

水稻节水栽培研究 论文集

主 编 朱庆森
黄丕生
副主编 吴永祥
夏有龙
周春和

中国农业科技出版社

水稻节水栽培研究论文集

A COLLECTION OF PAPERS ON WATER - SAVING RICE CULTIVATION RESEARCH

主 编	朱庆森	Editor in chief
	黄丕生	Zhu Qingsen
		Huang Pisheng
副主编	吴永祥	Deputy chief editor
	夏有龙	Wu Yongxiang
	周春和	Xia Youlong
		Zhou Chunhe

中国农业出版社

CHINA AGRICULTURAL SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

• 北 京 •
• BEIJING •

(京)新登字 061 号

图书在版编目(CIP)数据

水稻节水栽培研究论文集=A COLLECTION OF PAPERS ON
WATER-SAVING RICE CULTIVATION RESEARCH/朱庆森
等编著. —北京:中国农业科技出版社, 1995. 7

ISBN 7-80026-881-0

I. 水… II. 朱… III. 水稻—节约用水—栽培—研究—文
集 IV. S511.04-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 01076 号

责任编辑	庞忠美
技术设计	于 一
出版发行	中国农业科技出版社 (北京海淀区白石桥路 30 号)
经 销	新华书店北京发行所发行
印 刷	扬州大学农学院印刷厂
开 本	850×1168 毫米 1/32 印张: 8.94
印 数	1-1000 册 字数: 224 千字
版 次	1995 年 7 月第一版 1995 年 7 月第一次印刷
定 价	8.00 元

编者的话

我国人口众多,水资源不丰,人均径流量为 $2\,700\text{m}^3$,约相当于世界平均水平的 $1/4$,且水资源的时空分布很不均匀,缺水已成为我国许多地区发展工、农业生产的限制因素,节约用水已是保证国民经济持续发展的当务之急。我国水稻栽培面积为 $3\,267$ 万公顷(1980~1989年10年平均),稻田灌溉用水量约占全国总用水量的 $1/3$,是用水第一大户,节约用水的潜力大,是农业节水的重点。

水稻的节水灌溉技术,国内外已有些研究,其成果在生产中也有所应用。然而,这些研究都用形态水来衡量土壤水分,所提出的灌溉指标,多以经验描述为主,局限性大,难于准确掌握,有碍大面积推广应用。

本项研究(1987~1994),由江苏农学院、南京农业大学、江苏农业科学院现代化研究所和江苏省农林厅作物栽培指导站等四单位牵头,连云港、徐州、扬州和盐城等市及有关县(市)农业局参加,在继承前人研究成果的基础上,率先将土壤水势及其测定技术用于水稻灌溉研究,使节水灌溉指标的制订建立在更加科学的基础之上,指标数量化,可操作性强,便于农业技术部门推广应用。

研究工作十分注意循序渐进,一步一个脚印地扎实进行。首先较深入地研究了各生育期低土壤水势对水稻产量形成和器官建成

的影响,以及土壤水势与稻株光合、矿质营养吸收等生理作用的关系。在此基础上制订节水灌溉方案及其技术指标,再经多点试验和示范的检验,对其方案和指标进行修正,而后大面积推广应用。本项研究工作还对耕作整田节水和“早育大苗”育秧节水技术进行了仔细研究,形成了整田、育秧和本田灌溉相配套的水稻节水栽培技术。该节水栽培技术自1993年起在苏、赣、鲁、皖等四省大面积示范推广应用,且取得节水增产的良好效果。

现选择本项研究所撰写的论文以及示范推广工作报告等共29篇(其中19篇已正式发表)汇编成册,以便与同行交流,亦供广大稻作工作者和农业院校的师生参考。由于我们水平有限,编纂时间仓促,缺点、错误之处难免,恳望有关专家与读者批评指正。

本项研究工作得到凌启鸿、曹显祖教授和夏有龙研究员许多帮助与指导;在示范推广过程中,江苏省各市以及江西、山东、安徽等省有关市(县)的许多稻作工作者付出了艰辛的劳动,谨此顺致谢意。

编 者

1995-02-28

目 次

编者的话

水稻节水高效栽培技术的研究

..... 朱庆森 黄丕生 吴永祥等 (1)

水稻各生育期低土壤水势对产量的影响

..... 朱庆森 邱泽森 姜长鉴等 (19)

水稻间歇灌溉水分胁迫指数研究

..... 王绍华 丁艳锋 黄丕生 (35)

土壤水分对水稻产量与生理特性的影响

..... 杨建昌 朱庆森 王志琴 (48)

水稻湿干灌溉水分胁迫临界指标研究

..... 王绍华 丁艳锋 黄丕生等 (59)

土壤水分对水稻生育与产量影响的研究

..... 朱庆森 金兆森 钟明喜等 (71)

土壤水分胁迫与水稻活性氧代谢 朱杭申 黄丕生 (83)

水稻在不同土水势下的生理反应

..... 邱泽森 朱庆森 刘建国等 (92)

水分胁迫与水稻矿质营养

..... 厉 宁 丁艳锋 黄丕生 (102)

江苏省淮地区的水资源与节水种稻

..... 金兆森 刘正祥 徐 飞等 (117)

节水灌溉对水稻产量形成的影响

..... 杨建昌 丁艳锋 崔家坤等 (131)

土水势在水稻节水灌溉中的应用

..... 邱泽森 丁艳锋 童晓明等	(142)
水稻旱秧出苗的临界土壤水分指标及土壤保湿技术	
..... 吴永祥 黄祥熙 陈公翰等	(152)
不同叶龄期水稻秧苗对水分亏缺反应的探讨	
..... 吴永祥 黄祥熙 赵国良等	(160)
水稻旱秧育苗及其栽培技术	
..... 吴永祥	(169)
土壤水分对水稻旱育秧苗生长的影响	
..... 吴永祥 陈留根 肖桂元等	(178)
江苏省水稻节水高效栽培技术的示范与推广	
..... 夏有龙 周春和 邱泽森	(184)
徐州市水稻节水栽培技术研究及应用总结	
..... 陆彪 易杰忠	(191)
连云港市水稻节水栽培技术的研究与应用	
..... 潘启民 刘金山 王龙等	(200)
推广节水栽培技术 夺取水稻平衡高产	
..... 黄士俊 周日明 仇贵才	(208)
水稻节水栽培技术在扬州市的推广应用	
..... 茅弼华 孙龙泉 张德明等	(216)
淮北地区水稻节水“三高”栽培技术研究	
..... 单春生 崔加坤 程亚峰等	(222)
灌云县水稻节水灌溉技术试验示范推广总结	
..... 马保祥 祁明华 郭家登等	(229)
几种灌溉方式对水稻产量影响与节水效应的研究	
..... 孙龙泉 张德明 蔡玉珍等	(234)
节水灌溉与增施氮肥对水稻生育及产量的影响	

.....	张德明 孙龙泉 赵仁臣	(243)
高邮市水稻节水灌溉技术示范推广总结		
.....	孙龙泉 张德明 赵仁臣	(252)
水稻不同密植条件下节水灌溉的效应		
.....	蔡玉珍	(258)
稻田不同耕整方式的节水效应及产量表现		
.....	栾 斌 蔡玉珍 崔加坤等	(265)
水稻节水栽培效应和技术初探		
.....	王理权 孟恒永 王干民等	(272)

CONTENTS

Cultural Techniques for Water-Saving and High Efficiency of Water in Paddy Rice	
Zhu Qingsen Huang Pisheng Wu Yongxiang et al. (17)	
Effect of Low Soil Water Potential on Yield in Rice	
... Zhu Qingsen Qiu Zesen Jiang Changjian et al. (34)	
Water Stress Index (WSI) of Rice in Intermittent Irrigation ... Wang Shaohua Ding Yanfeng Huang Pisheng (47)	
Effects of Soil Moisture on the Yield and Physiological Characteristics in Rice Yang Jianchang Zhu Qingsen Wang Zhiqin (58)	
Studies on the Critical Lowest Limit of Water Stress on Rice Under Wet - Dry Irrigation	
Wang Shaohua Ding Yanfeng Huang Pisheng et al. (70)	
Effect of Soil Moisture on the Development and Yield of Rice	
... Zhu Qingsen Jin Zhaosen Zhong Mingxi et al. (82)	
Effect of Water Stress on Activated Oxygen Metabolism in Rice Zhu Hangsheng Huang Pisheng (91)	
Physiological Response of Rice Plant to Different Soil Water Potential	
..... Qiu Zesen Zhu Qingsen Liu Jianguo et al. (101)	
Effect of Water Stress on Rice Mineral Nutrition Li Ning Ding Yanfeng Huang Pisheng (116)	

- Water Resources and Water Saving Rice Cultivation in the
Huaibei Area of Jiangsu Province
..... Jin Zhaosen Liu Zhengxiang Xu Fei et al. (130)
- Effect of Water - Saving Irrigation on the Yield Formation
of Rice
Yang Jianchang Ding Yanfeng Cui Jiakun et al. (141)
- Application of Soil Water Potential on Water - Saving
for Rice
... Qiu Zesen Ding Yanfeng Tong Xiaoming et al. (151)
- The Critical Soil Moisture Point for the Emergence of Rice
Seedling and the Technique of Maintaining Moisture in
Dryland Nursery
Wu Yongxiang Huang Xiangxi Chen Gonghan et al. (159)
- Response of Rice Seedling to Water Deficit at Different Leaf Age
.....
Wu Yongxiang Huang Xiangxi Zhao Guoliang et al. (168)
- The Technique of Nursing Rice Seedling in Dryland Nursery
..... Wu Yongxiang (177)
- Effect of Soil Moisture Content on Growth of Rice Seedling in
Dryland Nursery
..... Wu Yongxiang Chen Liugen et al. (183)
- Application and Extension of Water - Saving Rice Cultivations
in Jiangsu Province
..... Xia Youlong Zhou Chunhe Qiu Zesen (190)
- Water - Saving Rice Cultivation in Xuzhou Area
..... Xu Biao Yi Jiezhong (199)
- Research and Application of Water - Saving Rice
Cultivation in Lianyungang Area
..... Pan Qimin Liu Jinshan Wang Long et al. (207)

- High Yield Rice Cultivation with Water - Saving Techniques
 Huang Shijun Zhou Riming Qiu Guicai (215)
- Application of Water Saving Rice Cultivation in Yangzhou Area

 Mao Bihua Sun Longquan Zhang Deming et al. (221)
- Study on Water - Saving Rice Cultivation in Huaibei Area

 Shan Chunsheng Cui Jiakun Cheng Yafeng et al. (228)
- Research and Extension of Water - Saving Rice Cultivation in
 Guanyun Country
 ... Ma Baoxiang Qi Minghua Guo Jiadeng et al. (233)
- Effect of Four Irrigation Methods on Rice Yield and
 Their Water - Saving Effectiveness

 Sun Longquan Zhang Deming Cai Yuzhen et al. (242)
- Effects of Water - Saving Irrigation and Nitrogen
 Application on the Development and Yield of Rice
 Zhang Deming Sun Longquan Zhao Renchen (251)
- Demonstration and Extension of Water - Saving Irrigation
 Techniques for Rice in Gaoyou Municipality
 Sun Longquan Zhang Deming Zhao Renchen (257)
- Effect of Water - Saving Irrigation Under Different Rice
 Seedling Densities Cai Yuzhen (264)
- Water - Saving Effect and Yield Variation of Different
 Tillage Methods in Paddy
 Luan Bin Cai Yuzhen Cui Jiakun et al. (271)
- Effect and Technique of Water - Saving Cultivation in Paddy Rice
 ... Wang Liquan Meng Hanyong Wang Ganmin et al. (276)

水稻节水高效栽培技术的研究

朱庆森 黄丕生^① 吴永祥^② 夏有龙^③

(江苏农学院, 扬州 225009)

摘 要 研究将土壤水分能量概念(土壤水势)应用于水稻灌溉技术,经4年盆钵与田间试验,取得(1)提出了分生育阶段控制低限土壤水势的节水灌溉方法。各生育阶段的土壤水势低限是:返青至有效分蘖临界叶龄期为 -0.020MPa ,有效分蘖临界叶龄期至二次枝梗分化期为 $-0.025\sim-0.035\text{MPa}$,二次枝梗分化期至出穗后20天为 $-0.01\sim-0.02\text{MPa}$,出穗后20天至出穗后45天为 $-0.025\sim-0.035\text{MPa}$ 。各生育阶段土壤水势降到上述低限即灌水层。在全生育期均应注意充分接纳降水,有效分蘖叶龄期前在有条件的情况下应较长时间保持水层。(2)系统研究了不同土壤水势下水稻生长发育、产量形成、物质生产、矿质营养吸收和有关生理生化过程的变化特点。将土壤水分的变化与时间综合起来考虑水分胁迫效应,归纳出一个量化指标,即水分胁迫指数。(3)研究提出节水浅旋耕整田及中、大苗旱育秧技术与本田控制低限土壤水势的节水灌溉技术相配套,形成了水稻节水高效栽培技术体系。

关键词 水稻;土壤水势;节水灌溉;水分胁迫指数

1 背景

江苏省水资源总量丰富,全省河川径流量为 $1.0503\times 10^{12}\text{m}^3$,但其中97.6%为外来过境水⁽¹⁾,且时空分布不均,南多北少,引

① 南京农业大学 ② 江苏省农业科学院 ③ 江苏省农林厅

供水能力不足,对水分调节涵养的能力低下,即使是水分平年也不能完全保证全省各稻区稻田灌溉水的正常供应,区域性和季节性缺水经常发生,其中淮北稻区缺水最严重,其次是丘陵稻区和沿海稻区。本省淮北地区有稻田面积约 $667 \times 10^3 \text{hm}^2$ 靠所在流域的河川供水。根据《江苏水资源利用》一文分析^[1],淮北地区种植水稻 $513 \times 10^3 \text{hm}^2$,遇 $P=75\%$ (保证率)的年份,相当于 1958~1959 灌溉年,稻田灌水亏缺约 $51 \times 10^8 \text{m}^3$,即使南水北调工程兴建后,淮北地区种植水稻 $667 \times 10^3 \text{hm}^2$,遇 $P=75\%$ 的年份,仍缺水 $40 \times 10^8 \text{m}^3$ 。缺水是制约该稻区水稻生产发展最重要的因素之一。另一方面,目前江苏省水稻田用水量普遍偏高,根据有关市的调查^[2],江苏省中型以上的自流灌区中,不少灌区水稻毛灌溉定额为 $24000 \text{m}^3/\text{hm}^2$,管水好的灌区也在 $19500 \text{m}^3/\text{hm}^2$,管水最差的达 $30000 \text{m}^3/\text{hm}^2$,加上水稻生长季节 6~9 月的降水 $550 \sim 640 \text{mm}$,稻田耗水量显然已超过了水稻正常生长对水分的需求量。

为了克服“水多多灌、水少受旱”的状况,合理有效地利用水资源,稳定淮北、丘陵等缺水地区水稻栽培面积,提高全省水稻单产,进行水稻节水栽培技术研究十分必要。

有关水稻的节水栽培技术,国内有不少研究报告^[3~7]。在这些研究中,均用田间持水量的百分率等形态水分来衡量土壤水分,进而作为灌溉指标。由于这些指标测定速度慢或精度差(如酒精烧土法),难以监测瞬时的土壤水分状况,而土壤水分的变化活跃,因而其试验的精度难以保证;而且以土壤含水量为指标,其生理效应因土壤质地不同而有很大差异,生产应用范围有很大局限性。还有些报道是用土壤外观来确定灌溉的,其局限性就更大。

1920 年美国的加德兰(W. Gardner)^[8]提出了土壤水势的概念,并定义为:单位质量的水从水势为零移到土壤中某一点所作

的功。1950年罗塞尔(E. Q. Russel)^[9]提出用土壤水所承受的吸力表示其能态,这一概念和土壤水势的含义在本质上是相同的,土壤水所承受的吸力与植物根系吸水的难易有最直接的关系。1966年费涅勃(Philip)^[9]提出了“土壤—植物—大气连续体(SPAC)”的概念,使土水势更广泛地为有关专家学者接受,并用于作物与土壤水分关系的研究。在我国,1977年由中国土壤学会举办首次“土壤水分能量概念及其应用培训班”^[10],有力地推动了土壤水分及其与植物生长关系的研究。

将土壤水分能量概念引入作物生理和灌溉技术研究,是一个观念上和技术上的重大突破。其优点是:提供了便捷、精确地测定土壤水分的方法,提高了与土壤水分有关的农艺试验研究的准确性和精度;研究结果受土壤类型的局限性小,具有普遍指导意义;可用统一的尺度来研究分析土壤—植物—大气连续体中水的运行和相互关系,可利用热力学的原理和数学方法定量分析水分的运行,使研究水平登上了一个新台阶。我国从80年代开始有人应用能量水的概念研究小麦、糜子、谷等旱作物出苗及苗期的生长、生理与土水势的关系^[12,13]。然而,到目前为止,国内外尚未见到以土壤水势为指标,研究土壤水分对水稻生育与产量形成影响以及灌溉技术的报道。

2 研究概况

本研究自1987年预试至今已有8年时间,1989年江苏省科学技术委员会正式列为省农业科技基金项目。课题名称为“江淮与沿运稻区节水栽培技术研究”,课题编号为LG 89012;1992年继续列为省应用基础项目。课题名称为“水稻节水高效灌溉技术”,课题编号为DY 92013。按计划于1994年完成全部研究。根据研究工作的实际情况,将两个项目合称为“水稻节水高效栽培技术研究”,提交成果鉴定。项目由江苏农学院、南京农业大学、

江苏省农业科学院现代化研究所和江苏省农林厅作物栽培指导站共同主持,参加的单位有:徐州市农业局、连云港市农业局、扬州市农业局、沛县农业局、灌云县农业局、高邮市农业局、江都市农业干部学校和泰州市农科所等。直接投入研究的人员共 49 名,撰写论文与研究报告 28 篇,19 篇正式发表;示范推广总结 58 篇。现已将主要的论文报告与总结 27 篇汇编成《水稻节水栽培研究论文集》,由中国农业科技出版社于 1995 年出版。

3 技术路线与主要研究内容

本研究以探明土壤水势与水稻生育及产量形成的关系为基础,进而研究制订节水灌溉的土壤水势指标,再经多点反复试验,对指标进行修正,得出适合于大面积生产应用的水稻节水高效栽培技术,广泛推广应用。在研究方法上采取严格控制水分的盆栽试验、水培水势模拟试验、田间小区试验,示范、推广循序渐进的研究方法。研究中注意将生理、生化等基础研究和农艺研究相结合。有关措施的制定均经多年多点相互比较,反复验证,力求在大面积应用时取得既节水又增产的效果。

研究过程与主要研究内容,综合列于图 1。

4 主要研究结果

4.1 各生育期低土壤水势对产量形成的影响

用水分张力计监测并依此严格控制盆栽的土壤水势,研究了江苏中熟品种各生育期的低土壤水分对产量的影响。试验结果表明:出穗前各生育期对低土壤水分反应的敏感顺序为:分蘖盛期>生殖细胞形成期>枝梗分化期>分蘖末期>花粉充实期;在分蘖盛期与生殖细胞形成期土壤水势较长时间(10 天)低于 -0.025MPa 则明显减产(图 2, 3);结实期间对低土壤水分反应最敏感的时期为籽粒灌浆初期,籽粒灌浆末期较低的土壤水势有促进籽粒灌浆的倾

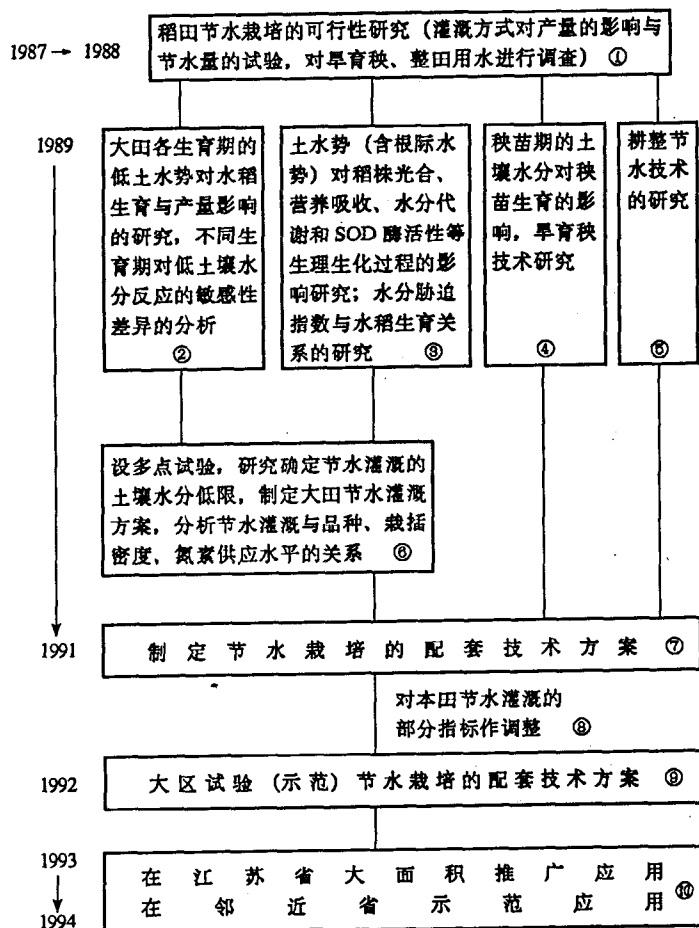


图1 研究过程与主要内容示意图
Fig.1 Proccession and main items of water-saving study

1—Research on feasibility of water - saving cultivation. Experiments on the effects of irrigation methods on grain yield, and volume of water - saving. Investigation on the water requirement in raising rice seedling in upland, and in the process of field preparation; 2—Research on the influence of low soil water potential in different growth stage on the growth, development and yield of rice. Analysis on the sensitivity of rice to soil water potential in different growth stage; 3—The influence of soil water potential on physiological and biochemical process of photo synthesis, nutrient absorption, water metabolism and activity of superoxide dismutase of rice, and, the relationship between water stress index, growth and development; 4—Research on the effect of soil water condition on the growth of rice seedling in seedling raising period, and, technique of raising rice seedling; 5—Study on water - saving technique in paddy field preparation; 6—Search for the minimum level of soil water potential in water - saving. Setting up plan of water - saving irrigation, analysing the relationships between water - saving and rice variety, planting density, nitrogen supplying level; 7—Setting up a complete set of scheme of water - saving method. Adjusting some index in water - saving irrigation in paddy field; 8—Making out a complete set of scheme of water - saving method for demonstrate in large scale plot; 9—Extending the technique in Jiangsu and demonstrating in the adjacent provinces.