

中国超级稻育种

● 程式华 主编



科学出版社
www.sciencepress.com

中国超级稻育种

主编 程式华

副主编 陈温福 谢华安 武小金

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统阐述了我国超级稻育种研究的理论与实践。全书分三部分，共 16 章。第一部分（第一章至第七章）从水稻的产量潜力及其限制因素阐明了超级稻育种的必要性，分析了国外超高产水稻育种的状况，综合论述了水稻产量形成的物质生产和光合生产基础，以及超高产水稻育种的遗传基础（包括经典的和现代分子生物学）和育种技术，阐述了我国超级稻育种技术的独创性；第二部分（第八章至第十五章）分各生态区（华南、长江上游、长江中下游和东北稻区）具体而详细地阐述超级稻育种的历史与技术基础、株型模式、育种策略、技术要点和育种效果，体现了技术的因地制宜；最后，第三部分（第十六章）对中国超级稻育种的前景进行了展望。

本书对农业科技工作者和有关院校的师生，从事水稻生产和管理的相关人员，以及水稻相关产业的有关人士将有所裨益。

图书在版编目(CIP)数据

中国超级稻育种/程式华主编. —北京：科学出版社，2010
ISBN 978-7-03-026117-5

I. 中… II. 程… III. 水稻—作物育种—中国 IV. S511.035

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2009）第 216385 号

责任编辑：李 悦 李晶晶/责任校对：钟 洋

责任印制：钱玉芬/封面设计：王 浩

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>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 1 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

2010 年 1 月第一次印刷 印张：31 3/4 插页：4

印数：1—2 000 字数：731 000

定价：95.00 元

（如有印装质量问题，我社负责调换）

《中国超级稻育种》编写人员

主 编 程式华

副主编 陈温福 谢华安 武小金

各章节作者

第一章 朱德峰 林贤青

第二章 李 建 (第一节, 第三节)

陈温福 徐正进 (第二节, 第四节)

第三章 林青山 江奕君 (第一节) 陈温福 徐正进 (第二节)

吴先军 (第三节) 武小金 (第四节)

程式华 (第五节)

第四章 陶龙兴 程式华

第五章 沈 波 张荣铨

第六章 庄杰云 (第一节, 第二节)

钱 前 郭龙彪 (第三节, 第四节)

第七章 万建民

第八章 林青山 江奕君

第九章 谢华安 吴方喜 (第一节) 杨惠杰 (第二节)

谢华安 张建福 (第三节)

谢华安 杨惠杰 黄庭旭 (第四节)

第十章 郑家奎

第十一章 苏泽胜 (第一节, 第三节)

武小金 (第二节, 第四节)

第十二章 曹立勇 张培江 程式华

第十三章 杨长登 马良勇

第十四章 陈温福 徐正进

第十五章 华泽田

第十六章 程式华

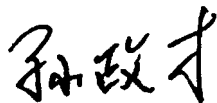
序

水稻是我国第一大粮食作物，在我国粮食生产和消费中始终处于主导地位。稳定发展水稻生产，对保障国家粮食安全、促进经济社会又好又快发展具有十分重要的意义。紧紧依靠科技创新，不断提高水稻单产水平，始终是中国特色现代农业建设面临的重要任务。始于 20 世纪 50 年代的水稻矮化育种及 70 年代的水稻杂种优势利用的成功，带来了我国水稻单产的两次飞跃，有力促进了世界范围的“绿色革命”，为世界粮食安全作出了重要贡献。

1996 年，农业部启动了“中国超级稻研究”重大项目，组成了以中国水稻研究所、沈阳农业大学、福建省农业科学院、湖南杂交水稻研究中心、四川省农业科学院等国内主要水稻育种单位为主体的超级稻研究协作组。经过十余年的联合攻关，研究协作组在超级稻育种理论与技术研究、育种材料创制、新品种选育与推广等方面取得了重大突破。2000 年和 2005 年分别突破了百亩^①连片亩产 700 kg (10.5 t/hm^2) 的第一期目标和亩产 800 kg (12 t/hm^2) 的第二期目标，目前正在攻克亩产 900 kg (13.5 t/hm^2) 的第三期目标。截至 2007 年，农业部已认定 61 个新品种为超级稻。这些超级稻品种产量潜力大、优质、抗病，深受农民欢迎，已在我国长江流域稻区、华南稻区和东北稻区得到大面积推广应用，为保障我国粮食安全作出了重大贡献。目前，我国超级稻研究已处于国际领先地位，但从我国粮食发展的长期战略要求看，超级稻的研究和示范推广仍然任重道远。因此，有必要对我国超级稻研究的前期工作加以系统总结，阐明超级稻育种理论、生理和遗传基础及技术路线，为在 2015 年实现超级稻亩产 900 kg (13.5 t/hm^2) 的第三期目标奠定基础。

这本由我国超级稻研究协作组主要科研骨干撰写的《中国超级稻育种》，集中阐述了我国超级稻研究十多年来在育种理论基础和育种技术研究、育种材料创制及新品种选育与推广方面取得的成果，并介绍了国外在超高产水稻育种方面的经验。相信该专著的出版，将有利于加速我国超级稻育种与应用进程，并为其他粮食作物的超高产育种提供有益借鉴，从而为促进我国粮食生产稳定发展、保障国家粮食安全作出贡献。

农业部部长



2009 年 1 月 20 日

^① 1 亩 $\approx 667 \text{ m}^2$ 。

前 言

水稻是我国播种面积最大、总产最多、单产最高、消费人群最广、消费量最大的粮食作物，担负着保障我国粮食安全的重任。1949 年以来，科技进步不断推动水稻生产获得新突破。1949 年，我国水稻平均单产仅 1.89 t/hm^2 ，总产 0.486 亿 t。2007 年，全国平均单产达到 6.435 t/hm^2 ，创造了历史最高纪录；总产 1.86 亿 t，为 2001 年以来最高。与 1949 年相比，2007 年水稻播种面积仅增加了 12.5%，但总产和单产分别增加了 282% 和 240%，显然，我国水稻产量的增加主要依赖于单产的提高。

在提高水稻单产的诸因素中，品种改良发挥了主导作用。我国在 20 世纪 50 年代后期利用水稻矮秆基因率先育成高产抗倒矮秆品种，启动了第一次“绿色革命”；70 年代初，又在世界上首次将杂交籼稻三系配套应用于生产，实现了水稻单产的两次重大突破。这两次重大突破，促使我国水稻平均单产在 70 年代中期和 80 年代中期分别跃上 3.75 t/hm^2 和 4.5 t/hm^2 的台阶。其后，随着良种更新和良法的推广应用，到 90 年代初期，我国水稻以播种面积计，单产又进一步提高到接近 6.0 t/hm^2 的水平，从而进入了世界先进行列。为了增强我国粮食科技储备能力，促成水稻单产的第三次飞跃，农业部于 1996 年在沈阳召开“中国超级稻研讨论证会”，正式确立和启动“中国超级稻育种及栽培技术体系研究”重大项目。在农业部的直接领导下，由中国水稻研究所牵头，联合全国水稻育种优势单位组成超级稻研究协作组，首先在 2000 年实现超级稻品种百亩示范亩产 700 kg (10.5 t/hm^2) 的第一期目标。为此，温家宝总理于 2001 年 1 月 10 日对中国超级稻研究作出重要批示：“‘中国超级稻’的培育成功，是我国农业科学研究的一项重大成果，对于保障我国粮食安全具有重要意义。要对参研单位和科技人员予以表彰，鼓励他们继续发扬协作精神，加强科技创新，为完成第二阶段的任务，实现已育成品种的产业化而继续努力。”2005 年，协作组又实现超级稻品种百亩示范亩产 800 kg (12 t/hm^2) 的第二期目标，第一期育成的超级稻品种也在生产上大面积推广。截至 2008 年，全国累计推广超级稻品种达 2500 万 hm^2 ，增产稻谷 210 亿 kg，超级稻大面积增产效应已经显现。

《中国超级稻育种》专著的撰写在 1998 年就开始酝酿。2006 年初，超级稻研究专家组在准备“中国超级稻研究实施 10 周年”活动时一致认为，超级稻研究已相继完成第一和第二阶段目标，已在育种理论、育种技术和品种选育方面积累了雄厚的基础，具备了专著撰写的素材准备，并进行了写作安排，由主编草拟写作提纲，经征求意见后付诸实施。

《中国超级稻育种》专著历经三年终于成稿。本书共分 16 章，系统分析了我国水稻生产的限制因素，介绍了国内外水稻超高产研究的历史与现状，水稻超高产的遗传和生理基础，按稻区和超级稻类型阐述了育种理论和技术，并对超级稻的发展作了展望。另外，为方便查询，将 2005~2009 年农业部认定的 71 个超级稻品种的品种特性和栽培技术要点附于书后。

《中国超级稻育种》的出版，凝聚了我国水稻新老育种专家的心血。袁隆平院士、闵绍楷研究员和翟虎渠教授等都对本书的撰写与出版给予了莫大的关心。作为中国超级稻研究项目的第一任首席专家，闵绍楷先生还对本书的写作提纲提出了修改建议；《中国水稻科学》编辑部主任李建编审承担了大量的编辑和统稿工作，科学出版社的李悦编辑为本书的出版花费了不少心血，在此一并致谢。由于全书涉及面广，涵盖了不同稻区、不同品种类型和不同育种技术，章与章之间的衔接不一定很流畅，不足和疏漏之处在所难免，希望广大读者批评指正。

程式华

2009年7月30日

目 录

序

前言

第一章 水稻产量潜力及其限制因素	1
第一节 水稻的产量潜力	1
第二节 世界水稻生产概况	4
第三节 中国的水稻生产	8
第四节 水稻产量的限制因素	9
第五节 提高水稻现实产量的途径	10
参考文献	14
第二章 国外超高产水稻育种	15
第一节 印度的超高产水稻育种	15
第二节 日本的超高产水稻育种	18
第三节 韩国的超高产水稻育种	24
第四节 国际水稻研究所的超高产水稻育种	27
参考文献	32
第三章 中国水稻超高产育种	33
第一节 半矮秆（含丛生）早长型水稻育种	33
第二节 籼粳稻杂交理想株型育种	38
第三节 重穗型杂交稻育种	41
第四节 两系法亚种间杂交稻育种	45
第五节 中国超级稻育种	49
参考文献	59
第四章 水稻产量形成的物质生产基础	61
第一节 水稻产量形成的生理特性	61
第二节 高产水稻的耐热性特征	67
第三节 高产水稻品种的结实特性及库源流学说	73
第四节 超级稻产量形成的生理模型	88
第五节 云南超高产水稻的生物学产量特性	94
参考文献	98
第五章 水稻产量形成的光合生产基础	102
第一节 光合作用与产量的关系	102
第二节 水稻种质资源的光合功能分类及鉴定	110
第三节 光合同化与籽粒灌浆的关系	119
第四节 超高产水稻的光氧化特性	126

第五节 超高产水稻的光合生理特性·····	134
参考文献·····	145
第六章 水稻杂种优势的遗传基础 ·····	149
第一节 水稻产量 QTL 定位及互作效应 ·····	149
第二节 水稻产量杂种优势遗传机理·····	156
第三节 杂交水稻基因组信息·····	161
第四节 超级稻分子设计育种·····	172
参考文献·····	185
第七章 水稻籼粳交杂种的遗传 ·····	191
第一节 水稻籼粳分化与鉴定·····	191
第二节 籼粳交杂种不育障碍及遗传·····	198
第三节 水稻广亲和基因的发掘与遗传·····	206
第四节 水稻籼粳亚种间杂种优势利用·····	211
参考文献·····	218
第八章 华南稻区超级常规稻育种 ·····	227
第一节 高产育种历史与技术基础·····	227
第二节 株型模式及塑造·····	233
第三节 育种策略及技术要点·····	241
第四节 育种成效与应用·····	245
参考文献·····	249
第九章 华南稻区超级杂交稻育种 ·····	250
第一节 高产育种历史与技术基础·····	250
第二节 株型模式及塑造·····	254
第三节 育种策略及技术要点·····	255
第四节 育种成效与应用·····	261
参考文献·····	262
第十章 长江上游稻区三系超级杂交稻育种 ·····	264
第一节 高产育种历史与技术基础·····	264
第二节 株型模式及塑造·····	267
第三节 育种策略及技术要点·····	276
第四节 育种成效与应用·····	280
参考文献·····	283
第十一章 长江中下游稻区两系超级杂交稻育种 ·····	285
第一节 高产育种历史与技术基础·····	285
第二节 株型模式及塑造·····	300
第三节 育种策略及技术要点·····	303
第四节 育种成效及应用·····	315
参考文献·····	316

第十二章 长江中下游稻区三系超级杂交稻育种	319
第一节 高产育种历史与技术基础	319
第二节 株型模式及塑造	325
第三节 育种策略及技术要点	330
第四节 育种成效与应用	336
参考文献	337
第十三章 长江中下游稻区超级常规稻育种	340
第一节 高产育种历史与技术基础	340
第二节 株型模式及塑造	344
第三节 育种策略及技术要点	351
第四节 育种成效与应用	354
参考文献	356
第十四章 东北稻区超级常规粳稻育种	358
第一节 高产育种历史与技术基础	358
第二节 株型模式及塑造	360
第三节 育种策略及技术要点	367
第四节 育种成效与应用	373
参考文献	375
第十五章 东北稻区超级杂交粳稻育种	377
第一节 高产育种历史与技术基础	377
第二节 株型模式及塑造	379
第三节 育种策略及技术要点	381
第四节 育种成效与应用	392
参考文献	398
第十六章 中国超级稻育种展望	400
第一节 粮食安全与超级稻育种	400
第二节 新基因的发掘与育种材料创新	401
第三节 株型概念的拓展与根系育种	405
第四节 分子生物学技术的应用	407
第五节 超级稻栽培技术的发展	409
参考文献	409
附录	412
2005 年农业部确认的超级稻品种及其配套技术	412
2006 年农业部确认的超级稻品种及其配套技术	448
2007 年农业部确认的超级稻品种及其配套技术	470
2009 年农业部确认的超级稻品种及其配套技术	483
图版	

第一章 水稻产量潜力及其限制因素

“民以食为天”，提高粮食综合生产能力是我国长期的战略任务。在我国，水稻总产密切关系到粮食总产，提高水稻产量对保障我国粮食安全具有重要意义。近年来，随着种植结构调整和社会经济的发展，我国水稻播种面积年均减少约 27 万 hm^2 （400 万亩）。因此，只有提高水稻单位面积产量，才能有效保障我国的粮食供给。本章从水稻产量潜力的概念与估算方法出发，对全球和我国水稻生产进行分析，以明确水稻生产限制因子，提出提高水稻现实产量的途径。

第一节 水稻的产量潜力

一、水稻产量潜力的概念与估算方法

水稻产量潜力是指水稻高产品种在最适宜生产环境和最理想的栽培条件下，水稻所需的各种营养能够供应充分，并假定不受水分、盐碱及病虫害等因素限制时，所能获得的最高产量。

水稻产量潜力广泛应用于评价新品种选育的进展，分析育种和栽培技术进步对水稻产量提高的相对贡献，通过评价提高产量潜力的生物学机理确定进一步提高产量的可能性和指导品种的选育。不过，水稻产量潜力的定义很多，因含义不同其估算的方法也有多种。

水稻产量潜力估算方法主要包括根据光能利用率和模拟模型计算的方法。根据光能利用率的计算方法是指水稻在理想条件下光合作用所利用的光合有效辐射（photosynthetically active radiation, PAR）所形成的净干物质生产能量占太阳总辐射量的百分比，水稻目前高产品种可实现的理想最高光能利用率为 3%~5%。

根据各种产量潜力的定义及其估算方法，水稻产量潜力及产量水平可分为理论产量、最高可获得产量、农民可获得产量和现实产量。在实际分析和应用中，理论产量、最高可获得产量、农民可获得产量均可视为产量潜力的不同水平。

（一）理论产量

理论产量是在没有病虫草害和非生物逆境影响，以及肥水充足供应的理想条件下，根据水稻光合生产力计算出的水稻产量。理论产量由水稻品种和生态环境因子确定，不同生态地区理论产量不同。估算理论产量的方法主要有两种：一种是根据光能利用率计算；另一种是利用水稻模拟模型计算。

根据光能利用率计算理论产量，计算时主要考虑以下几个方面的因素：水稻生长季太阳总辐射量，光合有效辐射的比例，水稻群体的反射、透射、漏光和光饱和及呼吸消耗等损失比例，叶片光合作用的光能转化率，有机物质含量以及经济系数等。采用不同

的计算方法及地区差异，通过光能利用率算得的水稻产量潜力差异很大（卢刘义次，1979；卢其尧，1980；刘振业和刘贞琦，1984；高亮之等，1984）。卢其尧（1980）利用光能利用率计算得到的南方稻区单季稻产量为 20.625~26.250 t/hm²，北方稻区单季稻产量为 22.500~26.250 t/hm²。高亮之等（1984）计算了我国各个稻区单季稻和连作稻的光合生产力，结果如下：单季稻产量，东北稻区 18.750~22.500 t/hm²，西北稻区 19.500~26.625 t/hm²，华北稻区 18.750~24.000 t/hm²，长江中下游稻区 18.750~21.000 t/hm²，西南稻区 16.125~21.000 t/hm²。连作稻产量，华中稻区 15.375~16.875 t/hm²，华南稻区 16.875~18.375 t/hm²。

通过模拟模型方法计算理论产量，因模型结构和品种参数不同计算获得的理论产量差异较大。从目前模拟模型计算的水稻产量看，国际水稻研究所与荷兰瓦赫宁根大学联合研制的 ORYZA 系列模型估算的水稻理论产量比较切合实际。它可以较好地模拟水稻潜在生产水平、水分限制和氮素限制生产水平下的稻谷产量。例如，薛昌颖等（2007）利用 ORYZA2000 模型分析北京地区早稻产量潜力结果表明，早稻 297 在北京地区尚有 3000 kg/hm² 的产量可供挖掘。

(二) 最高可获得产量

最高可获得产量，是在基本没有病虫害危害，也没有非生物逆境影响，肥水供应充足的条件下获得的水稻产量。最高可获得产量是在高产试验条件下，或在专家指导下高产示范获得的水稻产量。这种产量主要由水稻品种和生态环境决定，不同地区最高可获得产量不同。近年来，随着我国新育成的水稻品种产量水平提高以及栽培技术的改进，各地出现了不少水稻高产纪录（表 1.1）。

表 1.1 我国各地水稻最高可获得产量

稻区	稻作类型	地点	品种	产量/(kg/hm ²)
长江中下游	早稻	浙江省江山市	中早 22	9 800
	单季稻	浙江省新昌县	协优 9308	11 835
	晚稻	浙江省乐清市	协优 9308	10 815
华南	早稻	广东省兴宁市	天优 998	11 274
	晚稻	广东省兴宁市	天优 998	9 948
西南	单季稻	四川省西昌市	Ⅱ优 162	12 000
东北	单季稻	吉林省前郭县	吉粳 88	10 530
	单季稻	辽宁省盘锦市	沈农 265	12 000
	单季稻	黑龙江农垦总局红星隆分局 579 农场	空育 131	11 655

(三) 农民可获得产量和现实产量

农民可获得产量是指在某一生态区，稻农选用适宜的品种，采用适宜的水稻生产技术可实现的水稻产量。这种产量也可以在品种区试中得到。

现实产量是某一地区稻农获得的水稻平均产量，也即统计产量。

农民可获得产量与现实产量间总是存在一定的差距。全球部分产稻国的农民可获得水稻产量与现实产量如表 1.2 所示。

表 1.2 部分产稻国家农民可获得水稻产量与现实产量的差距

国家	农民可获得产量 /(t/hm ²)	现实产量 /(t/hm ²)	产量差距 /(t/hm ²)
印度（北部地区）	6.8	4.0	2.8
韩国	7.6	7.0	0.6
菲律宾	7.5	5.5	2.0
越南	8.5	6.5	2.0
埃及	10.4	8.5	1.9
马达加斯加	6.0	4.1	1.9
意大利	9.0	6.0	3.0
巴西（加得利那）	8.5	5.5	3.0

资料来源：www. rice2004. org。

二、我国各稻区的产量潜力

水稻产量潜力可直接反映当地水稻生产总体水平，因而一直得到水稻专家们的关注。高亮之等（1984）运用气候生态系统的观点研究水稻光温资源与生产力的关系，对我国各稻区水稻产量潜力进行了估算分析（表 1.3）。我国西北单季稻区水稻理论产量最高，可达 19.500~26.625 t/hm²，北方稻区在光能利用上虽然因生长季短，水稻光合辐射总量较少，但光照足，水稻光合辐射强度高，水稻产量潜力较高。南方稻区水稻生长季节长，水稻总光合辐射总量多，但光合辐射强度低，水稻产量潜力的提高依靠较长的光合时间。

表 1.3 我国各稻区产量潜力

稻区	稻作类型	现实产量/(t/hm ²)	可获得产量/(t/hm ²)	理论产量/(t/hm ²)
东北	单季稻	6.660	10.125~12.000	18.750~22.500
西北	单季稻	6.712	10.500~14.250	19.500~26.625
华北	单季稻	6.309	10.125~12.750	18.750~24.000
华中	早稻		8.625~9.375	10.750~11.750
	晚稻	6.704	8.250~9.000	15.375~16.875
	单季稻		10.500~11.250	19.500~21.000
西南	早稻		8.250~9.000	15.375~16.875
	晚稻	5.911	7.875~8.625	15.000~16.125
	单季稻		8.625~11.250	16.125~21.000
华南	早稻		9.000~9.750	16.875~18.375
	晚稻	5.129	9.000~9.750	16.875~18.375
	单季稻		10.500~11.250	19.500~21.000

资料来源：高亮之等，1984。

三、我国水稻生产产量与产量潜力的差距及其原因分析

近年来，通过水稻超高产育种计划的启动，我国培育了不少超级稻品种，使水稻品种的产量可达到 10.5 t/hm² 以上。然而，新品种、新技术的增产潜力与农民实际产量存在较大的差距。以我国南方稻区早、中、晚稻水稻品种产量表现为例（表 1.4），水稻主要品种在农民稻田种植平均单产为 5.16~7.11 t/hm²，新品种区试产量为 7.35~

8.93 t/hm²，比农民产量高 25.6%~44.2%，新品种在专家指导下的良种良法高产示范方产量为 10.80~13.00 t/hm²，比农民产量高 82.8%~109.3%。造成农民产量与示范方产量差异大的主要原因是品种与栽培技术不配套，不同生产技术间互补性不强，技术到位率不高。水稻生产中水稻品种数量多、更新快，农民对新品种栽培特性不熟悉，新品种的增产潜力得不到充分发挥。此外，在现实生产中水稻单项栽培技术很多，但各项技术间互补性不强，多项技术一起使用，增产效果与单项技术相比差异不大，且增加投入。因此，在生产中，应该注重良种良法配套，降低水稻生产成本，提高生产效益，实现水稻可持续高产。

表 1.4 我国南方稻区不同季节水稻高产潜力

水稻类型	农民产量/(t/hm ²)	区试产量/(t/hm ²)	示范产量/(t/hm ²)
早稻	5.16	7.44	10.80
中稻	7.11	8.93	13.00
晚稻	5.37	7.35	11.11

第二节 世界水稻生产概况

一、全球水稻种植面积、单位面积产量与总产的变化

20 世纪 60 年代以来，以矮秆品种推广、灌溉设施改善和化肥广泛应用为核心的绿色革命，使水稻单产和总产增长较快。60~80 年代，水稻总产年均增长率为 3.3%，高于人口年均增长率 2.0%，而进入 21 世纪后，水稻总产年均增长率仅为 0.8%，低于人口年均增长率（表 1.5）。根据联合国粮农组织（FAO）估计，以 2006 年全球水稻总产量为基数，到 2020 年全球水稻需求量将增长 19%，2006~2020 年全球水稻总产量每年必须增长 1.36%才能满足人口增长对稻米的需求。

表 1.5 不同时期全球水稻总产增长率及主要技术

年代	总产增长率/%	人口增长率/%	水稻核心技术
20 世纪 60 年代	4.08	2.09	水稻矮秆品种及其配套栽培技术
20 世纪 70 年代	2.52	1.98	水稻矮秆品种及其配套栽培技术，灌溉条件改善，化肥应用
20 世纪 80 年代	3.24	1.81	杂交稻及其配套栽培技术
20 世纪 90 年代	1.75	2.30	新株型育种
2000~2007 年	0.80	1.25	新株型育种

2006 年，全球水稻种植面积为 1.53 亿 hm²，单产 4.13 t/hm²，总产达到 6.31 亿 t。与 1961 年相比较，种植面积扩增 32%，年均增长 0.61%；单产提高 121%，年均增长 1.82%；总产增加 192%，年均增长 2.46%。在过去 45 年中，水稻总产的提高主要依靠水稻单产的提高，总产增加的 27%来自面积扩大，73%来自单产的提高（图 1.1）。

（一）种植面积下降

在亚洲，由于城市化和工业化的发展，拓展水稻面积已十分困难。在中国，随着农业结构的调整，经济作物用地与水稻生产竞争，水稻面积日益减少。在非洲和拉丁美

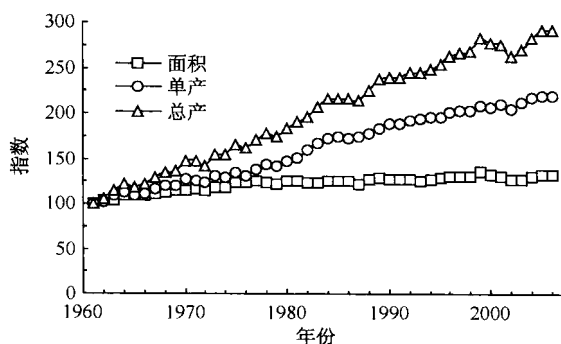


图 1.1 全球水稻种植面积、单产与总产的变化
以 1961 年的指数为 100 计。

洲，虽然存在大量适宜水稻种植的土地，但发展成为稻田的成本较高，限制了稻田的发展。

增加多熟种植的稻田面积由于受到多个因子的限制也非常困难。例如，由于城市和工业发展对水资源的竞争，有些国家已经开始通过限制水稻种植面积来减少对水资源的消耗。灌溉设施建设和修复的投入减少，使得水稻种植面积的扩大难度增大。20 世纪 60 年代以来，在灌溉设施方面的投入减少了 60%。另外，稻农为获得更大的经济利益，从单一的水稻生产发展为种植作物类型多样化。

20 世纪八九十年代，全球水稻种植面积的年增长率已从 60 年代的 1.5% 下降到 0.3%~0.5%，2000 年以来水稻种植面积出现下降现象（图 1.2）。

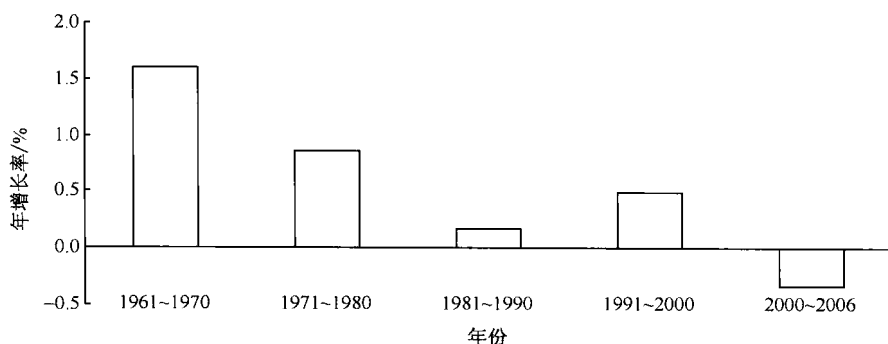


图 1.2 不同时期全球水稻面积增长率

（二）单产增幅变小

1961~2006 年，水稻单产年均增长率为 1.82%，显著高于种植面积年均增长率。因此，水稻总产增加主要来自单产的提高。然而，20 世纪 90 年代以来水稻单产年增长率迅速下降。60 年代、70 年代和 80 年代水稻单产年增长率分别为 2.76%、1.46% 和 2.58%，而 90 年代仅为 0.98%，2000 年以后略有提高，为 1.16%（图 1.3）。但是，如果考虑到近年来水稻种植制度从双季稻改单季稻，近些年的水稻单产增幅更小。

20 世纪 60~90 年代水稻单产的较高增幅主要是由于灌溉条件的改善、化肥的应用和矮秆品种及其配套栽培技术的推广应用。

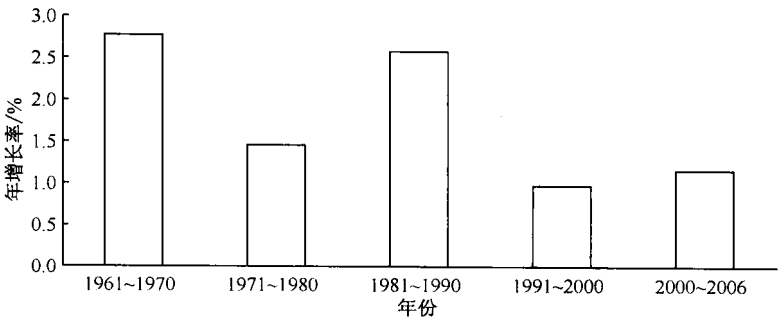


图 1.3 不同时期全球水稻单产增长率

(三) 总产增幅萎缩

水稻总产年增产率自 20 世纪 60 年代以来逐渐下降。60 年代、70 年代和 80 年代水稻总产平均年增长率分别为 4.41%、2.39%和 2.73% (图 1.4)，而 90 年代为 1.48%，2000 年以来年均增长率仅为 0.88%。水稻总产增长，80 年代主要有种植面积增长的因素。

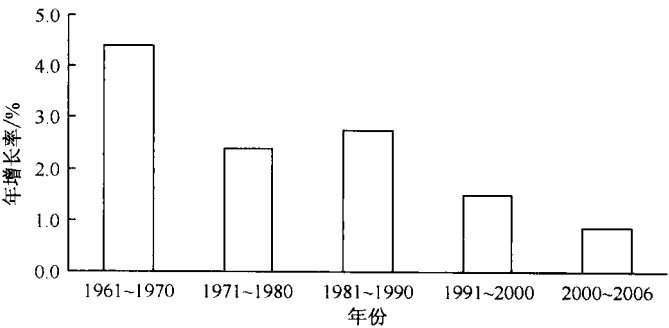


图 1.4 不同时期全球水稻总产增长率

二、全球水稻生产分布

亚洲占全球水稻总种植面积的 89%和总产量的 91%，非洲和南美洲种植面积分别占全球 6.0%和 3.1%，总产分别占 3.6%和 3.3%，北美和中美洲种植面积及总产分别占全球 1.2%和 1.8%，欧洲和大洋洲水稻种植面积和总产量均很少，种植面积合计不足全球 0.4%，总产合计不足全球 0.5%。但欧洲和大洋洲单产较高 (表 1.6)。

全球前 10 个主要产稻国面积、单产和总产如表 1.7 所示。全球前 10 个主要产稻国水稻种植面积和总产量分别占全球水稻面积和总产量的 83.8%和 86.3%，平均单产为 4.38 t/hm²，高于全球平均单产。这 10 个主要产稻国的水稻生产对全球水稻生产的发展，种植面积和总产量的稳定，单位面积产量的提高具有重要的作用。

表 1.6 2007 年全球各洲水稻单产、种植面积和总产比例

地区	占全球面积/%	单产/(t/hm ²)	占全球总产/%
世界	100.0	4.15	100.0
北美和中美洲	1.2	6.27	1.8
大洋洲	0.0	6.72	0.0
非洲	6.0	2.50	3.6
南美洲	3.1	4.45	3.3
欧洲	0.4	5.77	0.5
亚洲	89.3	4.21	90.8

表 1.7 2007 年全球前 10 个主要产稻国面积、单产和总产量

国家	单产/(t/hm ²)	种植面积		总产量	
		/万 hm ²	/%	/万 t	/%
中国	6.35	2 923	18.7	18 550	28.5
印度	3.21	4 400	28.1	14 110	21.7
印度尼西亚	4.69	1 217	7.8	5 700	8.8
孟加拉国	3.88	1 120	7.1	4 350	6.7
越南	4.87	731	4.7	3 560	5.5
缅甸	3.98	820	5.2	3 260	5.0
泰国	2.69	1 036	6.6	2 790	4.3
菲律宾	3.76	425	2.7	1 600	2.5
巴西	3.82	290	1.9	1 110	1.7
日本	6.54	168	1.1	1 100	1.7
合计	4.38	13 130	83.8	56 130	86.3
全球	4.15	15 669	100.0	65 020	100.0

注：种植面积和总产量的百分率指各国占全球面积和总产量的百分率。

全球水稻种植面积以印度最大，中国次之，印度和中国水稻种植面积分别占全球水稻种植面积的 28.1%和 18.7%。但水稻总产量以中国最高，印度第二，中国和印度的水稻总产量分别占全球水稻总产量的 28.5%和 21.7%。在全球前 10 个主要产稻国中，水稻单产最高的为日本，其次为中国，日本和中国水稻单产分别达到 6.54 t/hm² 和 6.35 t/hm²，其他国家的单产均在 5 t/hm² 以下（表 1.7）。

三、各国水稻单产水平

根据 2007 年资料，不同地区水稻产量差异很大。各洲水稻单产，以大洋洲最高，达 6.72 t/hm²；其次为北美和中美洲，为 6.27 t/hm²；欧洲平均单产为 5.77 t/hm²；亚洲和南美洲单产几乎相当，在 4 t/hm² 左右；非洲的单产最低，仅为 2.50 t/hm²。

各地区的水稻单产与水稻生态系统、光温水条件、生育期和技术水平等因素有关。亚洲和南美地区存在较大面积的天水稻和旱稻，其产量低于灌溉稻。非洲水资源不足严重限制水稻单产的提高。而大洋洲、北美和中美洲及欧洲地区几乎均为灌溉稻，水稻生长季节光照辐射充足，产量较高。

全球各国水稻单产差异极大，从 0.76 t/hm² 到 9.97 t/hm²，相差 13 倍。全球 68 个主要产稻国中，埃及、澳大利亚、土耳其、美国、希腊和秘鲁 6 个国家水稻单产在