

# 超级杂交中稻

节氮丰产栽培原理及关键技术研究

龙继锐 李建武◎著



CSPK 湖南科学技术出版社

# 超级杂交中稻

## 节氮丰产栽培原理及关键技术研究

龙继锐 李建武◎著

CS | K 湖南科学技术出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

超级杂交中稻节氮丰产栽培原理及关键技术研究 / 龙继锐, 李建武著. — 长沙: 湖南科学技术出版社, 2022. 1

ISBN 978-7-5710-1022-5

I. ①超… II. ①龙…②李… III. ①杂交—中稻—水稻栽培—高产栽培—研究 IV. ①S511.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第116199号

## CHAOJI ZAJIAOZHONGDAO JIEDAN FENGCHAN ZAIPEI YUANLI JI GUANJIANJISHU YANJIU 超级杂交中稻节氮丰产栽培原理及关键技术研究

著 者: 龙继锐 李建武

出 版 人: 潘晓山

责任编辑: 王 斌

出版发行: 湖南科学技术出版社

社 址: 长沙市湘雅路276号

<http://www.hnstp.com>

湖南科学技术出版社天猫旗舰店网址:

<http://hnkjcs.tmall.com>

印 刷: 湖南省众鑫印务有限公司

(印装质量问题请直接与原厂联系)

厂 址: 湖南省长沙市长沙县榔梨街道保家村

邮 编: 410129

版 次: 2022年1月第1版

印 次: 2022年1月第1次印刷

开 本: 710mm×1000mm 1/16

印 张: 10.75

字 数: 170千字

书 号: ISBN 978-7-5710-1022-5

定 价: 68.00元

(版权所有·翻印必究)

## 前 言

中国是世界上最大的水稻生产国，无论种植面积，还是总产量均居世界第一位。近年来，随人口的不断增长和人民生活水平的逐步提高，粮食需求量不断增加，粮食安全问题越来越受到各国政府和有关科技人员的广泛关注和重视。提高水稻总产量有两条途径：一是依靠扩大种植面积；二是依靠提高单位面积产量。超级杂交水稻培育成功为我国甚至全世界粮食安全带来了新希望，必将成为解决人口与粮食矛盾的主要途径之一。从扩大水稻种植面积看，一方面，随工业化和城镇化的不断发展，我国耕地面积正逐渐减少；另一方面，目前我国水稻种植面积在 3100 万  $\text{hm}^2$  左右，已经基本达到顶峰，很难依靠扩大水稻种植来提高产量。近 20 年，世界各国在化肥（主要是氮化肥）生产和使用中，几乎同时出现一种现象，即施肥量迅猛增加，但粮食产量却没有相应增加。不仅如此，由于化肥的过量施用，以及不科学施肥、盲目施肥，造成大量营养素的浪费，降低了肥料利用效率，增加了生产成本，严重影响了水稻生产效益。同时，由于种植水稻效益一直较低，农民种稻积极性也不高，加上农村劳动力不断向加工业、服务业等非农业转移，水稻种植面积将不容乐观。因此，提高单产将是我国唯一提高水稻总产量的途径。

21 世纪，中国和世界一样面临资源的过度消耗、土地退化、水土流失、荒漠化、生物种类锐减等生存危机。近年世界上出现石油、天然气、煤、电等资源紧张，物价上扬，在某种程度上已经初步显示了可持续发展与资源短缺的矛盾。同时，我国的基本国情决定了农业生产的发展必须走高产与可持续发展的道路，即提高单位面积产量必须高效利用资源，保护环境，使经济、社会和生态环境三个效益协调发展。在确保粮食数量稳步增长的同时，实现粮食生产由

资源消耗型向资源高效型方向转变，是我国政府和科学家们高度关注的重大课题，也是所有涉农工作者的重要任务。

针对我国超级杂交稻广泛应用面临的资源、环境等严峻形势，我们试图以超级杂交稻推广应用面积最广、产量潜力最大的一季中稻为研究对象，以提高氮肥利用效率为切入点，从超级杂交稻基因挖潜、物化技术、土肥水管理等多方面出发，综合组装品种、肥料、水肥管理等农艺技术措施，在充分发挥超级杂交稻超高产潜力的同时，将氮肥用量降到最低水平；探讨不同幅度减少施氮量条件下超级杂交稻生长发育营养、产量形成和氮素利用差异，以及不同条件下植株生长发育、衰老、氮碳代谢、光合、结实生理生化特性，以期探明超级杂交稻节氮栽培生理生化机制基础，为超级杂交稻产业快速、健康发展保驾护航，实现节能降耗、环境友好下的经济效益、社会效益和生态效益的“三位一体”。

# 目 录

第一章 绪 论	1
1 超级杂交稻概念	1
2 水稻与氮素营养	2
2.1 氮素的生理作用	2
2.2 水稻吸收氮素营养特点	3
2.3 氮素与水稻产量形成	3
3 氮素利用效率及评价指标	4
3.1 氮素利用效率概念与研究方法	4
3.2 氮素利用效率的评价指标	4
4 我国水稻生产上氮肥使用及利用情况	5
4.1 我国水稻上氮肥投入概况	5
4.2 我国水稻对氮肥吸收利用情况	7
5 稻田氮肥损失途径及机制研究	7
5.1 氨挥发损失	7
5.2 硝化-反硝化损失	8
5.3 氮素淋洗损失	9
5.4 径流损失	9
5.5 作物自身的氮素挥发损失	9
6 提高氮肥利用率的方法研究进展	10
6.1 施肥方法	10
6.2 新型肥料的研制	11

6.3	应用施肥模型指导水稻施肥 .....	11
6.4	生物工程 .....	12
7	超级杂交稻生产上存在的主要问题 .....	12
8	超级杂交稻节氮栽培技术研究 .....	14
8.1	超级杂交稻节氮栽培的概念 .....	14
8.2	超级杂交稻节氮栽培的可行性 .....	14
8.3	节氮栽培技术研究 .....	15
<b>第二章 湖南省水稻生产与氮肥施用状况及超级杂交中稻节氮栽培实践</b> .....		17
1	湖南省一季中稻平均单产量水平与品种潜力差 .....	18
2	水稻生产上氮肥施用水平与节氮潜力 .....	20
2.1	一季中稻施肥现状 .....	20
2.2	不同产量水平的超级杂交中稻产量及氮肥施用 .....	22
3	一季中稻田生态系统的土壤肥力变化特征 .....	23
4	水稻生产上施氮量过高原因及节氮途径 .....	24
4.1	水稻生产上施氮量过高的原因 .....	24
4.2	节氮高效栽培的主要途径 .....	25
5	超级杂交中稻节氮栽培实践 .....	25
5.1	腐殖酸类有机肥节氮栽培效果 .....	25
5.2	“低氮适磷钾专用肥”平衡施肥节氮效果研究 .....	25
6	问题与展望 .....	27
6.1	关于超级杂交稻超高产栽培 .....	27
6.2	关于节氮栽培的节氮基准 .....	28
6.3	关于提高作物的养分资源利用效率 .....	28
<b>第三章 不同基因型超级杂交中稻氮吸收利用差异比较与评价</b> .....		29
1	试验材料与方法 .....	30
1.1	材料和地点 .....	30
1.2	试验设计和方法 .....	30

---

1.3 测定项目和方法 .....	32
2 结果与分析 .....	33
2.1 不同基因型品种产量和主要产量结构差异 .....	33
2.2 不同基因型品种氮素积累量的差异 .....	35
2.3 不同基因型品种氮素吸收利用差异 .....	37
2.4 不同基因型超级杂交中稻的氮响应度差异 .....	40
2.5 不同基因型超级杂交中稻的氮效率分类与评价 .....	41
3 结论与讨论 .....	42
3.1 关于不同基因型氮利用效率差异 .....	42
3.2 关于氮高效利用基因型的划分 .....	44
3.3 关于施氮量与氮素利用效率 .....	45
3.4 关于其他氮效率评价 .....	45
<b>第四章 不同肥料品种的氮素利用效率差异评价与筛选</b> .....	<b>47</b>
1 试验材料与方法 .....	48
1.1 材料与地点 .....	48
1.2 试验设计与方法 .....	48
1.3 测定项目与方法 .....	49
2 结果与分析 .....	50
2.1 不同肥料处理对超级杂交中稻产量和产量构成的影响 .....	50
2.2 不同肥料处理超级杂交中稻群体生长差异 .....	52
2.3 不同肥料处理对超级杂交中稻干物质生产与转运的影响 .....	58
2.4 不同肥料处理对超级杂交中稻生理生化指标的影响 .....	60
2.5 不同肥料处理对超级杂交中稻氮吸收和氮肥利用效率的影响 .....	65
3 结论与讨论 .....	68
3.1 缓释肥料对水稻产量的影响 .....	68
3.2 缓释肥料对水稻源库特征的影响 .....	68
3.3 缓释肥料对水稻干物质生产的影响 .....	69
3.4 肥料种类对水稻生理生化特性的影响 .....	70

3.5	肥料种类对氮素利用效率的影响 .....	70
<b>第五章</b>	<b>节氮栽培的群体发育、产量形成、氮肥吸收利用和土壤环境效应</b> ...	<b>72</b>
1	试验材料与方法 .....	72
1.1	材料和地点 .....	72
1.2	试验设计和田间管理 .....	73
1.3	测定项目和方法 .....	73
2	结果与分析 .....	75
2.1	节氮对超级杂交中稻生长发育进程的影响 .....	75
2.2	节氮对超级杂交中稻分蘖发生和成穗效率的影响 .....	76
2.3	节氮对群体叶面积指数 (LAI) 及粒叶比的影响 .....	80
2.4	节氮对超级杂交中稻物质生产能力的影响 .....	81
2.5	节氮对超级杂交中稻产量及综合性状的影响 .....	85
2.6	节氮栽培对超级杂交中稻养分吸收利用的影响 .....	90
3	结论与讨论 .....	99
3.1	节氮栽培的最佳施氮量 .....	99
3.2	节氮栽培对水稻群体质量的影响 .....	100
3.3	节氮对水稻群体生长和物质生产的影响 .....	101
3.4	节氮栽培对水稻库源结构及农艺性状的影响 .....	101
3.5	节氮对水稻 100 kg 籽粒需氮量的影响 .....	102
3.6	节氮栽培对植株养分吸收和土壤环境的影响 .....	102
3.7	节氮栽培对肥料利用效率的影响 .....	103
<b>第六章</b>	<b>超级杂交中稻节氮栽培生理生化特性</b> .....	<b>104</b>
1	试验设计 .....	104
1.1	试验材料和方法 .....	104
1.2	试验设计 .....	104
1.3	测定项目和方法 .....	105
2	结果与分析 .....	106

---

2.1	节氮栽培对超级杂交中稻叶片叶绿素含量的影响 .....	106
2.2	节氮栽培对超级杂交中稻根系活力的影响 .....	108
2.3	节氮栽培对超级杂交中稻叶片酶活性的影响 .....	108
2.4	节氮栽培对超级杂交稻剑叶光合作用气体交换参数的影响 .....	111
2.5	节氮栽培对超级杂交中稻叶片叶绿素荧光动力参数的影响 .....	112
3	结论与讨论 .....	120
3.1	节氮对叶绿素的光合效率影响 .....	120
3.2	节氮对水稻根系活力的影响 .....	120
3.3	节氮对叶片酶活性的影响 .....	121
3.4	关于叶绿素荧光动力参数与光合作用 .....	123
<b>第七章</b>	<b>超级杂交中稻节氮高效栽培关键技术研究</b> .....	<b>125</b>
1	材料与方法 .....	125
1.1	超级杂交稻节氮栽培最佳节氮量及氮、磷、钾配比模式研究 .....	125
1.2	超级杂交稻节氮栽培施氮量与密度搭配模式研究 .....	127
1.3	数据处理与分析 .....	128
2	结果与分析 .....	128
2.1	超级杂交稻节氮栽培最佳节氮量及氮、磷、钾配比模式 .....	128
2.2	超级杂交稻节氮栽培施氮量与移栽密度搭配模式 .....	134
3	结论与讨论 .....	139
3.1	节氮栽培最佳节氮量及氮、磷、钾配比模式 .....	139
3.2	节氮栽培施氮量与移栽密度搭配模式 .....	140
<b>第八章</b>	<b>超级杂交中稻“四良”配套技术体系研究</b> .....	<b>142</b>
1	材料与方法 .....	142
1.1	供试材料 .....	142
1.2	主要实验仪器 .....	143
1.3	田间设计 .....	143
1.4	测定项目与方法 .....	143

1.5	数据分析 .....	144
2	结果与分析 .....	144
2.1	超级稻良种 Y 两优 900 形态特征 .....	144
2.2	产量及其构成因素 .....	147
2.3	土壤特征特性 .....	148
2.4	气候生态因素 .....	149
3	结论与讨论 .....	150
3.1	关于超级稻全生育期动态理想株型的讨论 .....	150
3.2	关于单产超 15 t/hm <sup>2</sup> 的“四良”配套技术参数讨论 .....	151
<b>第九章</b>	<b>超级杂交稻 Y 两优 900 超高产技术 .....</b>	<b>152</b>
1	材料与方法 .....	153
1.1	供试材料 .....	153
1.2	主要实验仪器 .....	153
1.3	田间设计 .....	153
1.4	测定项目与方法 .....	153
1.5	数据分析 .....	153
2	结果与分析 .....	153
2.1	产量及产量结构 .....	153
2.2	产量与其构成因素之间的相关性 .....	154
3	结论与讨论 .....	154
3.1	产量及产量结构 .....	154
3.2	关于超级稻穗粒结构发展趋势 .....	155
	参考文献 .....	158
	后记 .....	161

# 第一章 绪论

## 1 超级杂交稻概念

20 世纪 80 年代, 由于工业化和城市化的发展, 全球耕地面积减少、气候环境的恶化, 自然灾害频繁发生, 水稻生产上由于缺水干旱、冷害和盐碱化、病虫害危害, 加上育种与栽培技术上没有重大突破等原因, 水稻产量一直徘徊不前, 尽管从籼粳杂交常规育种、株型改良和优势利用等途径培育出不少高产品种, 但未能从根本上提高水稻产量潜力。为打破这一僵局, 世界各国开始重视“超高产”水稻品种选育, 1981 年日本率先开始实施“超高产水稻开发及栽培技术的确立”项目研究(也称“逆 753 计划”), 其超高产水稻的指标是单位面积产量超过对照品种秋光 50%。1989 年, 国际水稻研究所首次提出培育超级水稻(Super Rice, 后改称新株型稻), 其育种理论的量化设计为: 低分蘖力, 直播时每株 3 ~ 4 穗; 没有无效分蘖, 每穗 200 ~ 250 粒, 株高 90 ~ 100 cm, 茎秆粗壮, 根系活力强; 病虫害综合抗性好, 生育期 110 ~ 130 天, 收获指数 0.6; 产量潜力 13 ~ 15 t/hm<sup>2</sup>。此后, “超级杂交稻”这一名称也在各主要水稻大国竞相问世, 提出并实施自己的“超级稻计划”。韩国(1990 年初)、美国、巴拿马(20 世纪末)等产稻国也先后制订了“超级稻”育种研究计划, 并投入大量人力和物力实施, 但这些国家至今都没有育成超级杂交稻。中国 1996 年起实施“中国超级稻育种项目”, 农业农村部超级稻超高产的指标是大面积种植每公顷产稻谷 9 ~ 10.5 t, 我国到 20 世纪末即取得了重大进展, 在“超级杂交稻”品种选育方面有了重大突破, 育成了一批可供生产上面积推广应用的超高产超

级稻品种。

尽管超级稻已有近 20 年研究历史，但就其概念而言，迄今仍然没有一个标准统一的严格定义。以前“超级稻”（super rice）也被称为“超高产水稻”，有人将其定义为：产量潜力比现有高产品种或杂交稻提高 15% ~ 20%，绝对产量 12 ~ 15 t/hm<sup>2</sup>。进入 21 世纪，在新的历史时期，科学家们给它赋予了一些新的科学的内涵。谢华安认为：超级稻除了具备超高产外，还应该是高产、优质、抗性与广适性的有机结合。陈友订认为从广义上看，超级稻品种就是各个主要性状均显著超越现有主栽品种；在狭义上，超级稻就是比现有品种产量有大幅度提高（大面积增产 15%），同时兼顾品质与抗性的新型水稻品种。袁隆平院士认为：株型在超级杂交稻育种中有重要作用，并提出了选育超级杂交籼稻的株型指标：株高 100 cm，上部三叶长、直、窄、厚，呈“V”字型，剑叶长 50 cm，高出穗层 20 cm，即“高灌层矮穗层”。同时，他根据中国现有水稻生产与科技水平，建议我国“九五”到“十五”期间，超高产杂交水稻的育种指标是：每公顷每日的稻谷产量为 100 kg，米质要求达到部颁二级以上优质米标准，并且抗两种以上主要病虫害。这种提法兼顾了品种生育期，同时兼顾品质和抗性，因此更具科学性。综合前人观点，作者认为，超级杂交稻是一个动态概念，可以概括为根据特定的生态环境，利用各种育种技术，按照预定的理想株型模式选育而成的抗性和米质等主要农艺性状优于（或相仿于）对照品种、产量潜力有大幅度提高的新品种（组合）。

## 2 水稻与氮素营养

### 2.1 氮素的生理作用

氮是水稻体内许多重要含氮化合物—蛋白质和核酸、磷脂的组成成分。这三者是原生质、细胞核和生物膜的重要组成部分，它们在生命活动中占有特殊作用。因此，氮又被称为生命元素。水稻生长发育的所有酶以及许多辅酶和辅基如 NAD<sup>+</sup>、NADP<sup>+</sup>、FAD 等的构成也都有氮参与。氮又是某些植物激素如生长素和细胞分裂素、维生素如 B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、B<sub>6</sub>、PP 等的重要成分，它们对生命活动起重要的调节作用。氮也是叶绿素的成分之一，与光合作用有密切关系，此类氮大致可分为两类，以 RuBP 羧化酶为主的可溶性蛋白，及由其他卡尔文循

环的叶绿体酶、线粒体和过氧化酶体的光呼吸酶、碳酸酐酶和核糖体构成的剩余的叶片可溶性蛋白。大多学者都认为，光照充足时，叶片的氮含量与光合能力成正相关；低光照下，尽管氮含量上升，光合增量依然很微弱。氮含量高还和植株体内水分的平衡有关。氮素还影响植株的呼吸作用，水稻吸收、转化氮素是一个耗能的生理过程，植物直接吸收、利用铵态氮，可以减少能量消耗，因为每还原一个硝态氮分子，大约消耗 15 个 ATP 分子。氮素还能影响植株对其他矿质元素的吸收，有研究表明，铵态氮营养降低阳离子的吸收，促进无机阴离子的吸收，而硝态氮营养则相反。氮素还能影响植株生长发育形态，当土壤中氮缺乏时会刺激植物根的生长，扩大营养吸收范围同时也增加了水资源利用的空间，当土壤的可利用氮较丰富，尤其是根际附近的氮有效性高时，会改变植物生长的形态，如出现叶片披垂等。

## 2.2 水稻吸收氮素营养特点

水稻主要通过根系吸收氮素营养，根系从土壤中吸收的氮素形态主要是无机态中的硝酸离子和铵离子，某些可溶性有机态含氮物如氨基酸、酰胺、尿素也可吸收，但数量有限，其重要性不及铵离子、硝酸离子。氮素进入植株体内一般经历 3 个过程：吸收，通过吸收将周围环境的氮吸入植物；转移（运输），将无机态氮在植物体内进行分配；同化，将无机态氮转换成有机态氮。水稻对氮素的吸收有明显阶段性。水稻吸收的氮素主要在生长中期，占水稻全生育期吸收氮素的 1/2 以上，抽穗后也能吸收一定量的氮素。水稻品种类型不同吸收氮素的量和最大吸收时期也有差异，有研究表明，双季早稻只有一个吸氮高峰，而双季晚稻则发现有两个吸收高峰。

水稻植株体内氮素移动性很大，植株体内缺氮时，老叶中的氮化物分解后可运到幼嫩组织中去重复利用，所以缺氮时叶片发黄由下部叶片开始逐渐向上。氮素过多，水稻无效分蘖增多，营养生长延长，贪青晚熟。同时，还引起植株体内含糖量相对不足，导致茎秆中的机械组织不发达，易倒伏和被病虫害侵害。

## 2.3 氮素与水稻产量形成

氮素显著影响水稻的生长和产量形成。大量的研究指出，增施氮肥有利于提高叶面积指数，但结实率和千粒重下降。在适宜的总施氮量的情况下，增加中后期氮肥的比例，能提高水稻群体源库质量，提高群体成穗率，改善抽穗期

叶面积组成,提高颖花量和粒叶比,因此抽穗后群体光合势和净同化率高,结实率和千粒重进而提高。Yoshida 等研究表明,水稻叶片长度、宽度和叶面积随氮水平提高相应增加,并出现叶片披垂、变薄、比叶重下降。DeDatta 认为,前期施氮主要影响水稻分蘖和穗数,幼穗分化期和灌浆结实期主要影响水稻每穗粒数和结实率。Murata 研究指出,增加水稻从幼穗分化至抽穗期的氮素吸收量,能够显著提高水稻抽穗和成熟期碳水化合物的积累,从而提高产量。杨连新等研究发现,从移栽到抽穗适当降低供氮水平,有利于增加谷壳的大小和重量。反之,谷壳会变小,充实度降低。

### 3 氮素利用效率及评价指标

#### 3.1 氮素利用效率概念与研究方法

作物氮效率的概念有多种不同观点。传统观点认为:作物氮效率又可以称为氮素吸收利用效率,是指作物消耗或吸收单位土壤氮素所生产的经济产量或生物学产量。江立庚、刘立军等认为,上述概念中的土壤氮素包括来自土壤中的贮存氮素和人为施用的肥料氮素,应该定义为氮素利用率,提出氮肥利用率是指氮肥施入土壤后的当季利用效率,而不包括其对后季的叠加效益。

研究氮肥利用率常用方法有差减法 and 同位素示踪法。由于施入稻田中的氮素与土壤胶体所吸附的氮素能发生置换反应,故理论上示踪法测定的氮肥利用率低于用差减法测定的氮肥利用率。另外,同位素示踪法成本较高,但能比较准确反映肥料氮素的去向,适合在研究肥料氮素的行为时采用;差减法成本低,所测定值实际上包括了前季施肥的后效作用,适宜在研究氮肥的农艺效应时采用<sup>[61]</sup>。

#### 3.2 氮素利用效率的评价指标

1982 年 Moll 等人首创将氮利用效率细分为吸收效率(籽粒产量/有效氮量)和利用效率(籽粒产量/植株总氮量积累量)。此后国内外研究者将其作为氮素利用指标进行了不同研究,研究对象遍及水稻、小麦和玉米等。目前国内外对作物氮利用效率的评价采用了众多方法和指标。国外通用的氮肥利用率定量指标主要有四个:氮肥吸收利用率、氮肥生理利用率、氮肥农学利用率和氮肥偏生产力。我国评价水稻氮素吸收与利用的指标及计算方法很多。有学者借鉴 Cassman 等人方法从氮肥生产力(即肥料氮素利用效率)出发,氮素利用效

率分解为生理效率、吸收效率及空白试验产量与肥料氮素施用量比值三部分；还有学者根据氮在作物不同部位吸收利用情况，把它分成氮肥表观利用率、氮肥生理利用率、氮素籽粒利用效率；有研究者从“作物-土壤”整体出发，将氮素利用效率分解为农学效率和吸收效率。不论研究者基于研究目的，集中来看目前我国评价水稻氮肥（素）的利用率通用的指标主要有以下 9 种（表 1.2）：总氮利用率、氮肥吸收效率、氮素利用效率或籽粒生产效率、氮肥农学利用效率、氮肥回收效率、氮肥生理利用效率、氮肥偏生产力、氮收获指数；以及氮素干物质利用率等。

表 1.2 氮利用效率的指标及计算方法

指标名称	计算公式	单位
总氮利用率	$Y_N/TN$	kg/kg N
氮吸收效率	$AN_N/TN$	kg/kg N
氮素籽粒生产效率	$Y_N/AN_N$	kg/kg N
氮农学利用率	$(Y_N - Y_0)/FN$	kg/kg N
氮回收利用效率	$(AN_N - AN_0)/FN$	%
氮生理利用率	$(Y_N - Y_0)/(AN_N - AN_0)$	kg/kg N
氮肥偏生产力	$Y_N/FN$	kg/kg N
氮收获指数	$A_G/A_N$	-
氮素干物质生产率	$BY/AN_N$	kg/kg N

TN：土壤中总可用氮（ $TN=FN+INS$ ），FN：水稻施氮量；INS：土壤供氮； $AN_N$ ：施肥区水稻吸氮量； $AN_0$ ：空白区水稻吸氮量； $A_G$ ：成熟期籽粒吸氮量； $Y_N$ ：施氮区水稻产量； $Y_0$ ：空白区水稻产量；BY：生物产量。

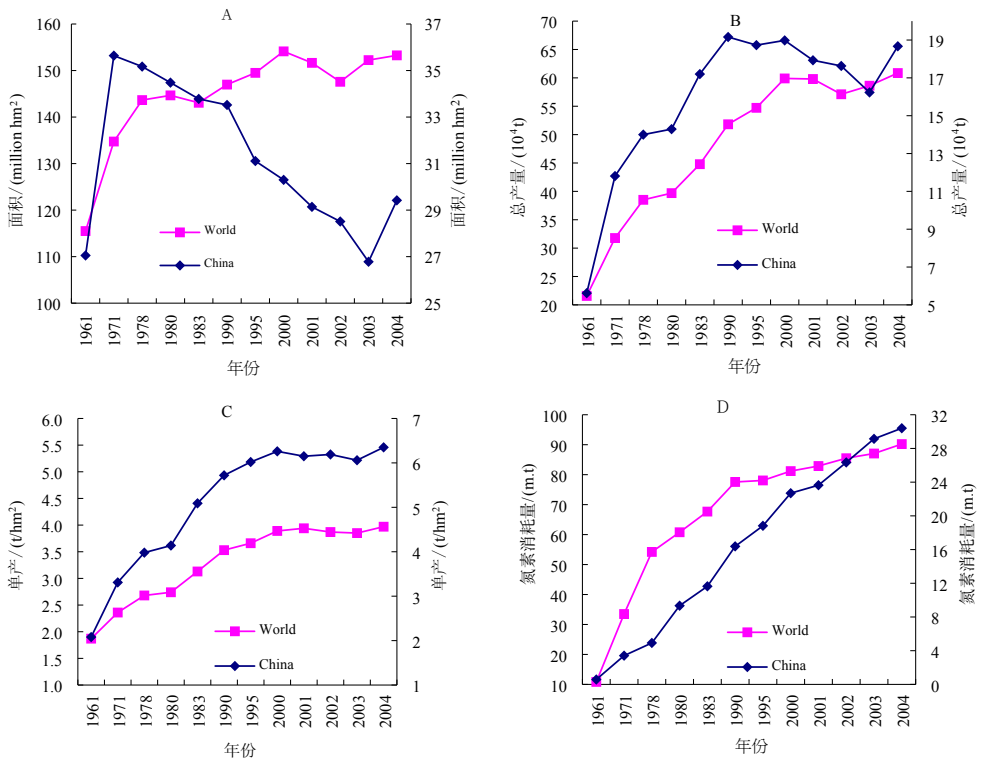
## 4 我国水稻生产上氮肥使用及利用情况

### 4.1 我国水稻上氮肥投入概况

中国是世界上水稻种植面积最大的国家，常年水稻种植面积 3100 万  $hm^2$ ，占世界水稻种植面积的 20%。自中华人民共和国以来，我国水稻单产经过品种改良产生了三次重大突破，有人分析认为，三次水稻产量的突破中化学肥料的大量投入起到了重要作用，其中氮肥是水稻生产投入也最多的化肥，对水稻产量的贡献也最大，因此有关水稻氮肥施用的研究一直受到研究者的重视。FAO 最近公布的统计结果表明，世界化肥总量中有一半以上是氮肥，我国的化肥总

消费量中，氮肥约占三分之二。

根据 IRRI 统计，1961—2004 年，全世界水稻总产、单产从  $215.7 \times 10^6$  t 和  $1.87 \text{ t/hm}^2$  分别提高到了  $608.5 \times 10^6$  t 和  $3.97 \text{ t/hm}^2$ ，分别增长 2.82 倍和 2.12 倍；此阶段中国水稻总产、单产分别从 1961 年的  $56.2 \times 10^6$  t 和  $2.08 \text{ t/hm}^2$  增加到 2004 年的  $186.7 \times 10^6$  t 和  $6.35 \text{ t/hm}^2$ ，分别增长 3.32 倍和 3.05 倍。与此同时，世界氮化肥用量（以纯 N 计，下同）从 1083 万 t 增加到 9021 万 t，增加了 8.3 倍，我国同期内氮肥的用量增加了 56.3 倍（图 1.1-A-D）。1961 年我国氮肥用量仅占全球氮肥总用量的 5% 左右，至 1970 年达 10% 左右，到 1980 年已达 20%，1990—2000 年，我国年氮肥用量上升到 2000 ~ 2500 万 t，约占全球氮肥总用量的 25% ~ 30%，2000 年以来增加到 2500 万 t 以上，2004 年达到 3040 万 t，占到世界氮肥总消耗量的 33.7%，是全球最大的氮肥消费国。



A : 水稻种植面积 ; B : 稻谷总产量 ; C : 水稻单产 ; D : 氮素消耗总量

图 1.1 1961—2004 年中国和世界水稻生产及氮消耗情况比较