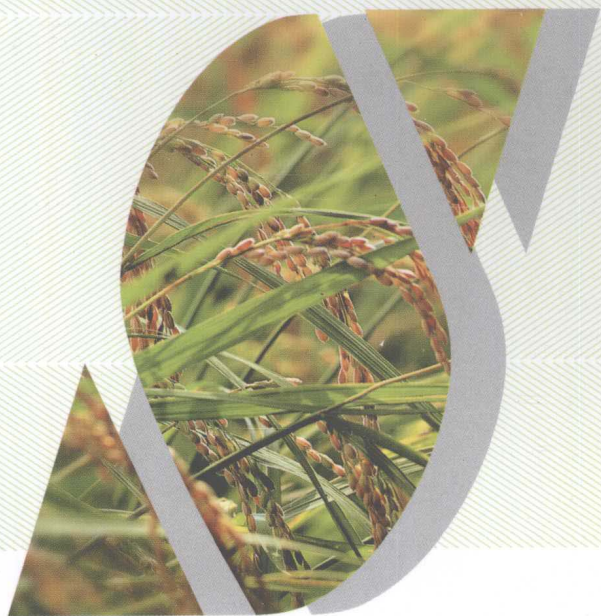




水稻免耕栽培 理论与实践

潘晓华 吴建富 邓强辉 程飞虎 石庆华◎编著

SHUIDAO MIANGENG ZAIPEI
LILUN YU SHIJIAN

 中国农业出版社

水稻免耕栽培理论与实践

潘晓华 吴建富 邓强辉 编著
程飞虎 石庆华

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水稻免耕栽培理论与实践 / 潘晓华等编著. —北京:
中国农业出版社, 2010. 2

ISBN 978-7-109-14354-8

I. ①水… II. ①潘… III. ①水稻—免耕—栽培
IV. ①S511.048

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 016161 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 姚 红

北京印刷一厂印刷 新华书店北京发行所发行

2010 年 3 月第 1 版 2010 年 3 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 7.125

字数: 210 千字 印数: 1~1 000 册

定价: 20.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

序

水稻是我国最主要的粮食作物，60%以上的人口是以稻米为主食，其播种面积占全国粮食作物总面积的30%，而产量接近全国粮食作物总产的一半。但是，如何解决种稻劳动强度大、效益低，以及长期翻耕对土壤理化和生物学性状的不良影响，既是当下水稻生产实践中的理论问题，也是一个现实问题。20世纪80年代初期，我国著名土壤学家侯光炯先生为解决我国南方冷浸低产稻田的高产问题提出了“自然免耕理论”，取得了很好的增产、改土和增效的效果。为适应农村劳动力大量进城务工现实，近十几年来，水稻轻简化栽培技术在我国得到了迅速发展。水稻免耕栽培，尤其是水稻免耕抛秧栽培作为一种新型的耕作栽培技术，就是在新阶段农业发展“优质、高产、高效、生态、安全”的要求下发展起来的。它既可以稳产高产，更可以大幅度降低劳动强度和生产成本，提高水稻生产效益，解决了人们长期以来“面朝黄土背朝天”的种田方式，使农民从沉重的体力劳动中解放出来。因此，水稻免耕栽培技术也被誉为一项革命性、方向性的耕作栽培技术，并被农业部在2003年确定为我国重点研究和推广项目之一。

为了适应水稻生产实践对免耕栽培技术的需求，近年来，我们课题组在国家科技部粮食丰产科技工程江西分项——“江西双季稻丰产高效技术集成与示范（2004ba520a04）”、国家科技支撑计划项目——“长江中下游南部（江西）双季稻

丰产高效技术集成研究与示范(2006BAD02A04)”和江西省教育厅项目“水稻免耕抛秧高产栽培技术体系研究”、“水稻免耕抛秧的几个关键问题研究”的资助下对双季水稻免耕栽培技术,尤其是对双季水稻免耕抛栽技术进行了较系统的研究。《水稻免耕栽培理论与实践》一书是作者在近几年研究和推广应用的基础上,广泛收集这一领域的研究成果和各地实践经验资料编写而成的。编著过程中得到了江西农业大学农业部双季稻生理生态与栽培重点实验室的有关人员的关心和支持,在此一并致以衷心感谢。

编著者

2009年10月

目 录

序

第一章 水稻免耕的发展	1
第一节 免耕的涵义与效果	2
一、免耕的涵义	2
二、免耕栽培技术的发展	2
三、免耕栽培的作用与效果	3
第二节 国外稻田免耕的发展现状	10
一、国外作物免耕栽培的历史回顾	10
二、国外作物免耕栽培的应用情况	12
第三节 我国水稻免耕栽培的发展现状	14
一、我国免耕栽培的历史回顾	14
二、我国免耕栽培技术的主要模式	16
三、水稻免耕的发展前景	17
第二章 稻田免耕对土壤特性的影响	23
第一节 免耕对土壤物理性状的影响	23
一、对土壤温度和热特性的影响	23
二、对土壤通气性和持水性的影响	24
三、对土壤氧化还原电位的影响	26
四、对土壤容重的影响	27
五、对土壤结构的影响	31
第二节 免耕对土壤化学性状的影响	32
一、对土壤酸碱性的影响	32

二、对土壤有机质的影响	32
三、对土壤氮的影响	36
四、对土壤磷的影响	38
五、对土壤钾的影响	38
六、对稻田水层养分含量的影响	39
第三节 免耕对土壤生物学性质的影响	40
一、对土壤动物的影响	40
二、对土壤微生物和微生物生物量的影响	41
三、对土壤酶活性的影响	44
第三章 水稻免耕栽培下的杂草防除	52
第一节 稻田中的常见杂草	52
第二节 除草剂的选择	55
一、除草剂的分类	56
二、几种常用稻田除草剂	58
第三节 免耕抛秧除草技术	62
一、免耕抛秧田除草剂筛选	62
二、灭生性除草剂的残留分析	67
三、免耕抛秧除草技术要点	70
第四章 水稻免耕直播	74
第一节 免耕直播水稻生育特性	75
一、根系	76
二、分蘖	78
三、农艺性状	81
四、产量及构成	84
五、抗性	87
第二节 水稻免耕直播技术	88
一、选好田块	88
二、精选品种	89
三、适时播种	89

四、适量播种	90
五、确保全苗	93
六、除草	94
七、科学施肥	96
八、水分管理	97
九、防治病虫鼠害	98
十、防止倒伏	99
第三节 免耕直播较常出现的问题及对策	100
一、基本苗	100
二、草害严重	101
三、病虫害严重	101
四、倒伏	102
第五章 免耕抛秧对水稻生长发育的影响	105
第一节 免耕抛秧对水稻生长和群体结构的影响	105
一、对水稻茎蘖动态的影响	105
二、对水稻叶面积指数的影响	107
三、对水稻根系生长发育的影响	107
四、对水稻干物质生产的影响	111
五、对水稻产量及其构成因素的影响	116
六、稻米品质	121
七、免耕抛秧的经济效益和生态效益	121
第二节 免耕抛秧对水稻生理特性的影响	123
一、剑叶光合速率	123
二、群体光合势	125
三、群体势粒比、粒叶比与结实率和千粒重的关系	126
四、齐穗期颖花伤流量	128
五、子粒灌浆结实特性	129
六、源库增量比	132
七、叶片衰老	134
第三节 免耕抛栽稻的营养特性	136

一、群体氮的吸收特性	137
二、群体磷的吸收特性	139
三、群体钾的吸收特性	142
四、生产 100kg 子粒 N、 P_2O_5 、 K_2O 的需要量	144
五、肥料 N、 P_2O_5 、 K_2O 的利用率	144
六、水稻群体氮、磷、钾的吸收量与产量的关系	145

第六章 免耕抛秧高产栽培技术 149

第一节 免耕抛秧稻的立苗特性与技术 149

一、免耕抛秧与翻耕抛秧立苗的差异	149
二、影响免耕抛秧稻立苗的因素	150
三、秧苗的生理素质与立苗的关系	159

第二节 免耕抛秧稻的肥料运筹技术 160

一、施氮量对免耕抛秧稻产量及产量形成的影响	161
二、施氮比例对免耕抛秧稻产量及产量形成的影响	171
三、氮肥运筹对免耕抛秧稻早发度的影响	176
四、氮肥运筹对免耕抛秧稻氮素吸收与利用的影响	177
五、氮肥运筹对免耕抛秧稻源库特性的影响	184
六、氮肥运筹对免耕抛秧稻根系和叶片衰老的影响	189
七、氮、钾肥料对免耕抛秧稻生长的影响	192

第三节 水稻免耕抛秧在生产中应注意的问题 198

一、化学除草灭茬问题	198
二、有机肥料施用问题	199
三、立苗难的问题	200
四、倒伏的问题	201
五、高产稳产问题	201
六、后期早衰问题	202
七、其他问题	202

第四节 双季稻免耕抛栽高产配套技术 203

一、选择适宜的免耕抛栽稻田	203
二、作好抛秧前的大田准备	203

三、品种选择搭配与用种量	205
四、播种育苗与抛栽	206
五、大田管理	207
六、收获与贮藏	210
第五节 江西省水稻免耕抛秧栽培技术的示范与推广	211
一、江西水稻免耕抛秧技术的发展历程	211
二、取得的主要成效	211

第一章 水稻免耕的发展

我国是世界上栽培水稻最早的国家之一，具有 1 万多年的历史，悠久的稻米生产历史孕育了灿烂的农耕文化。我国南至海南三亚、北至黑龙江都有水稻分布，除青海省外都有水稻种植，常年种植面积在 3 000 万 hm^2 左右，占世界水稻种植总面积的 21.5%，占我国粮食作物种植面积的 27%。我国有 60% 以上的人口以稻米为主食，每年直接食用稻米及其制品耗用稻米占稻米消费总量的 60%~70%；我国稻谷总产约 1.8 亿 t 左右，占粮食总产量的 39%，占世界稻谷总产的 36.3%；我国水稻每公顷产量达 6 232 kg，排在世界的第 9 位，是世界平均水平的 169%。因此，稻米生产在国民经济和人民生活占有十分重要的地位，搞好稻米生产对于保障国家粮食安全具有重要意义。

新中国成立以来，我国水稻生产取得了突破性发展，矮秆品种的选育、杂种优势的利用和超级稻的示范推广，使水稻单产实现了三次飞跃。但是，我国水稻生产还存在着农户的种植规模小、劳动力强度较大、种植成本较高、机械化水平低等突出问题。据统计，我国有 1.58 亿农户从事水稻生产，户均仅 0.183 5 hm^2 ，是菲律宾 20 世纪 80 年代的 1/10，印度 90 年代的 1/9。90 年代以来，我国每公顷水稻的生产成本在 4 725 元以上，物质费用在 2 250 元以上，用工数量在 225 天以上，种植纯收益仅 1 500 元左右^[1]。

随着经济社会的发展，农村对水稻轻简生产技术的需求越来越高。因此，在确保单位面积产量不断提高的前提下，发展轻简化的水稻生产技术就成为当下农村的迫切需要。水稻免耕栽培就

是在这种形势下得到快速发展的。

第一节 免耕的涵义与效果

一、免耕的涵义

国际上从机械耕作的作业次数和强度，把土壤耕作分为常规耕作、免耕和少耕三种耕作方法和体系。常规耕作又称传统耕作 (conventional tillage)，指用犁翻耕土壤后，随之以耙、压整地，作物播种或移栽后进行土壤管理的一类耕作方法。少耕 (minimum tillage) 指在常规耕作的基础上尽量减少土壤耕作次数和耕作深度或在全田间隔播种，减少耕作面积的一种耕作方法，它是介于常规耕作和免耕之间的中间类型。免耕 (no-tillage) 又称零耕 (zero-tillage)，是指作物播前不用犁、耙整理土地，直接在茬地上播种，播后作物生育期间不使用农具进行土壤管理，于播种或移 (抛) 栽前后利用化学除草剂灭茬的一类耕作方法^[2]。由于免耕能利用前茬残留物覆盖地表，借以减少水土流失和保护农田，因而也被称之为保护性耕作。

二、免耕栽培技术的发展

免耕栽培技术的发展大体可分为三个阶段。20 世纪 40—60 年代为研究与试验阶段。该阶段重点围绕杂草控制，如何在作物残茬中播种，秸秆还田量多少为好，如何实现施肥、播种等问题开展一系列研究。但由于除草剂、免耕播种设备昂贵，土壤与作物营养等一系列具体问题没有得到较好的解决，使得免耕栽培在生产上缺乏吸引力。

70 年代为起步阶段。通过大量的试验研究工作，免耕栽培技术在以下五个方面取得了重大进展：一是作物收获后有 30% 的秸秆留在地表；二是从收获到播种前尽量不扰动土壤；三是一

次完成施肥和播种过程；四是通过除草剂（如农达）控制杂草；五是长期免耕可显著提高土壤质量和生产力，减少土壤退化，病虫害在大多数土壤上较少重发。与此同时，除草剂和播种机械产业得到快速发展，价格逐步下降，免耕栽培技术逐步完善。从此，免耕栽培技术从美国走向了世界。

80 年代以来为快速发展阶段。在该阶段由于用草甘膦取代百草枯来控制杂草取得显著成效，且价格持续下降；加之更加有效的播种与施肥联合作业机械问世，形成了比较完整的理论和技术体系，使免耕栽培技术更加便捷和有效，免耕栽培技术由此进入快速发展阶段。据有关部门统计，2005 年全世界免耕栽培面积已达 1.11 亿 hm^2 ，比 1999 年扩大了 1.5 倍。其中巴西、阿根廷、加拿大、巴拉圭等国家免耕栽培面积占到农作物种植面积的 60% 左右，美国达到 23%。2006 年我国免（少）耕栽培技术推广应用面积 2 000 多万 hm^2 ，占农作物种植面积的 13% 左右，居世界第 4 位。

三、免耕栽培的作用与效果

常规耕作又称传统耕作，通常指作物生产过程中由机械翻耕、耙压和中耕等组成的土壤耕作体系。传统耕作因集约和重复的土壤耕作造成耕层土壤流失，对土壤有机质含量、土壤结构、土壤温度、土壤湿度、水分渗漏、土壤微生物和土壤养分具有不可避免的负作用，导致土壤化学、物理和生物性能的退化，以及持久的减产和土壤生产力的损失，使得土壤变得日益贫瘠。通过免耕和秸秆覆盖栽培，可以及时补充由于渗漏损失和收获作物带走的养分，防止焚烧作物秸秆和杂草造成的环境污染，从而实现农业的可持续发展。

（一）省工、节本

免耕栽培与常规栽培相比，用工减少 50%~60%，劳动力成本降低 40%~80%，经济效益提高 20%~30%。在加拿大，

免耕比翻耕节约 15% 的生产成本, 其中能耗减少 50%, 劳动力成本减少 40%。免耕栽培与机械化技术相结合, 提高了作业效率, 缩短了农时, 缓解了季节与劳动力的矛盾, 达到不误农时、适时移栽和播种的目的。因此, 免耕栽培有效地延长了作物生长发育时间, 增加熟制, 提高了作物产量和经济效益。

广西、四川等省(自治区)多年的试验示范表明, 免耕栽培技术的效果可以集中概括为三保(保水、保土、保肥)、三省(省工、省力、省能)和三增(增产、增效、增收)。通过免耕和秸秆还田, 土壤有机质、速效氮、速效钾含量明显增加, 水稻、小麦的施肥量逐年降低。一般每公顷可减少犁耙田用工 45~60 个, 而水稻犁耙田成本一般在 750~900 元/hm², 机械翻耕成本 750 元/hm² 左右, 免耕稻田一般需要除草剂和喷药成本 225~375 元/hm², 免耕抛栽水稻可以节省投入 525~675 元/hm²[3,4]。

水稻免耕直播, 减少了耕翻和插秧两个劳动强度最大的环节, 简化了生产流程, 农民种地不再像传统栽培那样犁耙整田, 也无需把大量的作物秸秆搬运出来, 减轻了劳动强度, 深受农民的欢迎。近年在浙江富阳、湖州和江苏南通、上海等地试验示范^[5], 与育苗移栽比, 每公顷省工 45~75 个, 比翻耕直播节省用工 15~30 个(整田、灭茬用工)。Lav Bhushan 等在印度恒河平原的研究表明, 基于免耕直播的作物耕种方法比传统翻耕移栽节约劳动力^[6]。该法种田基本上不需弯腰, 改变了人们“面朝黄土背朝天”的种田方式, 使农民从沉重的体力劳动中解放出来。免耕直播与机械化操作结合, 省工效果更好。

(二) 减轻劳动强度

免耕抛秧栽培免除了“翻耕”这一水稻栽培中劳动强度最大、非男劳动力莫属的环节, 代之而来的是喷药进行化学除草, 男女劳力均可进行, 实现了“男人不用扶犁耕田, 女人不用弯腰插秧”, 解放了劳动力, 特别是对无劳动力户、无机械户和无耕

牛户的“三无”家庭来说，更具有无可替代的优势。

(三) 抢时间、争季节

免耕栽培不受牛力、机械等因素制约，在前作收获后 1~2 天即可栽（抛）下季水稻，可缩短晚稻备耕时间 2~3 天，有利于晚稻季节安排和稻田三熟制、早晚稻双季抛秧等有季节矛盾突出的耕作制度的推广，确保晚稻正常生产和安全齐穗，实现高产、稳产。

(四) 改善土壤结构、节能环保

免耕抛秧不用犁耙田，不打乱耕作层，不切断土壤毛管孔隙，不仅可以减少水土流失，保护和改善土壤耕层结构，还可以减少机耕作业所造成的尾气污染，保护生态环境。免耕可以大幅度地减少能源（柴油）的消耗，促进社会的可持续发展。据广西各地试验调查，水稻免耕一般可节水 $1\,000\text{m}^3/\text{hm}^2$ 左右，减少用水量 5%~10%，减少水土流失约 50%，每公顷节省机耕燃油 $60\text{kg}^{[4]}$ 。此外连续多年免耕能慢慢消除犁底层，有利于根系的伸展。而长期的牛力翻耕易导致水稻土剖面结构中形成明显的耕作层和犁底层，犁底层铁锰结核坚固，透水、透气性差。机械翻耕耕层常泥烂如浆，土壤团粒结构受到破坏，通透性差^[3]。

福建省农科院生物技术中心朱炳耀^[9]等人调查，经过 3 年免耕栽培后的土壤物理性质，免耕田土壤表层总孔隙比对照田增加 4.7%~5.2%，0.01mm、0.05mm 和 0.25mm 粒径的团聚体比对照田增加 3.1%~12.3%，土壤有机质和全量氮、磷、钾有所积累。连续实施 3 年后，土壤有机质由 1.6% 上升到 3.6%，增加近 2 倍，且土壤疏松、肥沃、宜种性强。免耕直播减少机耕燃油用量，降低了机械尾气污染。免耕还节约了国家用于治理土壤侵蚀的费用，包括沟河疏通、兴修和加固水库、治理污染、抗洪救灾等费用在内。在美国，这笔费用约占农业总投入的 40%。

(五) 减少水土流失

土壤整得越细越容易导致表层土壤和亚表层土壤分离，表层土壤被水冲走，土壤有机质逐步丧失，使得土壤肥力无法满足作物生长的基本要求。为了补充肥力的不足，每年都要大量施用化学肥料。长期使用化肥带来了环境污染、土质下降、农产品安全卫生品质降低等问题。1952—1996年，我国的肥粮比（单位肥料增加的粮食量）已由16.1下降到2.4。如氮素和钾素的利用率不到40%，磷素的利用率不到30%，农田氮素损失率30%~50%。而实施免耕直播可以减少化肥用量。据四川省都江堰市青城乡万安村连续8年免耕试验结果，从第3年起每年减少10%~15%的施肥量，作物产量不降低，从第6年开始，除育苗和移栽后需要少量提苗肥外，整个生育期可不再施肥，特别是不用施氮肥，否则就会造成旺长^[7]。

实行免耕栽培，减少了土壤耕作次数，不打乱耕层，不切断土壤毛细管，减少耕地结构破坏，有利于土壤通透性和团粒结构形成，可以避免或最大限度地减少土壤退化，有助于减少由于降雨、灌溉等造成的水土流失。国内外试验结果表明，免耕和秸秆覆盖是一项防御风蚀、保持水土的有效耕作方法，残茬覆盖能减少水土流失90%^[8]。单就保护土壤而言，免耕法使得土壤生物达到平衡水平，并由这些微生物承担起“耕作任务”。例如，免耕法保护了生活在土壤中的蚯蚓，身体柔软的蚯蚓不仅能使土壤变得疏松，它的粪便使土壤肥沃，而且它们钻来钻去形成的小洞还能帮助存水。采用免耕法，收获农作物时，将秸秆留在田间，自然形成一个很好的保护层，保持了土壤水分，有利于农业的可持续发展。

(六) 确保水稻产量

免耕栽培的水稻产量往往和水稻翻耕种植差异不大。不仅如此，其质量和蒸煮品质都差异不大^[10]。另外，阿根廷的经验表明，在大部分实施免耕直播法的农田，最初一两年产量可能会略

有下降,只有少部分土地能在实施免耕法的第一茬实现增产。但是,随着地表秸秆残留物形成的有机覆盖层越积越厚,土壤质量会越来越好,农作物产量也会逐年提高。原因在于,历茬秸秆的有机覆盖层既提供了肥力,又有助于保护土壤和保墒。土壤一旦翻耕后,最有肥力的表层沃土就会暴露在阳光下,迅速风化,随后又被雨水冲走或被风吹走。免耕法使这层沃土得到保护,而且残留秸秆不断腐烂,持续向土壤提供肥力。

如果技术配套、管理到位,免耕直播稻比翻耕直播稻或移栽稻都有一定的增产效果。原因在于免耕直播栽培水稻根系分布浅,低节位分蘖多,分蘖力强,可减少无效分蘖,提高有效穗数。由于没有移栽,减少移栽返青期,有利于根系发育和植株生长,加速早生快发,促进稳产、高产。据黄锦法^[1]等连续4年(1993—1996)的研究表明,免耕直播田61块,平均产量为7 862.4kg/hm²;翻耕直播田55块,平均产量7 710.0kg/hm²;翻耕移栽稻52块,平均产量7 682.3kg/hm²。免耕直播比翻耕直播和翻耕移栽分别增产152.4kg/hm²和181.65kg/hm²。据浙江省测产统计,1999—2001年水稻免耕直播每公顷平均单产8 391kg,与当地原有直播稻比较,平均每公顷增产545~660kg,增幅7.0%~8.6%。浙江省安吉县递铺镇荷花塘村的种粮大户采用免耕直播种植1.3hm²粳稻,平均单产8 025kg,比常规种植的水稻增产5%。朱炳耀等人^[9]连续3年调查,中稻区免耕直播,增产8.0%~20.9%。湖北省孝感市2002年免耕直播,每公顷平均单产8 250kg以上。湖南省1983—1985年少免耕直播每公顷平均单产6 041~8 270kg,较翻耕移栽增产26.4%。2002年在石门县新关镇闫家溶村进行一季稻免耕直播,每公顷平均单产9 135kg,比翻耕移栽每公顷增产1 158kg。2003年石门县示范区每公顷平均单产8 340kg,比翻耕移栽每公顷增产792kg,其中新关镇闫家溶村免耕直播每公顷平均单产