对玉米吸收利用其他元素的影响	335
6.5 硫肥的科学施用	338
6.5.1 土壤的供硫能力	338
6.5.2 硫肥的种类	339
6.5.3 硫肥的科学施用	340
主要参考文献	342

7 生态环境对玉米产量品质及生理特性的影响	346
7.1 生态因素与玉米产量品质形成研究进展	346
7.1.1 光照与玉米产量和品质	346
7.1.2 温度与玉米产量形成	347
7.1.3 CO ₂ 浓度与玉米产量形成	349
7.1.4 水分与玉米产量形成	349
7.2 生态因素对玉米高产特性的影响及调控	350
7.2.1 不同生态区域的玉米产量及其调控	351
7.2.2 玉米产量与生态因素的关系	352
7.2.3 生态因素对生理特性的影响及调控	355
7.3 高温对玉米产量品质形成及其生理特性的影响	364
7.3.1 高温对籽粒产量的影响	364
7.3.2 高温对籽粒品质的影响	366
7.3.3 高温对玉米光合特性的影响	371
7.3.4 高温对活性氧代谢和膜脂过氧化作用的影响	378
7.3.5 高温对碳代谢关键酶活性的影响	384
7.3.6 高温对氮代谢关键酶活性的影响	389
7.4 遮阴对玉米产量品质及其生理特性的影响	393
7.4.1 遮阴对籽粒产量的影响	394
7.4.2 遮阴对籽粒品质的影响	396
7.4.3 遮阴影响产量品质形成的生理生化机制	400
主要参考文献	415