

▪ 作物水肥高效利用 ▪

文章编号: 1672-3317(2023)10-0001-08

不同灌溉模式下常规稻与杂交稻生长及水分利用的差异性分析

郑世宗, 肖梦华*

(浙江省水利河口研究院(浙江省海洋规划设计研究院)), 杭州 310020)

摘 要:【目的】探究浙江省典型水稻品种在薄露灌溉、常规淹灌条件下需耗水规律与生长特性,明晰稻田灌溉调控对水稻需水规律、水分利用及产量的影响机制。【方法】2018—2020 年在嘉兴市平湖灌溉试验站开展了田间小区试验,设置了 2 种水稻品种(常规水稻秀水 134 和杂交水稻甬优 9 号)和 2 种灌溉模式(常规淹灌和薄露灌溉),研究了不同灌溉模式下不同水稻品种水稻生长指标(叶面积指数、干物质总量、根系生长、产量)和需水规律(需水量、耗水量、灌溉定额、水分利用效率)变化。【结果】薄露灌溉水稻需耗水量均低于常规淹灌,常规淹灌水稻需耗水受水文年型影响显著,随着降水量增加,全生育期需耗水呈现增加趋势,常规水稻需耗水量均略低于杂交水稻;相比常规淹灌,薄露灌溉日均耗水量降低 22.6%~59.5%,不同水稻品种日耗水规律总体上一致,杂交水稻日均耗水量略高于常规水稻,变幅为 1.3%~3.0%;相比常规淹灌,薄露灌溉水稻产量增加 1.7%;相比常规水稻,杂交水稻产量增加 31.9%;相比常规淹灌,薄露灌溉模式灌溉定额降低了 30.1%~35.0%,且灌溉水利用效率(WUE_i)与耗水利用效率(WUE_{ET})显著提高,不同水稻品种,由于产量差异显著,叠加不同灌溉模式的影响,导致 WUE_i 与 WUE_{ET} 差异显著。【结论】薄露灌溉有利于水稻各生育期叶面积的合理分配和发展,杂交水稻有利于水稻叶面积增长与干物质积累;水稻需耗水量、灌溉定额受灌溉模式、水文年型影响显著,与水稻品种没有相关关系。

关键词: 水稻品种; 需水规律; 水文年型; 薄露灌溉; 生长特性

中图分类号: S143.1; S274.3

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2022648

OSID:



郑世宗, 肖梦华. 不同灌溉模式下常规稻与杂交稻生长及水分利用的差异性分析[J]. 灌溉排水学报, 2023, 42(10): 1-8.
ZHENG Shizong, XIAO Menghua. Growth and Water Use between Conventional and Hybrid Rices as Impacted by Different Irrigations[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2023, 42(10): 1-8.

0 引言

【研究意义】水稻是我国重要的粮食作物,其生产规模的稳定与发展对保障粮食安全具有重要作用^[1]。水稻是耗水量最大的作物,其灌溉用水量约占全国农业用水量 1/3 以上,发展水稻节水灌溉对国家水安全也有重要影响^[2]。水稻水分利用特性反映了水稻生长过程中对水分需求及利用的内在机理与特征,掌握水稻水分利用特性,有利于科学制定水稻节水灌溉策略,实现水稻节水增产^[3]。【研究进展】针对不同水稻品种的农学特性与生物学特性,国内外学者发现不同水稻品种生长特性与吸收转化能力差异较大^[4],其中杂交稻的增产潜力一般比常规稻高 10%~20%,吸氮能

力高于常规稻^[5-6];一些研究者^[7-8]将水稻根系特性与土壤氮素转化过程相结合,证明杂交水稻品种根系通气组织发达,促进水稻侧根发育和伸长,间接增加氮素吸收效率。针对水稻需水特性的研究,微观层面主要集中在不同田间水分调控对水稻水分高效利用的影响,探讨了水稻的株型、叶型、气孔特性、叶片光合与蒸腾特性、根系形态生理与水分吸收和运输、植物激素、分子机制等方面对水分高效利用的影响机理,研究了环境因素、土壤特性、水分管理方式、肥料施用等方面对水稻水分高效利用的影响^[9-11];宏观层面主要集中在气候变化下区域水稻需水量(灌溉需水量)时空分布特征的研究。但针对水稻品种对作物水分利用特性的影响,国内相关研究领域匮乏,相关影响机制不明晰^[12-13]。【切入点】本文基于嘉兴市平湖灌溉试验站 2018—2020 年田间试验数据,分析不同水稻品种在不同灌溉模式下对作物生长及水分利用特性的影响。【拟解决的关键问题】明晰稻田灌溉调控对水稻需耗水、水分利用及产量的影响机制,为制定区域水稻节水灌溉策略提供理论支撑。

收稿日期: 2022-11-17 修回日期: 2023-06-26 网络出版日期: 2023-10-18
基金项目: 浙江省基础公益研究计划项目(LGN22E090001, LTGN23E090001);
浙江省省属科研院所扶持专项项目(ZIHEYS23001); 院长科学基金项目
(ZIHE21Z006)

作者简介: 郑世宗(1975-), 男。正高级工程师,主要从事农业节水及其生态环境效应研究。E-mail: zhengsz001@126.com

通信作者: 肖梦华(1983-), 女。高级工程师,主要从事农业灌溉理论
研究。E-mail: menghuaxiao@aliyun.com

©《灌溉排水学报》编辑部, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议

1 材料与方法

1.1 试验区基本情况

试验于 2018—2020 年在嘉兴市平湖灌溉试验站开展。试验区 ($30^{\circ}43'N$, $121^{\circ}10'E$) 属于杭嘉湖平原区, 可代表浙北粮食生产区用水的基本特点及环境特征, 年降水量 1 669 mm, 年平均气温 $24^{\circ}C$, 无霜期 225~245 d, 平均相对湿度 82%, 日照时间 2 037 h。试验区内有标准水稻试验小区 24 个 (规格 $6\text{ m}\times 22\text{ m}$)。经测定, 试验区土壤为黏土, 土壤 pH 值为 6.0, 土壤体积质量为 1.5 g/cm^3 , 全氮量为 2.6 g/kg , 有机质量为 36.2 g/kg , 速效磷量为 8.6 mg/kg 。

表 1 2018—2020 年各处理田间水分、水位控制标准

Table 1 Farmland water content and water level control standard of each treatment in year 2018—2020

灌溉模式	上下限/mm	返青期	分蘖前期	分蘖后期	拔节期	抽穗期	乳熟期	黄熟期
W0	灌溉下限	20	20	30	30	10	10	0
	灌溉上限	30	50	60	60	50	50	0
	蓄雨上限	50	70	90	100	100	60	20
W1	灌溉下限	5	田面微裂 ($0.8\theta_s$)	田面裂缝 ($0.7\theta_s$)	田面微裂 ($0.9\theta_s$)	0	田面微裂 ($0.8\theta_s$)	自然落干
	灌溉上限	30	20	20	30	30	20	
	蓄雨上限	40	50	0	60	60	30	

注 表中数字为田面淹水深度, θ_s 为田间饱和含水率。

1.3 观测指标

常规水稻根系分布在 0~20 cm 土层, 杂交水稻根系分布在 25~35 cm 土层; 水稻耗水量测定, 田面有水层时, 测针测定水位, 田面无水层时, 每隔 3~5 d 用土壤水分测定仪测定 0~20 cm (常规水稻)、20~40 cm (杂交水稻) 土壤含水率; 使用稻田渗漏仪测定 0~20 cm (常规水稻)、20~40 cm (杂交水稻) 土层稻田渗漏量, 即测针测得前后 2 d 的读数差, 每天观测 1 次 (露田期除外); 水稻需水量 (腾发量) 测定, 为耗水量与渗漏量差值。利用安装在每个试验小区的计量水表, 测量灌溉期水稻每次灌溉水量。测针测定排水前后的水位差值即田间排水量。

水稻生长特性指标包括叶面积指数 (LAI)、地上部分 (茎、叶、穗) 干物质总量、根系、产量。分蘖期开始, 每个生育期内采用叶面积测定仪测定冠层叶面积指数; 对水稻植株地面部分取样, 地上各部分 (茎、叶、穗) 烘干后称质量测定干物质总量; 清洗根系测定根长; 在生育期结束时, 对试验小区单独测产, 测定稻谷实际产量。

1.4 分析方法

水稻水分利用效率 (WUE) 是指在一定的作物品种和耕作栽培条件下, 单位水资源量所获得的产量或产值, 即作物产量与消耗水量的比值, 其中 WUE_I 、 WUE_P 、 WUE_{ET} 分别为灌溉水利用效率、降水利用效率与耗水利用效率。本文应用 SPSS 26 进行双因素方差分析。

1.2 试验设计

供试的水稻品种为杭嘉湖地区主导的水稻品种, 分别为常规水稻 X (粳稻: 秀水 134)、杂交水稻 Y (籼粳: 甬优 9 号)。试验设置常规淹灌 (W0) 和薄露灌溉 (W1) 2 种灌溉方式, 分别在水稻返青期、分蘖期、拔节期、抽穗期、乳熟期和黄熟期 6 个生育阶段进行水分、水位调控试验, 生育期田间灌溉控制标准如表 1。每个处理设置 3 个重复, 小区随机排列, 其他农业措施 (如种植密度、施肥用药等) 各小区保持一致。各处理施肥管理采用 3 次施肥方式 (F3), 分别为基肥、分蘖肥与穗肥, 肥料品种均为尿素, 施肥量分别为 130、80、50 kg/hm^2 , 其中氮素质量分数为 47%。

2 结果与分析

2.1 试验期降水典型性分析

水稻小区试验结果受外部水文气象条件的影响很大, 特别是降水量, 直接影响着水稻需水量及灌溉定额。为反映试验成果的代表性, 采用平湖气象站水稻生育期实测降水量资料 (30 a 以上) 开展试验期降水典型性分析, 利用水文适线法获得不同降水频率对应的降水量值, 如表 2。统计 2018—2020 年平湖试验站水稻实测降水情况, 2018 年降水量 388 mm, 相对多年平均 (接近 50% 频率) 偏枯水年型; 2019 年 438 mm, 相对多年平均偏丰水年型; 2020 年 555 mm, 属于丰水年型。由此, 以上述期间的试验资料作为分析样本, 具有较好的代表性。

表 2 2018—2020 年水稻生育期降水频率分析

Table 2 Analysis of rainfall frequency during rice

growth period in the year 2018—2020						
降水频率/%	5	10	50	75	90	95
降水量/mm	753	665	405	298	215	172

2.2 不同灌溉模式、水稻品种对作物生长特性影响

2.2.1 水稻叶面积指数 (LAI)

2018—2020 年不同灌溉模式、不同水稻品种叶面积指数 (LAI) 变化见图 1。不同灌溉模式比较, 薄露灌溉模式在分蘖期至乳熟期 LAI 均高于常规淹灌模式, 在黄熟期 2 种灌溉模式 LAI 趋于一致; 薄露灌溉模式水稻 LAI 动态变化呈抛物线状, LAI 峰值出现

在抽穗期间，抽穗期后 *LAI* 降低，进入生殖生长期；相比常规淹灌模式，薄露灌溉模式水稻在分蘖期、拔节期、抽穗期、乳熟期、黄熟期 *LAI* 分别提高了 26.2%、9.0%、4.6%、7.2%、0.2%，不同灌溉模式对 *LAI* 动态变化影响明显。不同水稻品种比较，杂交水稻全生育期内 *LAI* 明显高于常规水稻，相比常规水稻，杂交水稻在分蘖期、拔节期、抽穗期、乳熟期、黄熟期 *LAI* 分别提高了 30.0%、23.2%、17.6%、23.6%、21.2%，

相比灌溉模式，不同水稻品种 *LAI* 动态变化差异较大；此外，杂交水稻 *LAI* 峰值均出现在乳熟期，相比常规水稻更有利于后期水稻高产。

综上，相同水稻品种，薄露灌溉模式有利于水稻各生育期 *LAI* 的合理分配和发展，各生育阶段 *LAI* 稳定，且分布合理，效果最佳；不同水稻品种比较，杂交水稻更有利于 *LAI* 增加。

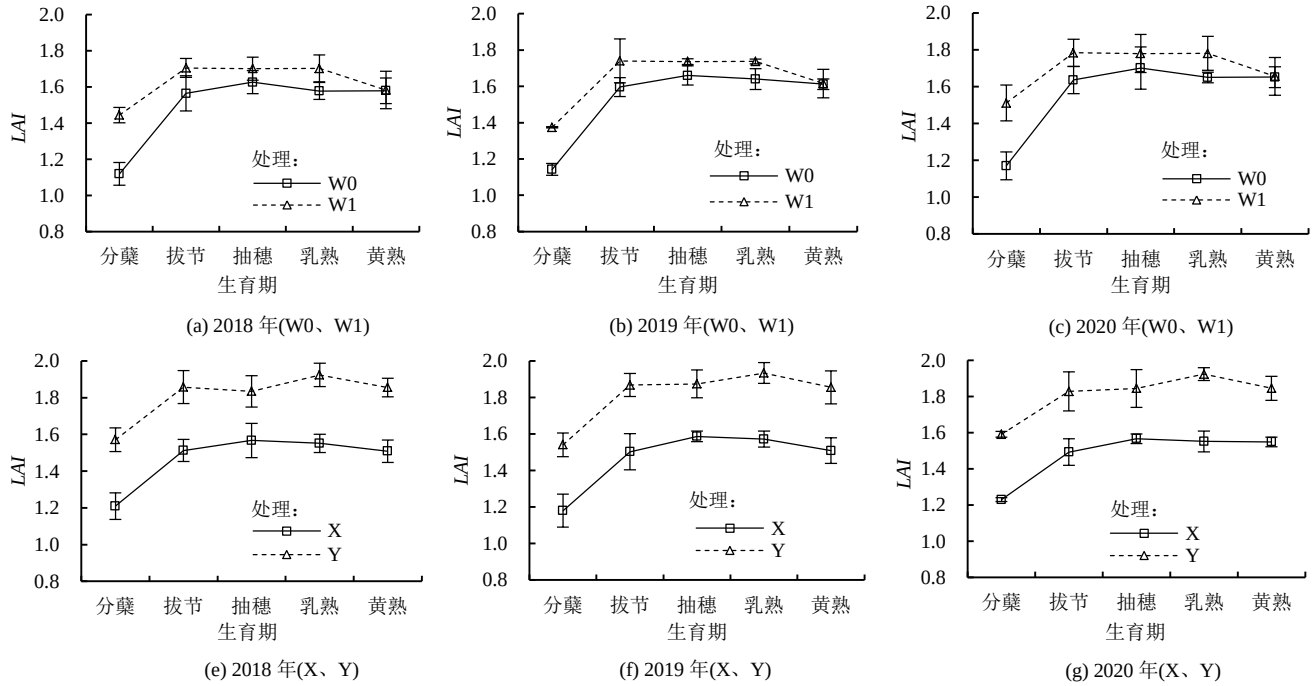


图 1 2018—2020 年不同灌溉模式、不同水稻品种叶面积指数 (*LAI*) 变化

Fig.1 Changes of *LAI* of different irrigation modes and different rice varieties in the year 2018—2020

2.2.2 干物质总量

2018—2020 年不同灌溉模式、不同水稻品种干物质总量随着生育期变化见图 2。可以看出，整个生育期水稻干物质总量随着生育期推进逐渐增长，其中分蘖期至乳熟期增长最快，黄熟期增长减缓，符合水稻生长规律。不同灌溉模式下水稻的干物质总量拔节期前表现为 W1 处理>W0 处理，说明薄露灌溉模式能够限制植株无效分蘖，植株干物质累积较高。相比常规淹灌模式，薄露灌溉模式水稻在分蘖期、拔节期、抽穗期、乳熟期、黄熟期干物质总量分别提高了 16.8%、24.9%、7.4%、1.4%、0.7%。不同水稻品种，水稻植株干物质总量总体表现为杂交水稻>常规水稻，且在抽穗期以后，杂交水稻干物质总量增幅增大。相比常规水稻，杂交水稻在分蘖期、拔节期、抽穗期、乳熟期、黄熟期干物质总量分别提高了 1.9、1.4、1.8、1.7、1.6 倍，可见，相比灌溉模式，水稻品种对干物质总量影响较大。

2.2.3 根系生长

2018—2020 年不同灌溉模式、不同水稻品种根数和根长随着生育期变化见表 3 和图 3。由表 3 和图 3

可知，对于不同灌溉模式，不同生育期，2 种灌溉模式下水稻根长在分蘖期、拔节期、抽穗期基本以常规淹灌模式占优，在乳熟和黄熟阶段，以薄露灌溉模式占优，相比常规淹灌模式，薄露灌溉模式分蘖期、拔节期、抽穗期、乳熟期、黄熟期根长分别增加了 -2.1%、-4.0%、-0.3%、1.1%、2.5%，表明灌溉模式对水稻根长变化影响较小，薄露灌溉模式在生育阶段后期可以有效地促进水稻向下扎根，够吸收土壤深层养分。2 种灌溉模式水稻白根/黄根均随生育期逐步降低，即根系活力逐步降低。白根/黄根在乳熟期以常规淹灌模式占优，其余生育期以薄露灌溉占优，说明在生长旺盛阶段，适当水分亏缺对根系活力具有一定的增效；相比常规淹灌模式，薄露灌溉模式在分蘖期、拔节期、抽穗期、乳熟期、黄熟期根长分别增加了 -1.1%、2.1%、6.4%、-2.6%、6.7%，表明薄露灌溉模式在抽穗期和黄熟期有利于水稻根系生长。

对于不同水稻品种，水稻根系生长量与水稻品种关系密切，杂交水稻根长在分蘖期达到高峰值，随着生育期推进，根长逐渐下降，常规水稻根长在拔节期达到峰值，随后下降并趋于稳定；全生育期杂交水稻

根长均明显高于常规水稻, 相比常规水稻, 杂交水稻在分蘖期、拔节期、抽穗期、乳熟期、黄熟期根长分别增加了 61.4%、31.3%、26.9%、25.4%、17.2%。比较不同水稻品种根数(白根+黄根)、白根/黄根发现, 杂交水稻根数显著高于常规水稻, 相比常规水稻, 杂交水稻在分蘖期、拔节期、抽穗期、乳熟期、黄熟期

根数分别增加了 44.2%、64.4%、75.9%、56.7%、48.4%; 不同水稻品种白根/黄根均在拔节期较高, 但随着生育期的推进, 除分蘖期, 常规水稻白根/黄根均略高于杂交水稻。由于杂交水稻根数显著高于常规水稻, 有利于保持后期水稻根系的活力。

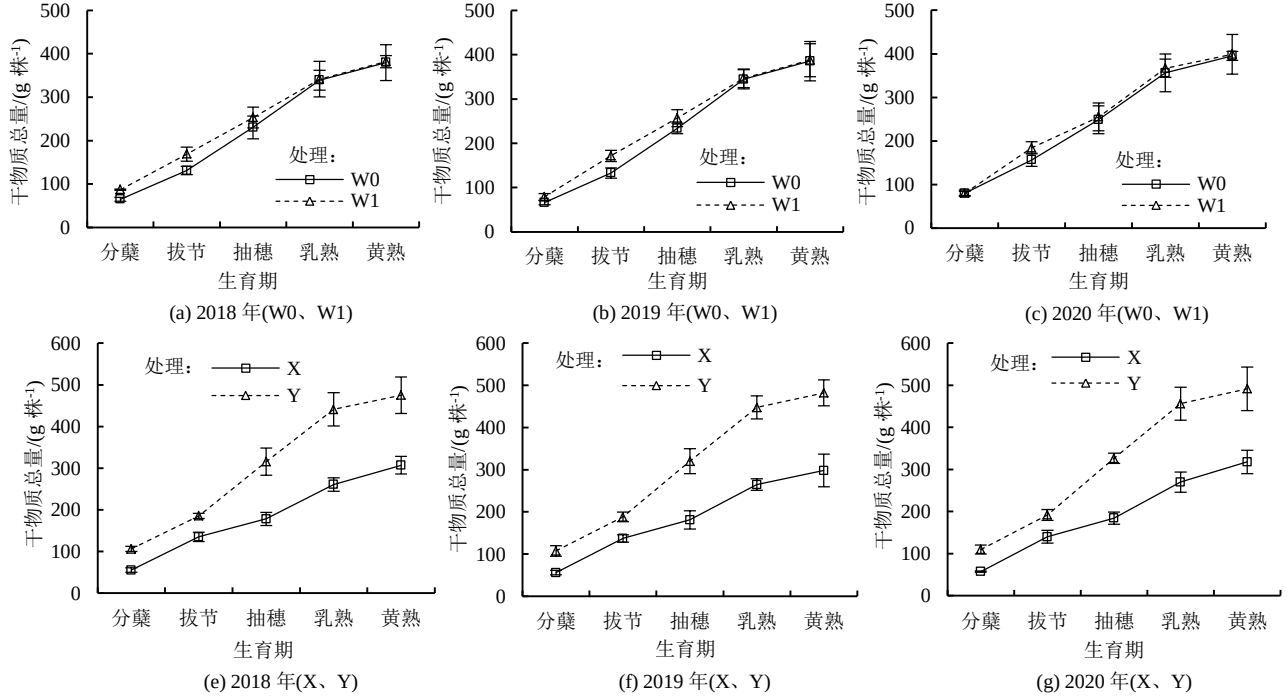


图 2 2018—2020 年不同灌溉模式、不同水稻品种干物质总量变化

Fig.2 Changes of total amount of dry matter of different irrigation modes and different rice varieties in the year 2018—2020

表 3 2018—2020 年不同灌溉模式、不同水稻品种生育期内根数变化

Table 3 Changes of root number during rice growth period of different irrigation modes and different rice varieties in the year 2018—2020

处理	分蘖期			拔节期			抽穗期			乳熟期			黄熟期		
	白根	黄根	(白根/黄根)%	白根	黄根	(白根/黄根)%	白根	黄根	(白根/黄根)%	白根	黄根	(白根/黄根)%	白根	黄根	(白根/黄根)%
W0F3X	11	277	4.0	13	255	4.9	12	263	4.4	11	256	4.3	10	293	3.3
W0F3Y	19	412	4.6	20	421	4.5	15	426	3.4	13	412	3.2	11	398	2.7
W1F3X	13	295	4.4	15	264	5.4	13	247	5.0	12	298	4.0	9	254	3.4
W1F3Y	18	413	4.4	19	432	4.2	16	471	3.3	15	456	3.3	13	414	3.0

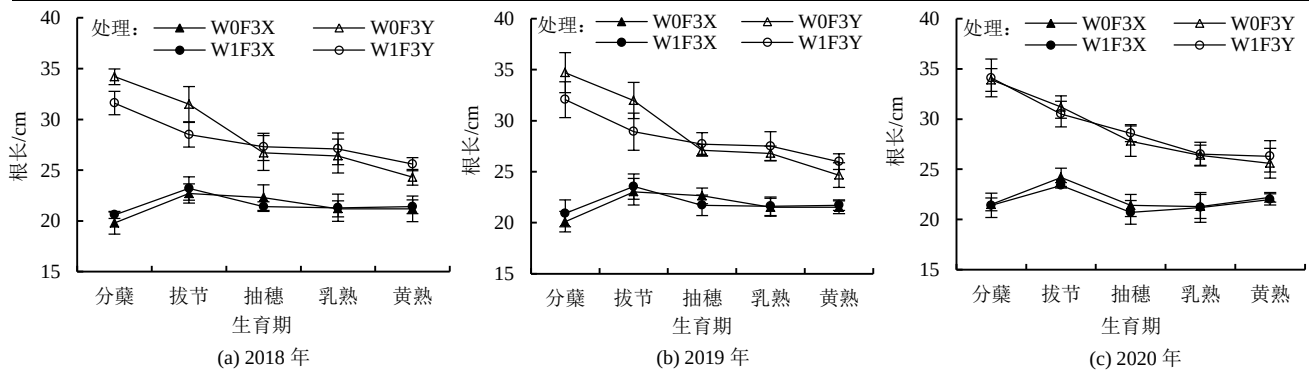


图 3 2018—2020 年不同灌溉模式、不同水稻品种根长变化

Fig.3 Changes of root length of different irrigation modes and different rice varieties in the year 2018—2020

2.2.4 产量

2018—2020 年不同灌溉模式、不同水稻品种实际产量变化见图 4。不同灌溉模式比较, 常规淹灌模式产量约为 9 808.5 kg/hm², 薄露灌溉模式产量约为 9 972.0 kg/hm², 可以看出, 相比常规淹灌, 薄露灌

溉产量增加 1.7%, 2 种灌溉模式差异不显著。不同水稻品种比较, 杂交水稻产量平均为 11 172.0 kg/hm², 常规水稻产量平均为 8 472.0 kg/hm², 相比常规水稻, 杂交水稻产量增幅为 31.9%, 二者产量差异达到极显著。

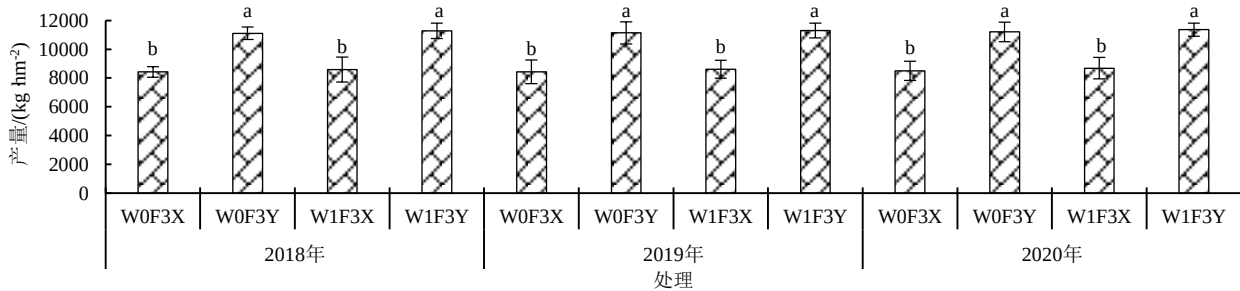


图 4 2018—2020 年各处理水稻实际产量变化

Fig.4 Changes of yield of each treatment in the year 2018—2020

2.3 不同灌溉模式、水稻品种对作物需耗水影响

2.3.1 水稻需耗水量

2018—2020 年不同处理全生育期的耗水量、渗漏量、需水量变化见表 4。对于水稻品种，同一灌溉模式，常规水稻（X）需水量、耗水量均略低于杂交水稻（Y），其中 2018 年，常规淹灌模式下，杂交水稻的需水量、耗水量分别增加了 1.2%、0.9%，薄露灌溉模式下，分别增加 2.9%、3.3%；2019 年，常规淹灌模式下，分别增加了 2.7%、2.4%，薄露灌溉模式下，分别增加了 1.9%、2.9%；2020 年，常规淹灌模式下，分别增加了 4.3%、3.7%，薄露灌溉模式下，分别增加了 1.0%、3.8%。综合 2 种水稻品种、3 a 平均值，杂交水稻（Y）的需水量、耗水量分别比常规水稻（X）增加了 2.4%、2.8%，总体未达到显著水平。对于不同灌溉模式，同一水稻品种，薄露灌溉（W1）的渗漏量、需水量、耗水量均明显低于常规淹灌（W0），其中 2018 年，常规水稻薄露灌溉模式的渗漏量、腾发量、耗水量较常规淹灌分别降低了 43.8%、14.4%、17.6%，杂交水稻分别降低了 38.0%、13.0%、15.6%；2019 年，常规水稻分别降低了 61.9%、31.2%、34.6%，杂交水稻分别降低了 55.1%、31.8%、34.2%；2020 年，常规水稻分别降低了 51.6%、26.0%、29.8%，杂交水稻分别降低了 49.1%、28.3%、29.3%。综合 2 种灌溉模式、3 a 平均情况，薄露灌溉（W1）的渗漏量、需水量、耗水量比常规淹灌（W0）分别降低了 50.5%、24.8%、27.6%，总体差异达到了显著水平。

表 4 2018—2020 年不同处理需耗水量变化

Table 4 Changes of water demand and consumption during rice growth period in the year 2018—2020

年度	处理	渗漏量/mm	需水量/mm	耗水量/mm
2018	W0F3X	46.1a	378.8a	424.9a
	W0F3Y	45.3a	383.4a	428.7a
	W1F3X	25.9b	324.1b	350.0b
	W1F3Y	28.1b	333.6b	361.7b
2019	W0F3X	56.5a	468.1a	524.6a
	W0F3Y	56.6a	480.6a	537.2a
	W1F3X	21.5c	321.7b	343.2b
	W1F3Y	25.4b	327.9b	353.3b
2020	W0F3X	53.7b	413.4a	473.2a
	W0F3Y	59.3a	431.2a	490.5a
	W1F3X	26.0d	306.0b	332.0b
	W1F3Y	30.2c	309.0b	344.6b
方差分析				
W		** (P=0.00)	** (P=0.00)	** (P=0.00)
V		NS (P=0.10)	NS (P=0.39)	NS (P=0.32)
W×v		NS (P=0.57)	NS (P=0.79)	NS (P=0.99)

注 W、V 分别代表灌溉调控与水稻品种，*、**和 NS 分别代表 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 和 $P>0.05$ 。

2.3.2 水稻耗水规律

分析 2018—2020 年不同水稻品种日均耗水量随生育期变化情况见图 5。从水稻品种看，不同水稻品种在 2 种灌溉模式的日耗水规律基本一致，杂交水稻日均耗水量略高于常规水稻，各生育期变化幅度为 1.3%~3.0%，不同水稻品种对日均耗水量变化影响不显著。从灌溉模式看，无论杂交水稻还是常规水稻，水稻日均耗水量变化趋势基本一致，高峰期均出现在返青期、抽穗期，其中返青期为 7 月上旬，正是气温最高阶段，所以日均耗水量较大；抽穗期达到峰值，主要原因是抽穗期为水稻生长最旺盛的阶段，也是气温相对较高的阶段，此时田间蒸发和植物蒸腾均处于最大值。

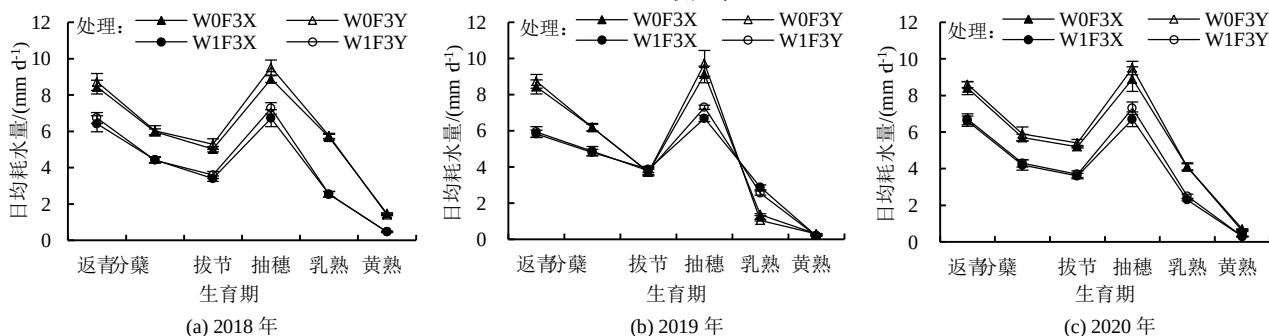


图 5 2018—2020 年不同灌溉模式、不同水稻品种日均耗水量变化

Fig.5 Changes of daily average water consumption of different irrigation modes and different rice varieties in the year 2018—2020

2.3.3 水稻灌溉定额

2018—2020 年不同灌溉模式、不同水稻品种灌溉定额变化见图 6。可以看出,泡田期不同灌溉模式下不同水稻品种灌溉定额差异不显著,常规淹灌与薄露灌溉处理灌溉定额变化在 51~63 mm,不同水稻品种泡田期灌溉定额相差 0.15~0.60 mm,可见泡田期水稻灌溉定额受灌溉模式、水稻品种影响不显著。本田灌溉定额、全生育期灌溉定额,同一水文年型,相同灌溉模式下不同水稻品种,杂交水稻略高于常规水稻,相差 3.2~6.0 mm,差异不显著;不同水文年型,随着

生育期内降水量增加,灌溉定额呈降低趋势,偏丰水年型与丰水年型全生育期灌溉定额趋于一致。可见水稻品种对本田期、全生育期灌溉定额影响不显著,水文年型(生育期内降水量)对灌溉定额影响显著。相同水稻品种,不同灌溉模式比较,常规淹灌模式本田期、全生育期灌溉定额显著高于薄露灌溉模式,相比常规淹灌,常规水稻薄露灌溉模式全生育期灌溉定额降低 30.8%~35.0%,杂交水稻薄露灌溉模式全生育期灌溉定额降低 30.1%~33.2%,说明薄露灌溉模式可以有效降低水稻灌溉定额。

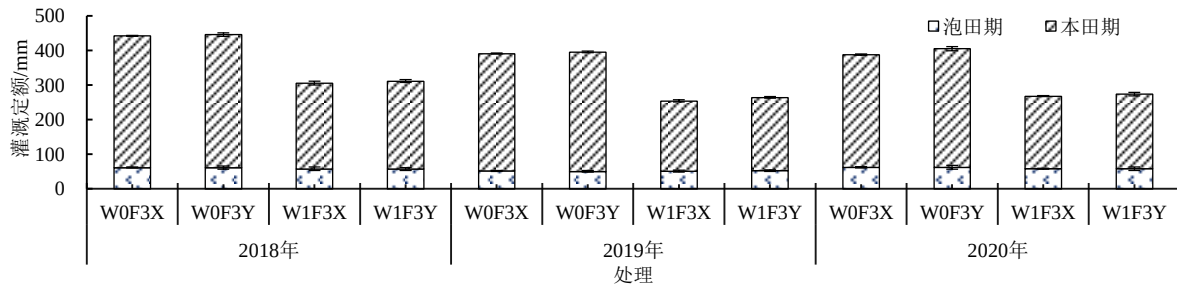


图 6 2018—2020 年不同灌溉模式、不同水稻品种灌溉定额变化

Fig.6 Changes of irrigation quota of different irrigation modes and different rice varieties in the year 2018—2020

2.3.4 水稻水分利用效率

2018—2020 年不同灌溉模式、不同水稻品种水分利用效率见表 5。不同灌溉模式比较,可以看出常规淹灌模式 WUE_I 与 WUE_{ET} 均低于薄露灌溉模式, WUE_P 高于薄露灌溉模式。薄露灌溉模式较常规淹灌 WUE_I 与 WUE_{ET} 分别增加了 57.7%、38.8%, WUE_P 降低了 12.9%,常规淹灌与薄露灌溉差异达到了极显著水平。不同水稻品种比较,灌溉用水量、有效降水量、耗水量差异均不显著,但由于不同水稻品种产量差异显著,导致不同水稻品种 WUE_I 、 WUE_P 与 WUE_{ET} 均达到显著水平。

表 5 2018—2020 年不同处理水稻水分利用效率变化

Table 5 Changes of water use efficiency of each treatment in the year 2018—2020 kg/m^3

年度	处理	WUE_I	WUE_P	WUE_{ET}
2018	W0F3X	2.2d	3.0b	2d
	W0F3Y	2.9c	4.0a	2.6b
	W1F3X	3.5b	3.1b	2.4c
	W1F3Y	4.4a	4.0a	3.1a
2019	W0F3X	2.5d	5.0c	1.6d
	W0F3Y	3.2c	6.4a	2.1c
	W1F3X	4.2b	4.2d	2.5b
	W1F3Y	5.3a	5.3b	3.2a
2020	W0F3X	2.2d	2.9b	1.8d
	W0F3Y	2.8c	3.7a	2.3c
	W1F3X	3.2b	2.3c	2.6b
	W1F3Y	4.1a	2.8b	3.3a
方差分析				
W	** ($P=0.00$)	** ($P=0.00$)	** ($P=0.00$)	
V	** ($P=0.00$)	** ($P=0.00$)	** ($P=0.00$)	
W×v	NS ($P=0.24$)	NS ($P=0.15$)	NS ($P=0.76$)	

注 W、V 分别代表灌溉调控与水稻品种, *、** 和 NS 分别代表 $P<0.05$ 、 $P<0.01$ 和 $P>0.05$ 。

3 讨论

水稻需耗水规律主要反映作物及品种的生物学特性,同时受气候影响^[14]。本文研究表明水稻生育期需耗水量、日耗水变化规律基本不受水稻品种影响,而受灌溉模式的影响显著。本文采用薄露灌溉模式,由于有效控制了田间水层,干湿交替,在保证水稻生理需水和稻田生态需水的同时,降低水面蒸发,可显著减少水稻需水量,为实现水稻节水灌溉奠定了生物学基础^[15]。Xiao 等^[16]对浙江省典型区域包括山丘区、平原河网区节水减排机制进行了研究,相比常规淹灌模式,节水灌溉模式水稻耗水量、渗漏水量和蒸腾量分别降低了 16.63%~34.40%、39.97%~60.80% 和 9.40%~31.53%,产量提高了 0.4%~2.1%,与本文研究结果一致,但未在同一典型区域开展不同水稻品种下需水规律研究。水稻泡田水量主要受泡田前土壤含水率、泡田时间、气候等因素影响^[17],与水稻品种没有相关关系。部分学者开展了节水灌溉、控制灌溉下水稻生育期蒸散量和蒸发量及灌溉定额影响研究,但缺少对不同水文年型的论证^[18-19]。陈凯文等^[20]基于 1956—2015 年的降水资料,获得控制灌排的灌溉水分生产率在丰、平、枯 3 种年型下分别为 5.52、4.65、3.83 kg/m^3 ,表明在产量因子稳定的情况下,随着降水量增加,灌溉水量呈显著降低趋势,与本文结果趋于一致。

水稻生长特性及产量形成是水稻的遗传特性、环境因素与生产条件相互作用的结果,受水稻品种更替

演变、气候条件、栽培方式、灌溉模式等影响，其中水稻品种是主要的影响因子。杂交水稻的发根能力强，生长速率快，根系庞大；单株叶面积大、光合能力强；大穗优势明显，颖花数多，库容量大，一般比常规水稻大 30%~50%^[21]，与本文不同水稻品种生产特性研究结果趋于一致。本文研究表明杂交水稻根数、根长均显著高于常规水稻，原因在于杂交水稻源—库关系较协调，能够有效地降低同化物运转过程中的阻力，提高同化物的转运速率和效率，有利于作物根系的生长。此外，水分利用效率反映了作物水分投入与产量的关系，受水分利用和产量双重影响^[22]。由于杂交水稻与常规水稻产量差异显著，叠加不同灌溉模式的影响，薄露灌溉模式、杂交水稻的 WUE_I 、 WUE_{ET} 表现出显著的优势。

相比国内外同类研究，本文补充了水稻品种对作物水分利用特性的影响研究，提出了不同水文年型下不同水稻品种灌溉定额，其中偏枯水年型下常规水稻灌溉定额为 308 mm，杂交水稻灌溉定额为 444 mm；偏丰水年型和丰水年型下常规水稻灌溉定额为 259~271 mm，杂交水稻灌溉定额为 394~394 mm，研究成果对揭示水稻水分高效利用机制，阐明水稻需耗水、水分利用与产量互作效应提供了理论支持。

4 结 论

1) 薄露灌溉水稻需耗水量小于常规淹灌，且差异达到了显著水平；常规淹灌模式水稻需耗水受水文年型影响表现为极显著水平。

2) 杂交水稻日均耗水量略高于常规水稻，差异不显著；相比常规淹灌，薄露灌溉在水稻各生育阶段日均耗水量降低了 22.6%~59.5%。

3) 相比灌溉模式，水稻品种对于物质总量影响较大；薄露灌溉水稻产量比常规淹灌增加 1.7%，杂交水稻产量比常规水稻增加为 31.9%，水稻品种对产量影响较大。

4) 薄露灌溉全生育期灌溉定额比常规淹灌降低了 30.1%~35.0%，与水稻品种不相关。常规淹灌 WUE_I 与 WUE_{ET} 均低于薄露灌溉， WUE_P 高于薄露灌溉；不同水稻品种， WUE_I 、 WUE_P 与 WUE_{ET} 均达到显著水平。

(作者声明本文无实际或潜在利益冲突)

参考文献：

- [1] 徐春春, 纪龙, 李凤博, 等. 当前我国水稻产业发展形势与战略对策[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(1): 21-27.
- [2] 茹智. 水稻节水灌溉及其对环境的影响[J]. 中国工程科学, 2002, 4(7): 8-16.
- [3] 汝晨, 魏永霞, 刘慧, 等. 水稻产量及其构成要素对耗水过程的响应综述[J]. 节水灌溉, 2017(12): 97-103.
- [4] 张洪程, 马群, 杨雄, 等. 水稻品种氮肥群体最高生产力及其增长规律[J]. 作物学报, 2012, 38(1): 86-98.
- [5] 周娟, 舒小伟, 赖上坤, 等. 不同类型水稻品种产量和氮素吸收利用对大气 CO_2 浓度升高响应的差异[J]. 中国水稻科学, 2020, 34(6): 561-573.
- [6] 梁健, 李军, 李晓峰, 等. 淮北地区水稻品种氮肥群体最高生产力及氮素吸收利用特性[J]. 作物学报, 2016, 42(8): 1 188-1 200.
- [7] 黄秀, 叶昌, 燕金香, 等. 不同氮吸收效率水稻品种的苗期铵吸收特性及生长差异分析[J]. 中国农业科学, 2021, 54(7): 1 455-1 468.
- [8] ZHU K Y, ZHOU Q, SHEN Y, et al. Agronomic and physiological performance of an *indica-japonica* rice variety with a high yield and high nitrogen use efficiency[J]. Crop Science, 2020, 60(3): 1 556-1 568.
- [9] 邵云, 李静雅, 马冠群, 等. 基于长期定位的无机有机肥配施对土壤养分和小麦籽粒产量及品质的影响[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2022, 50(3): 126-134.
- [10] 俞双恩, 李偲, 高世凯, 等. 水稻控制灌溉模式的节水高产减排控污效果[J]. 农业工程学报, 2018, 34(7): 128-136.
- [11] LUO W Q, CHEN M T, KANG Y H, et al. Analysis of crop water requirements and irrigation demands for rice: Implications for increasing effective rainfall[J]. Agricultural Water Management, 2022, 260: 107 285.
- [12] 曹言, 王杰, 王树鹏, 等. 气候变化下滇中地区水稻需水量与灌溉需水指数时空变化研究[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(5): 226-235.
- [13] DING Y M, WANG W G, SONG R M, et al. Modeling spatial and temporal variability of the impact of climate change on rice irrigation water requirements in the middle and lower reaches of the Yangtze River, China[J]. Agricultural Water Management, 2017, 193: 89-101.
- [14] XIAO M H, LI Y Y, LU B, et al. Response of physiological indicators to

- environmental factors under water level regulation of paddy fields in Southern China[J]. *Water*, 2018, 10(12): 1 772.
- [15] MESKINI-VISHKAE F, MOHAMMADI M H, NEYSHABOURI M R. Revisiting the wet and dry ends of soil integral water capacity using soil and plant properties[J]. *Soil Research*, 2018, 56(4): 331-345.
- [16] XIAO M H, LI Y Y, JIA Y, et al. Mechanism of water savings and pollution reduction in paddy fields of three typical areas in Southern China[J]. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2022, 15(1): 199-207.
- [17] 和玉璞, 张建云, 徐俊增, 等. 灌溉排水耦合调控稻田水分转化关系[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(11): 144-149.
- HE Yupu, ZHANG Jianyun, XU Junzeng, et al. Regulation and control of water transformation through coupling irrigation and drainage in paddy field[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(11): 144-149.
- [18] 刘笑吟, 王海明, 王钊, 等. 节水灌溉稻田蒸发蒸腾过程及其比例变化特征研究[J]. *农业机械学报*, 2021, 52(7): 271-282.
- LIU Xiaoyin, WANG Haiming, WANG Yue, et al. Characteristics of rice transpiration and soil evaporation and their proportion variation in water-saving irrigated paddy field[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2021, 52(7): 271-282.
- [19] TIMM A U, ROBERTI D R, STRECK N A, et al. Energy partitioning and evapotranspiration over a rice paddy in Southern Brazil[J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2014, 15(5): 1 975-1 988.
- [20] 陈凯文, 俞双恩, 李倩倩, 等. 不同水文年型下水稻节水灌溉技术方案模拟与评价[J]. *农业机械学报*, 2019, 50(12): 268-277.
- CHEN Kaiwen, YU Shuang'en, LI Qianqian, et al. Simulation and evaluation of technical schemes for water-saving irrigation of rice in different hydrological years[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2019, 50(12): 268-277.
- [21] 姜元华, 张洪程, 赵可, 等. 长江下游地区不同类型水稻品种产量及其构成因素特征的研究[J]. *中国水稻科学*, 2014, 28(6): 621-631.
- JIANG Yuanhua, ZHANG Hongcheng, ZHAO Ke, et al. Difference in yield and its components characteristics of different type rice cultivars in the lower reaches of the Yangtze River[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2014, 28(6): 621-631.
- [22] WEI H H, MENG T Y, LI X Y, et al. Sink-source relationship during rice grain filling is associated with grain nitrogen concentration[J]. *Field Crops Research*, 2018, 215: 23-38.

Growth and Water Use between Conventional and Hybrid Rices as Impacted by Different Irrigations

ZHENG Shizong, XIAO Menghua*

(Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary (Zhejiang Institute of Marine Planning and Design), Hangzhou 310020, China)

Abstract: 【Background and Objective】 The decrease in available water resources for agriculture in the South of China has made developing water-saving irrigation essential for rice production. This paper investigates the impact of an improved irrigation method on growth and water use of conventional rice and hybrid rice. 【Method】 The experiments were conducted from 2018 to 2020 in plots within a paddy field in the Irrigation Experimental Station of Jiaying Pinghu in Zhejiang province. The rice varieties Xiushui 134 (conventional) and Yongyou 9 (hybrid) were used as the model plants. They were irrigated by conventional flooding irrigation and thin-water film irrigation by keeping the topsoil just saturated. In each treatment, we measured the leaf area index, total dry matter, root growth, grain yield, and water demand and consumption of each rice variety. 【Result】 Water demand and consumption of both rice varieties under thin-water film irrigation were lower than that under flooding irrigation ($P < 0.01$). Under flooding irrigation, water demand and consumption of both varieties during their whole growth period increased with the increase in precipitation, albeit the conventional rice consumed slightly less water than the hybrid variety ($P > 0.05$). Compared with conventional flooding irrigation, thin-water film irrigation reduced average daily water consumption by 22.6%~59.5%, with the hybrid rice consuming 1.3%~3.0% more water than the conventional variety. Compared with flooding irrigation, thin-water film irrigation increased average rice yield by 1.7%, especially the hybrid variety whose yield was 31.9% higher than that of the conventional variety. Thin-water film irrigation reduced water consumption by 30.1%~35.0%, in addition to its significant increase in WUE_I and WUE_{ET} . Due to the difference in yield between the two varieties, there was an interactive effect between the irrigation method and rice variety, with their WUE_I , WUE_P and WUE_{ET} differing significantly. 【Conclusion】 The thin water-film irrigation was effective to increase the development of leaf area and dry matter accumulation, especially for the hybrid variety. Water demand and consumption of both varieties were affected not only by annual precipitation and evaporation, but also by irrigation method, though no significant difference was found between the two varieties.

Key words: rice varieties; water demand and consumption; hydrological year type; thin dew irrigation; growth characteristics

责任编辑: 赵宇龙