

江西季节性干旱区节水条件下引种稻水分 生产力及产量品质分析

赵言文^{1,2}, 肖新², 胡锋²

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;

2. 南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095)

摘要: 以引种早、中、晚稻各4个品种和1个当地品种为材料, 通过田间试验对江西季节性干旱区节水灌溉条件下水稻水分利用效率、产量及品质进行了对比分析。结果表明, 在早稻、中稻、晚稻节约用水分别达10%、28%、26%条件下, 与其对照相比, 引种早稻品种中早27、中稻品种武运粳7号和两优培九、晚稻品种农香16和中香1号具有较高的经济与生态效益, 在该区具有广阔的推广前景。节水灌溉对中稻与晚稻的生长和稻米品质的影响表现出一致性。与常规灌溉模式相比, 节水灌溉下虽然水稻有效穗降低, 有的甚至达到显著差异, 但是每穗颖花数、结实率和千粒重的增加弥补了有效穗降低不足, 因此产量变化未达到显著差异。节水灌溉条件下糙米率、精米率、整精米率、胶稠度、碱消值、直链淀粉等性状提高, 而垩白率、垩白度、蛋白含量降低和稻米粒型变小。

关键词: 水稻; 节水灌溉; 水分利用效率; 产量; 稻米品质

中图分类号: S152.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)06-0045-07

我国是世界严重缺水的国家之一, 农业是用水最大用户, 农业用水总量4 000亿 m^3 , 占全国总用水量的70%, 而目前我国农田水分利用率和水分利用效率都较低, 其中农田灌溉水的利用率平均仅为40%~45%左右, 农田灌溉水的利用效率仅有1.0 kg/m^3 左右, 远远低于发达国家70%~80%和2.0 kg/m^3 以上的水平。在不增加现有农田灌溉用水量的情况下, 2030年全国缺水高达1 300亿~2 600亿 m^3 , 其中农业缺水500亿~700亿 m^3 ^[1]。加快发展节水高效农业, 不仅是解决我国水资源短缺、实现水资源高效利用的有力保障, 同时也是保障粮食安全、生态安全和水资源安全的重大基础战略。

江西季节性干旱区属亚热带季风气候区, 降雨丰沛、热量充足, 具有春秋短、夏冬长等气候特点, 但自然降雨时空分布不均, 与蒸发量分布不同步, 常年约50%集中在4~6月, 夏秋之间高温少雨, 7~9月蒸发量接近全年的一半, 常出现季节性干旱, 造成该区出现严重伏、秋干旱灾害^[2]。2003年创历史的高温, 导致了建国以来最严重的伏旱和重度秋旱、冬旱, 因干旱农作物受灾面积105.72万 hm^2 、成灾面积85.3万 hm^2 、绝收面积24.83万 hm^2 , 其中水稻受灾面积达82万 hm^2 , 成灾面积达62.7万 hm^2 , 造成了巨大的经济损失^[3]。季节性干旱的出现, 致使

水稻生产用水供给不足, 严重阻碍水稻生产^[4,5]。控制灌溉、间歇灌溉、水稻旱作等节水措施一直是研究的热点, 但节水灌溉对水稻生长和品质的影响的结论尚不一致^[6~9]。因此, 为探索节水灌溉技术在该区运用的可行性, 丰富当地的水稻品种, 建立适合该区的水稻节水栽培技术体系。本试验以15个水稻品种为材料, 通过研究节水条件下的水稻的水分利用效率及节水灌溉对水稻生长及稻米品质的影响, 以为水稻节水栽培和优质抗旱性品种引选提供技术与理论依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 试验区概况

试验分别于2003年与2004年在江西省余江县的江西省邓家埠水稻原种场进行。该区位于江西省东北部武夷山区向鄱阳湖平原的过渡地段, 东经116°41'~117°09', 北纬28°04'~28°37'。水、光、热资源丰富, 年均气温16.1℃~18.9℃, $\geq 10^\circ C$ 积温5 527.6℃, 年均日照1 852.4 h, 无霜期262 d, 年降雨量1 200~2 000 mm, 但降水年度和季节分布极不平衡, 降水量的季节变化超前于潜在蒸发量变化2.16~2.67月, 一旦春夏雨季结束, 随即进入伏秋高温和蒸发高峰期, 蒸发量明显高于降水量, 常出现

收稿日期: 2007-04-20

基金项目: 国家高新技术研究发展计划(2002AA2Z4331)

作者简介: 赵言文, 博士, 副教授。E-mail: ywzhao@njau.edu.cn.

通讯作者: 肖新, 博士, 主要从事农业生态与区域生态规划研究。E-mail: xiaoxin8088@126.com.

季节性干旱^[10~12]。

2003 年整个长江流域以南遭遇了建国以来最严重的伏旱天气。根据余江县气象局提供的资料, 2003 年水稻生育期内 6 个月的均温为 25.6℃, 明显高于 1954~1995 年同期的平均气温 24.7℃, 2003 年水稻生育期内的降雨量和潜在蒸发量分别为 898.4 mm 和 1119.4 mm, 1954~1995 年同期的历史平均数据分别为 954.8 mm 和 975.0 mm, 降雨量减少了 5.9%, 而潜在蒸发量却增加了 14.8%。尤其在中稻、晚稻生育期内, 降雨量减少了 35% 以上, 而潜在蒸发量却增加了 15% 以上。

1.2 材料与方法

1.2.1 水稻品种引进 试验共引进水稻品种 12 个, 其中早稻品种 4 个: 中早 27、浙 733、中 9 优 3190、中组 3 号, 由江西省邓家埠水稻原种场提供; 中稻品种 4 个: 武运粳 7 号、扬稻 6 号、两优培九、武香粳 14 号, 由江苏农业科学研究院提供; 晚稻品种 4 个: 茉莉新占、Ⅱ优 3027、中香 1 号、农香 16, 由中国农业科学院水稻研究所提供。

1.2.2 试验设计 早稻、中稻、晚稻分别种植 4 个引进品种和 1 个当地的水稻品种。田间试验采用随机区组设计, 早稻、中稻、晚稻试验各 7 个处理组合(表 1), 三次重复, 63 个小区, 小区面积 20 m²。小区间用塑料薄膜包埂, 单灌单排。

1.2.3 栽培管理 早稻在插秧前于 3 月 28 日早育秧苗, 秧龄 30 d。基施尿素 400 kg/hm²、过磷酸钙 760 kg/hm²、氯化钾 310 kg/hm², 氮肥基肥: 分蘖肥: 穗粒肥为 5:3:2。中稻在插秧前于 5 月 20 号早育秧苗, 秧龄 33 d。基施尿素 440 kg/hm², 过磷酸钙 670 kg/hm²、氯化钾 330 kg/hm², 氮肥基肥: 分蘖肥: 穗粒肥为 5:3:2。晚稻在插秧前于 6 月 26 号早育秧苗, 秧龄 28 d。基施尿素 440 kg/hm², 过磷酸钙 1 000 kg/hm²、氯化钾 330 kg/hm², 氮肥基肥: 分蘖肥: 穗粒肥为 5:3:2。田间水分管理按表 1 设定灌溉模式进行, 不同模式各生育时期的水分管理情况见表 2。早稻、中稻、晚稻的化学除草、病虫害防治等田间管理措施同当地常规生产。

表 1 试验处理设计
Table 1 Treatments of experiment

代码 Code	作物 Crop	品种 Cultivar	水分管理 Water management
ERI1	早稻 Early rice	中早 27 Zhonghan 27	间歇灌溉 Intermision irrigation
ERI2		中选 181 Zhongxuan 181	间歇灌溉 Intermision irrigation
ERI3		浙 733 Zhe 733	间歇灌溉 Intermision irrigation
ERI4		中 9 优 3190 Zhong 9 you 3190	间歇灌溉 Intermision irrigation
ERI5		中组 3 号 Zhongzu 3	间歇灌溉 Intermision irrigation
ERL1	中稻 Mid-season rice	中早 27 Zhonghan 27	常规灌溉 Common irrigation
ERL2		中选 181 Zhongxuan 181	常规灌溉 Common irrigation
SRC1		两优培九 Liangyoupejiu	控制灌溉 Controlled irrigation
SRC2		晚粳 923 Wanxian 923	控制灌溉 Controlled irrigation
SRC3		武运粳 7 号 Wuyunjing 7	控制灌溉 Controlled irrigation
SRC4	晚稻 Late rice	武香粳 14 号 Wuxiangjing 14	控制灌溉 Controlled irrigation
SRC5		扬稻 6 号 Yangdao 6	控制灌溉 Controlled irrigation
SRL1		两优培九 Liangyoupejiu	常规灌溉 Common irrigation
SRL2		晚粳 923 Wanxian 923	常规灌溉 Common irrigation
LRC1		晚稻 Late rice	农香 16 Nongxiang 16
LRC2	赣皖粳 19 号 Ganwanxian 19		控制灌溉 Controlled irrigation
LRC3	中香 1 号 Zhongxiang 1		控制灌溉 Controlled irrigation
LRC4	茉莉新占 Molixinzhan		控制灌溉 Controlled irrigation
LRC5	Ⅱ优 3027 Ⅱyou 3027		控制灌溉 Controlled irrigation
LRL1	晚稻 Late rice	农香 16 Nongxiang 16	常规灌溉 Common irrigation
LRL2		赣皖粳 19 号 Ganwanxian 19	常规灌溉 Common irrigation

表2 水稻不同灌溉模式的土壤水分调节标准

Table 2 Soil water adjustment criteria of different irrigation models in paddy rice

灌溉模式 Irrigation model	返青期 Returning green	分蘖前期 Initial tilling	分蘖后期 Late tilling	拔节孕穗期 Jointing to booting	抽穗扬花期 Heading to flowering	乳熟期 Milky stage	黄熟期 Yellow ripening
间歇灌溉 Intermission irrigation	10~20mm 水层 10~20 mm Water layer	80%的土壤饱和含水量~20mm水层 Saturated water content of 80% soil ~ 20 mm water layer	60%的土壤饱和含水量~晒田 Saturated water content of 60% soil~dried field	80%的土壤饱和含水量~20mm水层 Saturated water content of 80% soil ~ 20 mm water layer	80%的土壤饱和含水量~20mm水层 Saturated water content of 80% soil ~ 20 mm water layer	70%的土壤饱和含水量~20mm水层 Saturated water content of 70% soil ~ 20 mm water layer	自然落干 Natural drying
控制灌溉 Controlled irrigation	10~20 mm 水层 10~20 mm Water layer	80%~100%的土壤饱和含水量 Saturated water content of 80%~100% soil	60%的土壤饱和含水量~晒田 Saturated water content of 60% soil~dried field	80%~100%的土壤饱和含水量 Saturated water content of 80%~100% soil	80%~100%的土壤饱和含水量 Saturated water content of 80%~100% soil	70%~100%的土壤饱和含水量 Saturated water content of 70%~100% soil	自然落干 Natural drying
常规灌溉 Common irrigation	10~60 mm 水层 10~60 mm Water layer	10~60 mm 水层 10 ~ 60 mm Water layer	60%的土壤饱和含水量~晒田 Saturated water content of 60% soil~dried field	10~60 mm 水层 10 ~ 60 mm Water layer	10~60 mm 水层 10 ~ 60 mm Water layer	10~60 mm 水层 10 ~ 60 mm Water layer	自然落干 Natural drying

注:①表中连续2个数据分别为适宜水层下限—适宜水层上限;②在分蘖后期视土壤条件、气象条件和作物长势适时晒田。

Note:①The two continuous figures in the table mean appropriate water bottom limit—appropriate water top limit. ②Field drying based on soil conditions, weather conditions and figure of growth in the late tilling stage.

1.2.4 监测项目与方法 灌溉水量,用梯形量水堰测定^[13]。品质按 GB/T 17891—1999 测定;成熟后考种,实收各小区计算作物产量。

1.2.5 数据分析 数据采用 SPSS 12.0 (Statistical Package for the Social Science) 统计分析系统进行方差分析和相关性分析。由于两年试验结果趋势基本一致,在无特殊说明情况下,本文以 2003 年资料为准进行分析。

2 结果与分析

2.1 节水对水稻生长的影响

根据试验结果,以水稻产量构成因素及其相关因子为主要指标,列出表 3 中节水灌溉对水稻生长的影响。

中稻试验结果表明,控制灌溉下当地品种晚粳 923 和引种品种两优培九两品种的有效穗数、株高及产量低于常规灌溉,其中对有效穗和株高影响达到显著的差异,但对产量的影响未达到显著差异,如控制灌溉下两优培九的有效穗、株高分别比常规灌溉下低 9.8% 和 5.3%,而产量仅低 1.7%。控制灌

溉下两品种的穗长、每穗颖花数、结实率、千粒重高于常规灌溉,其中对每穗颖花数的影响达到显著差异,如控制灌溉下两优培九的每穗颖花数高于常规灌溉 5.8%。

晚稻试验结果表明,控制灌溉下当地品种赣晚粳 19 号和引种品种农香 16 的有效穗数、株高显著低于常规灌溉,如控制灌溉下农香 16 的有效穗和株高分别比常规灌溉低 9.0% 和 4.4%。控制灌溉下两品种的穗长、每穗颖花数、结实率、千粒重高于常规灌溉,其中对穗长和每穗颖花数影响达到显著差异,如控制灌溉下农香 16 的穗长、每穗颖花数高于常规灌溉 6.2% 和 5.9%。控制灌溉下两品种的产量与常规灌溉相比,未达到显著差异。

以上结果表明,与常规灌溉模式相比,控制灌溉下虽然水稻有效穗降低,甚至达到显著差异,但是每穗颖花数、结实率和千粒重的增加弥补了有效穗降低不足,因此产量变化未达到显著差异。可以看出节水灌溉模式能在节约用水的同时,不降低水稻产量,具有较高水分利用效率,该模式在该区一定具有较广阔的应用前景。

表 3 不同水分处理对水稻生长的影响

Table 3 Effect of different treatments on the growth of rice

处理 Treatment	有效穗数 Effective Panicle number ($10^4/\text{hm}^2$)	穗长 Spikelet length (cm)	株高 Plant length (cm)	每穗颖花数 No. of spikelet per plant	结实率 Seed setting rate (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	产量 Yield (kg/hm^2)
SRC1	228 _b	24.6 _a	117.5 _b	163 _a	90.9 _a	25.2 _a	8513 _a
SRL1	253 _a	23.4 _a	124.2 _a	154 _b	88.9 _a	25.0 _a	8659 _a
SRC2	266 _b	21.3 _a	109.3 _b	111 _a	91.0 _a	27.6 _a	7416 _a
SRL2	293 _a	20.1 _a	114.3 _a	106 _b	88.1 _a	27.5 _a	7525 _a
LRC1	264 _b	24.1 _a	108.0 _b	107 _a	90.0 _a	26.4 _a	6712 _a
LRL1	290 _a	22.7 _b	113.0 _a	101 _b	87.1 _a	26.3 _a	6710 _a
LRC2	278 _b	26.4 _a	88.7 _b	116 _a	82.2 _a	24.9 _a	6600 _a
LRL2	309 _a	24.7 _b	92.8 _a	110 _b	78.8 _a	24.8 _a	6642 _a

注:不同字母表示在 0.05 水平上差异显著,下表同。

Note: The different letters are significantly different at $P < 0.05$, and the same below.

2.2 节水条件不同品种产量效应与水分生产力

2.2.1 产量效应 在江西季节性干旱区,研究节水条件下水稻品种引种,要充分考虑其经济效益和水分利用效率。早稻试验结果表明(表 4),当地水稻品种中选 181 在常规灌溉下产量(ERL2)为 5 571

kg/hm^2 ;引种的 4 个早稻品种在水分管理上采用间歇灌溉技术,在节水 10%的情况下,产量因品种不同而有差异,其中,中早 27 比对照(ERL2)增产 6.7%,产量达 5 944 kg/hm^2 ,其它三个水稻品种产量减少 16.3%~27.8%。

表 4 节水条件下不同水稻品种的稻谷产量

Table 4 Grain yield of different rice cultivations under water-saving condition

处理 Treatment	有效穗数 Effective Panicle number ($10^4/\text{hm}^2$)	每穗颖花数 No. of spikelet per plant	结实率 Seed setting rate (%)	千粒重 1000-grain weight (g)	产量 Yield (kg/hm^2)	增产 Yield increment (%)	增收 Incremental profitability (%)	成本收益率 cost-benefit ratio
ERI1	311	120	67.2	23.7	5944 _a	6.7	47.1	0.48 _a
ERI2	253	136	62.9	25.9	5605 _{ab}	0.6	21.4	0.40 _b
ERI3	186	123	67.1	26.2	4022 _d	-27.8	-99.1	0.00 _e
ERI4	231	151	58.9	22.4	4602 _c	-17.4	-54.9	0.15 _d
ERI5	286	132	49.0	25.2	4662 _c	-16.3	-50.4	0.16 _d
ERL1	328	114	67.1	23.7	5946 _a	6.7	28.5	0.40 _b
ERL2	264	131	62.2	25.9	5571 _{ab}	0	0	0.31 _c
SRC1	228	163	90.9	25.2	8513 _{ab}	13.1	46.9	0.99 _{ab}
SRC2	266	111	91.0	27.6	7416 _c	-1.4	8.8	0.73 _c
SRC3	281	155	90.2	23.0	9036 _a	20.1	65.0	1.11 _a
SRC4	276	102	93.7	27.4	7228 _c	-3.9	2.2	0.69 _{cd}
SRC5	248	115	85.8	29.0	7096 _c	-5.7	-2.3	0.66 _{cd}
SRL1	253	154	88.9	25.0	8659 _{ab}	15.1	39.4	0.86 _b
SRL2	293	106	88.1	27.5	7525 _{bc}	0	0	0.62 _d
LRC1	264	107	90.0	26.4	6712 _a	1.0	15.8	0.66 _a
LRC2	278	116	82.2	24.9	6600 _a	-0.6	10.9	0.63 _a
LRC3	290	146	70.1	22.9	6797 _a	2.3	19.5	0.68 _a
LRC4	270	142	81.9	18.8	5903 _b	-11.1	-19.4	0.46 _{bc}
LRC5	205	150	76.0	23.5	5492 _c	-17.3	-37.3	0.36 _{bc}
LRL1	290	101	87.1	26.3	6710 _a	1.0	2.9	0.54 _b
LRL2	309	110	78.8	24.8	6642 _a	0	0	0.53 _b

在中稻试验中(表 4),当地水稻品种晚粳 923 在常规灌溉下产量(SRL2)为 $7\ 525\ \text{kg}/\text{hm}^2$;引种的 4 个中稻品种在水分管理上采用控制灌溉技术,在节水 28%的情况下,两优培九和武运粳 7 号分别比对照(SRL2)增产 13.1%和 20.1%。在晚稻试验中(表 4),当地水稻品种赣晚粳 19 号在常规灌溉下产量(LRL2)为 $6\ 642\ \text{kg}/\text{hm}^2$;引种的 4 个晚稻品种在水分管理上采用控制灌溉技术,在节水 26%的情况下,农香 16 和中香 1 号分别比对照(LRL2)增加 1.0%和 2.3%。

从经济效益考虑,早稻试验结果表明(表 4),节水灌溉下增收最大的品种为中早 27 达 47.1%,节水灌溉下其它 3 个品种的纯收入都低于对经常规灌溉下中选 181。在中稻试验中(表 4),除扬稻 6 号外,节水灌溉下其它 3 个品种的纯收入都比对经常规灌溉下晚粳 923 增加,增收最大的品种为武运粳 7 号达 65.0%。从表 4 还可以看出,在供试晚稻品种中,节水灌溉下农香 16 和中香 1 号的纯收入高于对经常规灌溉下赣晚粳 19 号,分别达到 15.8%和 19.5%,其它两个品种纯收入低于对照。就成本收

益率而言,早稻引种的 4 个品种以中早 27 最高,达到 0.48;中稻引种的 4 个品种以武运粳 7 号最高,达到 1.10;晚稻引种的 4 个品种以中香 1 号最高,达到 0.68;以上品种的成本收益率均高于其各自的常规灌溉下的对照品种,经济效益显著。

2.2.2 水分生产力 从水分利用效率考虑,种植水稻比其它作物所消耗的水要多,尤其是在季节性干旱区,水资源季节性缺乏是一个十分严重的问题,因此提高水分生产率是一个重要的对策。本试验结果表明采用节水灌溉技术,与常规灌溉相比,早稻、中稻、晚稻节约用水分别达 10%、28%、26%(表 5)。就水分生产率和灌溉水生产率而言,除引进的早稻品种浙 733、中 9 优 3190 及中组 3 号外,节水灌溉下所有引进的早稻、中稻、晚稻品种均高于其常规灌溉下的对照品种。早稻以中早 27 最高,水分生产率和灌溉水生产率分别达到 $1.03\ \text{kg}/\text{m}^3$ 和 $2.58\ \text{kg}/\text{m}^3$;中稻以武运粳 7 号最高,水分生产率和灌溉水生产率分别达到 $0.97\ \text{kg}/\text{m}^3$ 和 $1.45\ \text{kg}/\text{m}^3$;晚稻以中香 1 号最高,水分生产率和灌溉水生产率分别达到 $1.01\ \text{kg}/\text{m}^3$ 和 $1.36\ \text{kg}/\text{m}^3$ 。

表 5 不同水稻品种水分生产力

Table 5 Water productivity of different rice cultivars

处理 Treatment	灌溉水量 Irrigation water (m^3/hm^2)	耗水量 Water consumption (m^3/hm^2)	产量 Yield (kg/hm^2)	水分生产率 Water utilization efficiency (WUE) (kg/m^3)	灌溉水生产率 Irrigation water utilization efficiency (WUE) (kg/m^3)
ERI1	2306 _b	5745 _b	5944 _a	1.03 _a	2.58 _a
ERI2	2306 _b	5745 _b	5605 _{ab}	0.98 _a	2.43 _a
ERI3	2306 _b	5745 _b	4022 _c	0.70 _c	1.74 _d
ERI4	2306 _b	5745 _b	4602 _b	0.80 _b	2.00 _{bc}
ERI5	2306 _b	5745 _b	4662 _b	0.81 _b	2.02 _b
ERL1	2817 _a	6395 _a	5946 _a	0.93 _{ab}	2.11 _b
ERL2	2817 _a	6395 _a	5571 _{ab}	0.87 _b	1.98 _c
SRC1	6223 _b	9359 _b	8513 _{ab}	0.91 _a	1.37 _a
SRC2	6223 _b	9359 _b	7416 _c	0.79 _b	1.19 _b
SRC3	6223 _b	9359 _b	9036 _a	0.97 _a	1.45 _a
SRC4	6223 _b	9359 _b	7228 _c	0.77 _b	1.16 _b
SRC5	6223 _b	9359 _b	7096 _c	0.76 _b	1.14 _b
SRL1	10284 _a	13042 _a	8659 _{ab}	0.66 _{bc}	0.84 _c
SRL2	10284 _a	13042 _a	7525 _{bc}	0.58 _c	0.73 _c
LRC1	4853 _b	6538 _b	6712 _a	1.03 _a	1.38 _a
LRC2	4853 _b	6538 _b	6600 _a	1.01 _a	1.36 _{ab}
LRC3	4853 _b	6538 _b	6797 _a	1.04 _a	1.40 _a
LRC4	4853 _b	6538 _b	5903 _b	0.90 _b	1.22 _{bc}
LRC5	4853 _b	6538 _b	5492 _c	0.84 _b	1.13 _c
LRL1	7333 _a	8848 _a	6710 _a	0.76 _c	0.91 _d
LRL2	7333 _a	8848 _a	6642 _a	0.75 _c	0.91 _d

综合上述研究结果,在江西季节性干旱区,早稻推广中早 27、中稻推广武运粳 7 号和两优培九、晚稻推广农香 16 和中香 1 号具有广阔的前景。

2.3 节水对稻米品质的影响

2.3.1 加工品质 试验结果表明(表 6),控制灌溉下中稻当地品种晚粳 923 和引种品种两优培九及晚稻当地品种赣晚粳 19 号和引种品种农香 16 的糙米

率、精米率均高于其对应的常规灌溉,其中对糙米率和精米率的影响未达到显著水平,而对整精米率的影响达到显著差异,如控制灌溉下中稻品种两优培九及晚稻品种农香 16 的整精米率分别比其常规灌溉高 6.6%、4.3%。以上结果表明,节水灌溉有利于改善稻米的加工品质。

表 6 不同水分处理对稻米品质的影响

Table 6 Effect of different treatments on grain quality in rice

处理 Treatment	糙米率 Brown rice (%)	精米率 Milled rice (%)	整精米率 Head rice rate (%)	长宽比 Length/width	垩白率 Chalky grain rate (%)	垩白度 Chalkiness (%)	碱消值 Alkali Spreading value	胶稠度 Gel consistency (mm)	直链淀粉含量 Amylose content (%)	蛋白质含量 Protein content (%)
SRC1	81.77 _a	75.46 _a	57.76 _a	2.87 _a	32.74 _b	4.02 _b	5.96 _a	69.58 _a	21.80 _a	9.96 _a
SRL1	81.64 _a	74.10 _a	54.20 _b	2.90 _a	35.00 _a	4.30 _a	6.07 _a	66.60 _a	21.60 _a	10.10 _a
SRC2	78.52 _a	73.15 _a	71.47 _a	3.36 _a	3.72 _b	0.37 _b	6.99 _a	54.77 _a	15.94 _a	8.59 _a
SRL2	71.40 _a	71.80 _a	68.54 _b	3.37 _a	3.98 _a	0.40 _a	7.00 _a	52.00 _a	15.70 _a	8.70 _a
LRC1	79.53 _a	73.98 _a	71.50 _a	3.36 _a	2.92 _a	0.47 _a	7.11 _a	64.91 _a	15.34 _a	9.57 _a
LRL1	78.40 _a	73.62 _a	68.57 _b	3.40 _a	3.12 _a	0.50 _a	7.22 _a	60.11 _a	15.20 _a	9.80 _a
LRC2	81.82 _a	71.73 _a	62.50 _a	3.26 _a	0 _a	0 _a	7.07 _a	98.38 _a	20.18 _a	8.44 _a
LRL2	80.69 _a	70.38 _a	58.81 _b	3.29 _a	0 _a	0 _a	7.08 _a	95.00 _a	20.06 _a	8.45 _a

2.3.2 外观品质 灌溉方式对籽粒的长宽比无显著影响,但中稻及晚稻试验结果均表明,与常规灌溉模式相比,节水灌溉下籽粒的长宽比有变小的趋势。中稻试验结果表明,灌溉方式对稻米的垩白率和垩白度存在显著影响,控制灌溉下稻米的垩白率和垩白度低于常规灌溉。如控制灌溉下中稻品种两优培九的垩白率、垩白度分别低于常规灌溉 6.5%、6.5%(表 6)。

2.3.3 蒸煮和营养品质 中稻与晚稻试验结果表明(表 6),灌溉方式对稻米的碱消值、直链淀粉含量及蛋白质含量无显著影响,大致表现为节水灌溉下稻米的碱消值、直链淀粉含量高于常规灌溉,而蛋白质含量则是节水灌溉略低于常规灌溉。灌溉方式对稻米的胶稠度有一定的影响,表现为节水灌溉下稻米的脚稠度高于常规灌溉,但差异也未达到显著水平。

3 结论与讨论

本研究表明,在节水 10%的情况下,引种早稻品种中早 27 比对照(ERL2)增产 6.7%,增收 47.1%,在节水 28%的情况下,引种中稻品种两优培九和武运粳 7 号分别比对照(SRL2)增产 13.1%、20.1%,增收 46.9%、65.0%。在节水 26%的情况下,引种晚稻品种农香 16 和中香 1 号分别比对照

(LRL2)增产 1.0%和 2.3%,增收 15.8%和 19.5%。从水分利用效率考虑,与其对照相比,引种早稻品种中早 27,中稻品种两优培九和武运粳 7 号,引种晚稻品种农香 16 和中香 1 号的水分利用效率分别提高 18.4%、56.9%和 67.2%、37.3%和 38.7%。综合来看,早稻品种中早 27、中稻品种武运粳 7 号和两优培九、晚稻品种农香 16 和中香 1 号在南方丘陵季节性干旱区具有广阔的前景。本研究中早稻、中稻及晚稻共引种 12 个,相对而言,引种数量较少,将在进一步研究中,加大引种数量,以筛选出更多适合该区优质抗旱性品种,同时有助于丰富该区水稻种质资源多样性。

研究区的常规灌溉模式是建立在充分灌溉的基础上,该灌溉模式不仅造成大量的棵间蒸发和深层渗漏损失,同时也大大增加了作物的蒸腾量。本研究结果表明,在相同的农艺技术和气象因素条件下,节水灌溉下早稻、中稻、晚稻分别比其对照常规灌溉模式节水 10%、28%、26%,且达到显著差异,与前人的研究结果相近^[14~17]。众多研究表明,采用“间歇灌溉”和“湿润灌溉”及“控制灌溉”等节水灌溉模式,水稻耗水量比传统灌溉要显著减少,且产量和稻米品质没有显著差异^[14,18~19],这说明在非亏缺条件下合理水分调控可实现高产和高水分利用效率的双重目标。与传统灌溉相比,间歇灌溉和控

制灌溉提高了水稻的产量和水分利用效率,同时由于改善水稻群体结构,协调了“源”的积累与“库”的形成,使产量构成更加合理,本研究的部分结果也证实这一点。在本研究中,与常规灌溉模式相比,节水灌溉下虽然水稻有效穗降低,有的甚至达到显著差异,但是每穗颖花数、结实率和千粒重的增加,弥补有效穗降低不足,因此产量变化未达到显著差异,可以看出节水灌溉模式能在节约用水的同时,不降低水稻产量,具有较高水分利用效率。

环境对稻米加工品质、外观品质、蒸煮和营养品质的遗传均有不同程度的影响^[20~23],存在基因型与环境互作。众多研究结果表明,节水灌溉条件下稻米品质在一定程度上有所提高,米质结构并不因田间耗水量增加而产生正效应。从本试验结果来看,不同灌溉模式下稻米品质性状有所不同,总体上节水灌溉条件下糙米率、精米率、整精米率、胶稠度、碱消值、直链淀粉等性状都有不同程度的提高,而有垩白率、垩白度、蛋白含量降低和稻米粒型变小的特点,总体看来,节水灌溉下稻米品质有变优的趋势。这可能是由于在节水灌溉条件,水稻籽粒中蔗糖合成酶(SuS)一催化蔗糖降解的关键酶和葡萄糖焦磷酸化酶(AGP)、淀粉合成酶(StS)及淀粉分支酶(SBE)等淀粉合成关键酶的活性有所提高^[9]所致,上述酶活性与稻米品质显著相关,对稻米品质形成起重要作用。

参考文献:

- [1] 武雪萍,梅旭荣,蔡典雄,等.节水农业关键技术发展趋势及国内外差异分析[J].中国农业资源与区划,2005,26(4):28-32.
- [2] 陈家宙,陈明亮,何圆球.不同水分状况下红壤水稻的水量平衡和成产能力[J].华中农业大学学报,2000,19(3):72-77.
- [3] 黄国勤,钱海燕.江西省近年来的农业自然灾害及其防治对策[J].灾害学,2005,20(2):61-65.
- [4] 肖新,赵言文,胡锋,等.南方丘陵典型季节性干旱区水稻节水灌溉的密肥互作效应研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(6):73-79.
- [5] 王明珠.我国南方季节性干旱研究[J].农村生态环境,1997,13(2):6-10.
- [6] 彭世彰,郝树荣,刘庆,等.节水灌溉水稻高产优质成因分析[J].灌溉排水,2000,(3):3-7.

- [7] 蔡一霞,朱庆森,王志琴,等.结实期土壤水分对稻米品质的影响[J].作物学报,2002,28(5):601-608.
- [8] 尤小涛,荆奇,姜东,等.水灌溉条件下氮肥对梗稻米产量和品质及氮素利用的影响[J].中国水稻科学,2006,20(2):199-204.
- [9] 杨建昌,袁莉民,唐成,等.结实期干湿交替灌溉对稻米品质及籽粒中一些酶活性的影响[J].作物学报,2005,31(8):1052-1057.
- [10] 景元书,张斌,王明珠,等.鹰潭小流域季节性降雨径流特征研究[J].水土保持学报,2003,17(5):45-47.
- [11] 吴大付,何园球.江西省余江县生态农业综合评价[J].土壤学报,2004,41(5):819-822.
- [12] 肖新,赵言文,胡锋,等.南方丘陵典型季节性干旱区节水稻作模式生态系统功能特征研究[J].水土保持学报,2006,20(03):74-78.
- [13] 王熹,陶龙兴,黄效林,等.灌溉稻田水稻旱作技术要素及产量形成[J].中国农业科学,2004,37(4):502-509.
- [14] 程建平,曹凑贵,蔡明历,等.不同灌溉方式对水稻生物学特性与水分利用效率的影响[J].应用生态学报,2006,17(10):1895-1865.
- [15] 迟道才,王王宣,张玉龙,等.水稻节水高产灌溉模式及土壤水分能量调控标准研究[J].灌溉排水学报,2003,22(4):39-42.
- [16] 钱晓晴,沈其荣,徐勇,等.不同水分管理方式下水稻的水分利用效率与产量[J].应用生态学报,2003,14(3):399-404.
- [17] 王笑影,梁文举,闻大中.间歇灌溉对北方水稻生理生态需求的影响[J].应用生态学报,2004,15(10):1911-1915.
- [18] Borrell A, Garside A, Fukai S. Improving efficiency of water use for irrigated rice in a semi-arid tropical environment [J]. Field Crops Research, 1997, 52: 231-248.
- [19] Lu J, Ookawa T, Hirasawa T. 2000. The effects of irrigation regimes on the water use, dry matter production and physiological responses of paddy rice [J]. Plant Soil, 2000, 233: 207-216.
- [20] 石春海,吴建国,樊龙江,等.不同环境条件下稻米透明度的发育遗传分析[J].遗传学报,2002,29(1):56-61.
- [21] 石春海,吴建国,樊龙江,等.不同环境下籼稻糙米重的发育遗传研究[J].植物学报,2001,43(6):603-609.
- [22] Shi C H, Zhu J, Wu J G, Fan L J. Genetic and genotype \times environment interactions effects from embryo, endosperm, cytoplasm and maternal plant for rice grain shape traits of indica rice [J]. Field Crop Research, 2000, 68: 191-198.
- [23] 包劲松,何平,李仕贵,等.异地比较定位控制稻米蒸煮食用品质的数量性状基因[J].中国农业科学,2000,33(5):1-7.

(英文摘要下转第56页)

Effects of fertilizer application operation on physiology and yield of maize in Karts Mountainous Areas

LU Yin-gang, YUAN Hong-wei, LIU Jun-xia, CUI Bao-wei

(Agricultural College, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

Abstract: Taking PZH-15 as the material, based on the prerequisites of N、P、K with identical matching, designing different fertilizer consumption, the fertilizer operation of maize in Karts area has studied and analyzed the impact on physiological characteristic and output of every fertilizer treatment. The result shows: in 0~360 kg/hm² fertilizer can improve the plant height, dry matter accumulation of maize, nitrogen accumulation, root vigor, leaf nitrate reeducates activity, chlorophyll content and yield, meanwhile the leaves' nitrate reeducates activity, dry matter accumulation and the final output of wheat, root activity and other indicators were significantly correlated; Cultivating under the same conditions and dropping the fertilizer amount from 360 kg/hm² to 315 kg/hm², the dry matter accumulation will be increased, the roots vigor and leaf nitrate reeducates activity will be strengthened, but the yield are not obviously different in the same treatment. In this experimental condition, applying 236 kg/hm² potassium fertilizer, 158 kg/hm² phosphorus, 315 kg/hm² nitrogen and deeply applying top-dress in the ear period is the optimized handling in the total nutrient supply and coordinating distribution periods.

Keywords: fertilizer application; Karts mountainous areas; maize; physiological basis; yield

(上接第 51 页)

Water utilization efficiency, yield and quality of rice under condition of water-saving in the seasonal dry hilly regions of Jiangxi Province

ZHAO Yan-wen^{1,2}, XIAO Xin², HU Feng²

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering,

Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098; 2. College of Resources and Environmental Sciences,

Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China)

Abstract: The biological characteristics of introducing rice cultivars under condition of water-saving and effects of water-saving irrigation on rice growth and grain quality were studied by using 12 introduced rice cultivar and 3 local rice cultivar as material in the seasonal dry hilly regions of southern China. The results showed the early rice, mid-season rice and late rice was under the condition of 10%, 28%, and 26% water-saving respectively, the introduced early rice cultivar Zhanghan 27, mid-season rice cultivar Liangyoupeijiu and Wuyunjing 7, late rice cultivar Nongxiang 16 and Zhongxiang 1 has higher economic benefit and ecological benefit, and has a bright prospect of extension in the region. The effective panicle number and plant length in water-saving irrigation was lower than that in common irrigation, but the spikelet length, No. of spikelet per plant, seed setting rate and 1000-grain weight in water-saving was higher than that in common irrigation. Among which effects of water-saving irrigation on the effective panicle number, plant length and No. of spikelet per plant had notable discrepancy in some rice cultivars. Compared with the common irrigation, the brown rice rate, milled rice rate, head rice rate, gel consistency, amylose content and alkali-spreading value was increased, but length/width, chalky grain rate and chalkines was decreased. Therefore the rice grain quality could be improved in water-saving irrigation.

Keywords: rice; water saving irrigation; WUE; yield; quality