

缪子梅,刘培霖,肖梦华,等. 再生水灌溉对水稻生长性状和产量的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(18):84-89.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.18.013

再生水灌溉对水稻生长性状和产量的影响

缪子梅¹,刘培霖¹,肖梦华²,李圆圆^{2,3},李竞春⁴

(1. 江苏大学,江苏镇江 212013; 2. 浙江省水利河口研究院,浙江杭州 310020;

3. 华北水利水电大学,河南郑州 450046; 4. 甘肃省水利水电勘测设计研究院有限责任公司,甘肃兰州 730000)

摘要:再生水灌溉能有效缓解水资源压力,研究不同再生水水源灌溉水稻对生长指标和产量的影响对节约水肥资源、提高经济效益有着重要的意义。2020 年以嘉优中科 13-1 品种为试验材料,设置间歇灌溉(W1)、薄露灌溉(W2)、浅层灌溉(W3)3 种灌溉模式及一级水(R1)、二级水(R2)、河道清水(R3)3 种灌溉水源处理共 9 组试验,分析相同灌溉模式下不同灌溉水源对水稻生长指标和产量的影响。3 种灌溉模式下,一级水和二级水水源处理水稻株高较河道清水水源处理水稻株高分别高 6.7% 和 8.6%、6.7% 和 4.3%、7.1% 和 2.2%。3 种灌溉模式下,一级水和二级水水源处理水稻干物质积累量较河道清水水源处理水稻干物质总质量分别高 0.7% 和 28.7%、23.6% 和 13.3%、47.1% 和 35.1%。3 种灌溉模式下,一级水和二级水水源处理水稻产量较河道清水水源处理产量分别高 6.2% 和 27.4%、16.0% 和 13.7%、26.7% 和 2.5%。说明再生水水源灌溉能促进水稻生长发育,提高水稻产量。

关键词:再生水灌溉;水稻;生长性状;产量

中图分类号:S511.07 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2021)18-0084-06

水稻是我国主要的粮食作物之一^[1],总产量占全国粮食作物总产量的 40% 左右,同时水稻也是农业中耗水量最大的作物,稻田灌溉用水量占农业总用水量的 65% 以上。全球水资源短缺加剧,污水灌溉能够代替清水灌溉,有效节约水资源已成为缓解农业缺水的重要途径^[2-3]。随着水资源供需矛盾的进一步加剧、污水处理技术的发展,国家将更加重视再生水的利用,再生水灌溉将会逐渐替代污水灌溉^[4]。再生水用于农田灌溉,同未经处理或简单处理的污水相比,再生水水质大幅提高,有效降低了其环境风险,此外再生水利用还具有节省肥料、促进作物生长等经济效益,因此再生水在农业利用方面具有较大的潜力。为了缓解水资源的压力,国内外学者针对再生水灌溉作物产量与品质及生态环境影响开展了大量的研究^[5-10]。现阶段关于利用再生水进行水稻灌溉的研究较少,同时水稻用水量较多,因此研究再生水灌溉对水稻生长指标和产量

的影响,对节约水肥资源、提高经济效益有着重要的意义。

1 材料与方 法

1.1 试验区基本情况

试验于 2020 年 6—10 月在浙江省永康市舟山镇野外试验场(120°40'E、28°48'N)进行,该地区属于亚热带季风气候,气候温和,四季分明。年平均气温 17.5℃,年平均日照时数为 1 909 h,无霜期 245 d,年平均降水量 1 387 mm。

试验场为冬闲田,共有田间标准试验小区 27 个,每个小区长 20 m,宽 5 m,小区面积 100 m²,试验小区内土壤土质为黏土,土体密度 1.35 g/cm³,pH 值 6.87,有机质含量 20.3 g/kg,全氮含量 0.153 g/kg,全磷含量 0.028 g/kg。

再生水采用管道灌溉,水表和田间竖尺记录灌溉排水量,灌溉水源来源于当地污水处理终端及附近河道。

1.2 试验设计

试验水稻品种为嘉优中科 13-1,2020 年 6 月 26 日移栽,10 月 3 日收割。水稻移植前施底肥 1 次,生育期内施肥 1 次,6 月 25 日施底肥:每小区施 2 kg 复合肥(N:K:P=15:15:15),1 kg 尿素(含氮量约为 46%);7 月 12 日施基肥:每小区施 2.5 kg

收稿日期:2021-02-28

基金项目:国家重点研发计划重点专项(编号:2019YFC0408803);国家自然科学基金青年科学基金(编号:52009044)。

作者简介:缪子梅(1970—),女,安徽滁州人,研究员,主要从事水稻排灌理论与节水灌溉研究。E-mail:miaozm@uj.s.com.cn。

通信作者:刘培霖,硕士研究生,主要从事再生水灌溉研究。E-mail:391081661@qq.com。

复合肥(N : K : P = 15 : 15 : 15)。

按照 SL13—2015《灌溉试验规范》,根据水稻生育生长特点将水稻生育期划分为 6 个生育阶段,分别为返青期、分蘖期、拔节孕穗期、抽穗开花期、乳熟期、黄熟期(表 1)。

灌溉模式为间歇灌溉(W1)、薄露灌溉(W2)、浅层灌溉(W3),设置 3 个重复,各个生育期设置相同的淹水历时,水位下降进行补水,控水结束后将水层降至适宜水层上限。水稻水位控制标准见表 2。

灌溉水源分为一级水(R1)、二级水(R2)、河道清水(R3)3种。一级水为舟山镇生活污水经过一

表 1 水稻生育阶段划分

生育期	日期 (月-日)	时长 (d)
泡田	06-20—06-28	9
返青期	06-29—07-05	7
分蘖期	07-06—08-04	30
拔节期	08-05—08-21	17
抽穗期	08-22—08-31	10
乳熟期	09-01—09-12	12
黄熟期	09-13—10-03	21
本田期	06-29—10-03	97

表 2 田间水位控制标准

灌溉模式	上下限	田面淹水深度(mm)				
		返青	分蘖期	拔节孕穗期	抽穗开花期	乳熟期
W1	灌污下限	0	露田 3~5 d	露田 1~2 d	露田 1~2 d	露田 3~5 d
	灌污上限	30	30	40	40	30
	允许蓄水深度	50	70	80	80	60
W2	灌污下限	0	10	10	10	10
	灌污上限	30	50	50	50	50
	允许蓄水深度	50	70	100	100	100
W3	灌污下限	0	40	40	40	10
	灌污上限	30	60	60	60	60
	允许蓄水深度	50	100	150	150	100

级处理工艺得到的灌溉用水;二级水为一级处理水进行再加工处理得到的灌溉用水;河道清水为舟山河道内的清水,此类水为周边农村灌溉用水。灌溉水水质指标见表 3。

表 3 灌溉水水质指标

水源	COD (mg/L)	氨态氮含量 (mg/L)	硝态氮含量 (mg/L)
一级灌溉水	18.600	9.256	0.037
二级灌溉水	20.222	8.147	1.514
河道清水	21.000	0.678	1.077

试验主要考虑不同水源、不同水位 2 个因素,共设计 9 种处理方式,每种 3 个重复,共计 27 个小区,各小区施肥水平相同,采用当地近年来研究推荐施肥模式,具体小区设置见表 4。

1.3 观测指标及分析方法

由于育苗期和返青期植株较小,生理生长指标不易测量,而水稻黄熟期对水分反应不明显。因此,本试验主要对分蘖期、拔节期、抽穗期、乳熟期、黄熟期进行试验测定。

表 4 水稻试验小区设计

处理	水位 调控	水源	施肥 方式	重复	备注
1	W1	R1	F1	3	一级处理+水位调控模式一
2	W1	R2	F1	3	二级处理+水位调控模式一
3	W1	R3	F1	3	三级处理+水位调控模式一
4	W2	R1	F1	3	一级处理+水位调控模式二
5	W2	R2	F1	3	二级处理+水位调控模式二
6	W2	R3	F1	3	三级处理+水位调控模式二
7	W3	R1	F1	3	一级处理+水位调控模式三
8	W3	R2	F1	3	二级处理+水位调控模式三
9	W3	R3	F1	3	三级处理+水位调控模式三

每个生育期取 1 次样,取样植株要求具有代表性,能够反映整个小区水稻生长发育的整体状况,避免边际效应的影响,同时需注意不能采病株。按照多点采样原则,分别在小区 4 个方向取样,每个方向取 1 丛。取样时,沿根茎结合处剪开,茎以上部分做植株干物质测定。植株干物质测定主要考虑地上部分,即茎、叶、穗(谷),测定时用剪刀将各个部

分分开,分别测定。

株高:抽穗前,为地面到最高叶尖的高度,抽穗后,为地面到穗顶(不计芒)的高度;叶面积:使用 AM-300 叶面积仪进行叶面积测定;干物质质量:将植株各部分分开,烘干并进行质量测定。

2 结果与分析

2.1 稻田不同水源对水稻株高的影响

水稻株高过低,生育缓慢,不利于作物进行光合作用,干物质积累少,导致最终产量形成少^[11]。相同灌溉模式条件下不同水源处理水稻生育期内株高变化曲线(图 1~图 3)。进行对比分析可知,不同水源处理的水稻株高变化规律基本相同,水稻株高在全生育期内呈逐渐增高趋势,最终趋于稳定,拔节期株高增长迅速,后期增长缓慢且较为稳定直至生育期结束。

间歇灌溉模式(W1)下,一级水和二级水水源处理水稻株高较河道清水水源处理水稻株高分别高 6.7% 和 8.6% (图 1)。薄露灌溉模式(W2)下,一级水和二级水水源处理水稻株高较河道清水水源处理水稻株高分别高 6.7% 和 4.3% (图 2)。浅层灌溉模式(W3)下,一级水和二级水水源处理水稻株高较河道清水水源处理水稻株高分别高 7.1% 和 2.2% (图 3)。

总体而言,不同灌溉模式同种水源处理株高基本相同,但同种灌溉模式水源差异导致株高略有差异。相同灌溉模式下,全生育期内一级水和二级水水源处理的水稻株高始终高于河道清水水源处理的水稻株高。在灌溉模式相同的情况下,再生水水源灌溉在带来营养元素的同时可以促进水稻的生长。

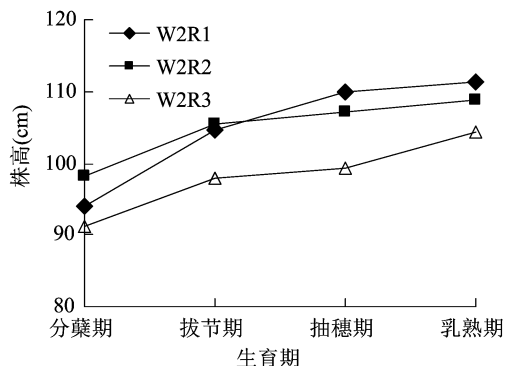


图2 薄露灌溉模式下不同水源处理水稻株高变化

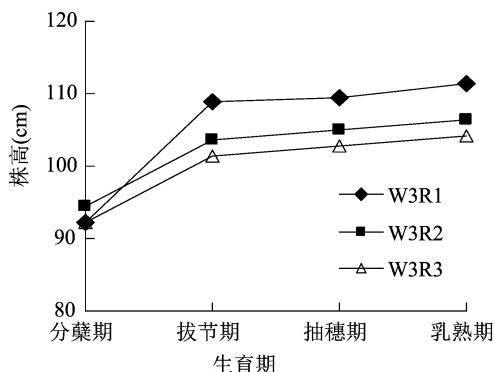


图3 浅层灌溉模式下不同水源处理水稻株高变化

内叶面积指数变化曲线见图 4~图 6。通过对比分析可知,不同水源处理水稻叶面积指数变化趋势大致相同,叶面积指数从返青期至拔节孕穗期快速上升达到峰值,拔节孕穗期至黄熟期缓慢下降。乳熟期营养停止供应转向稻穗,叶面积指数开始减小,叶片开始衰老。

间歇灌溉模式(W1)下,一级水和二级水水源处理水稻叶面积指数峰值分别为 1.59 和 1.55,而河道清水水源处理水稻叶面积指数峰值为 1.01 (图 4)。薄露灌溉模式(W2)下,一级水和二级水水源处理水稻叶面积指数峰值分别为 1.58 和 1.79,而河道清水水源处理水稻叶面积指数峰值为 1.44 (图 5)。浅层灌溉模式(W3)下,一级水和二级水水源处理水稻叶面积指数峰值分别为 1.59 和 1.66,而河道清水水源处理水稻叶面积指数峰值为 1.54 (图 6)。

总体而言,相同灌溉模式下,全生育期内一级水和二级水水源处理的水稻叶面积指数始终高于河道清水水源处理的水稻叶面积指数。二级水水源处理下,薄露灌溉模式(W2)叶面积峰值高于间歇灌溉(W1)和浅层灌溉(W3)。一级水水源处理,3种灌溉模式叶面积指数基本相同。河道水水源处理,浅层灌溉(W3)叶面积指数峰值高于间歇灌溉

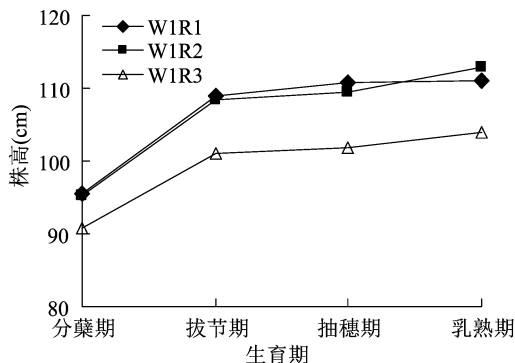


图1 间歇灌溉模式下不同水源处理水稻株高变化

2.2 稻田不同水源对水稻叶面积指数的影响

相同灌溉模式下,不同水源处理下水稻生育期

(W1)和薄露灌溉(W2)。在灌溉模式相同情况下,再生水水源灌溉有利于水稻叶面积指数增长且延缓水稻叶面积指数降低。

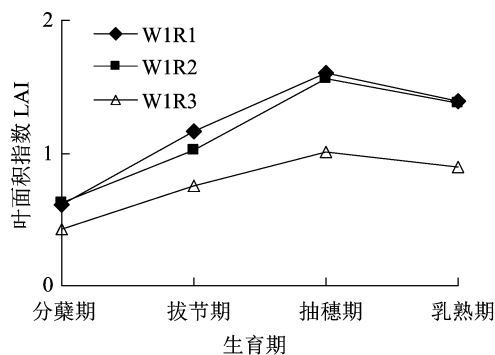


图4 间歇灌溉模式下水稻叶面积指数变化

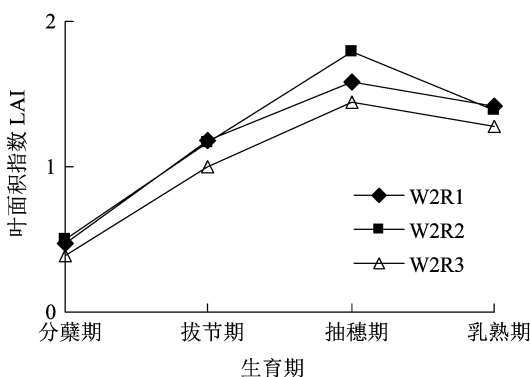


图5 薄露灌溉模式下水稻叶面积指数的变化

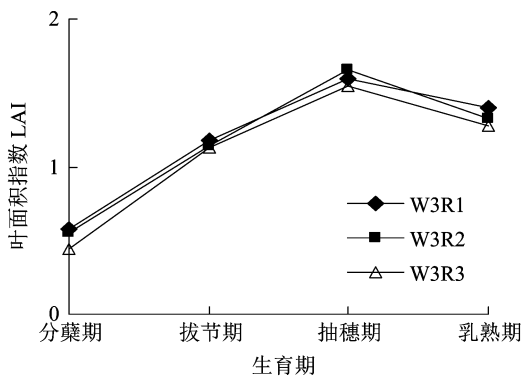


图6 浅层灌溉模式下水稻叶面积指数的变化

2.3 稻田不同水源对水稻干物质总质量的影响

相同灌溉模式下不同水源处理下水稻各部位干物质质量变化(图7~图9)显示,干物质总质量为水稻茎、叶和穗3个部分干物质质量组成,其中穗从拔节期开始出现。不同水源处理下水稻干物质总质量变化规律大致相同,在全生育期内不断积累趋于稳定,其中拔节孕穗期到乳熟期积累速率最快。

间歇灌溉模式(W1)下,一级水和二级水水源处理水稻干物质总质量较河道清水水源处理水稻干物质总质量分别高0.7%和28.7%(图7)。薄露

灌溉模式(W2)下,一级水和二级水水源处理水稻干物质总质量较河道清水水源处理水稻干物质总质量分别高23.6%和13.3%(图8)。浅层灌溉模式(W3)下,一级水和二级水水源处理水稻干物质总质量较河道清水水源处理水稻干物质总质量分别高47.1%和35.1%(图9)。

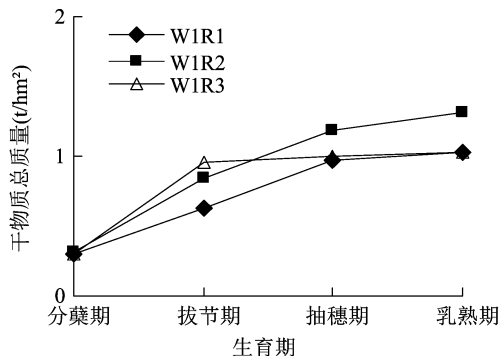


图7 间歇灌溉模式下水稻干物质总质量变化

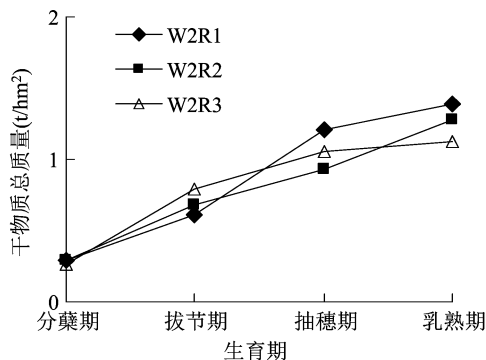


图8 薄露灌溉模式下水稻干物质总质量变化

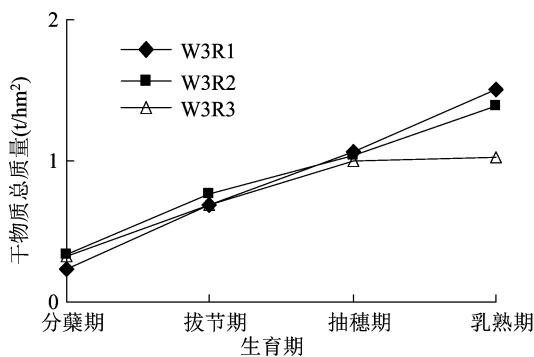


图9 浅层灌溉模式下水稻干物质总质量变化

2.4 稻田不同水源对水稻不同部位干物质质量的影响

相同灌溉模式下不同水源处理下水稻生育期内各部位干物质质量变化见图10~图12。水稻各生育阶段不同部位干物质质量分配情况变化基本一致,水稻茎和叶质量在抽穗开花占比最大;穗则是从拔节期开始积累,在抽穗期和乳熟期逐渐积

累,并在乳熟期达到最大。

穗部干物质质量累积决定着稻田产量形成。间歇灌溉模式(W1)下,一级水、二级水和河道清水水源处理水稻穗部质量占总干物质质量 58.8%、61.0%和 48.4%(图 10)。薄露灌溉模式(W2)下,一级水、二级水和河道清水水源处理水稻穗部质量占总干物质质量 62.5%、59.2%和 46.1%(图 11)。浅层灌溉模式(W3)下,一级水、二级水和河道清水

水源处理水稻穗部质量占总干物质质量 62.7%、51.6%和 48.5%(图 12)。

总体而言,相同灌溉模式下,再生水灌溉穗部干物质质量占比高于河道清水,再生水灌溉干物质质量高于河道水灌溉。表明在灌溉模式相同情况下,再生水水源能够有效促进水稻干物质积累,有利于水稻产量形成。

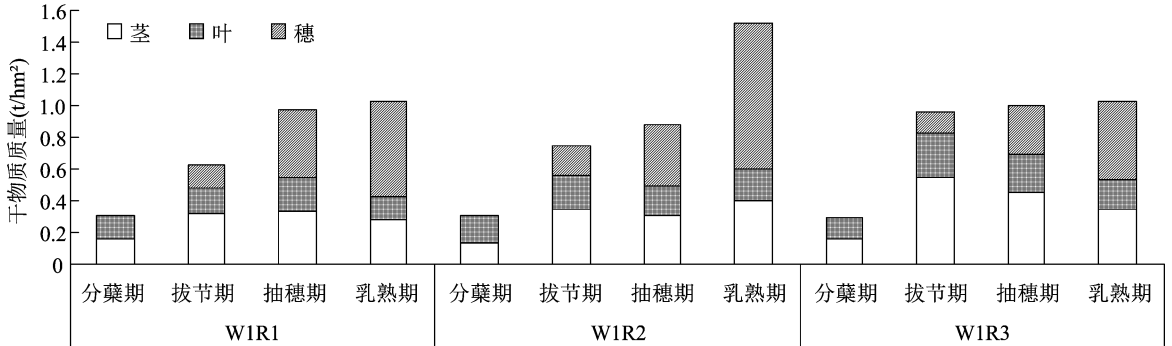


图10 间歇灌溉模式下水稻不同部位干物质质量变化

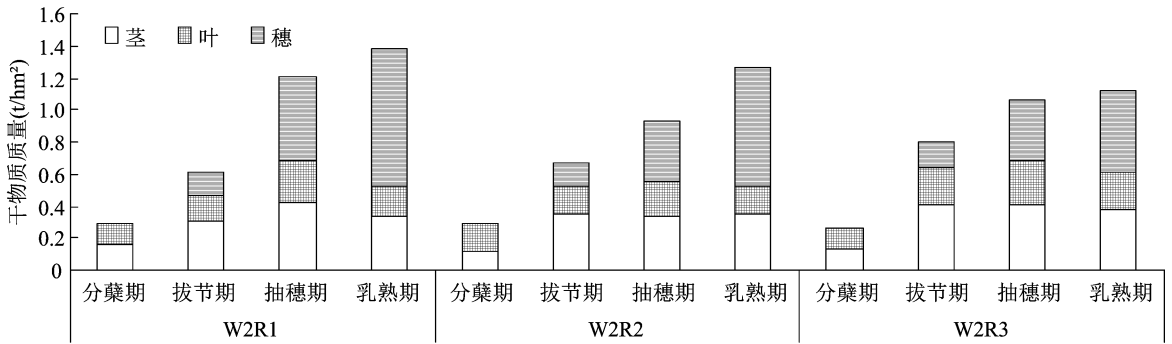


图11 薄露灌溉模式下水稻不同部位干物质质量变化

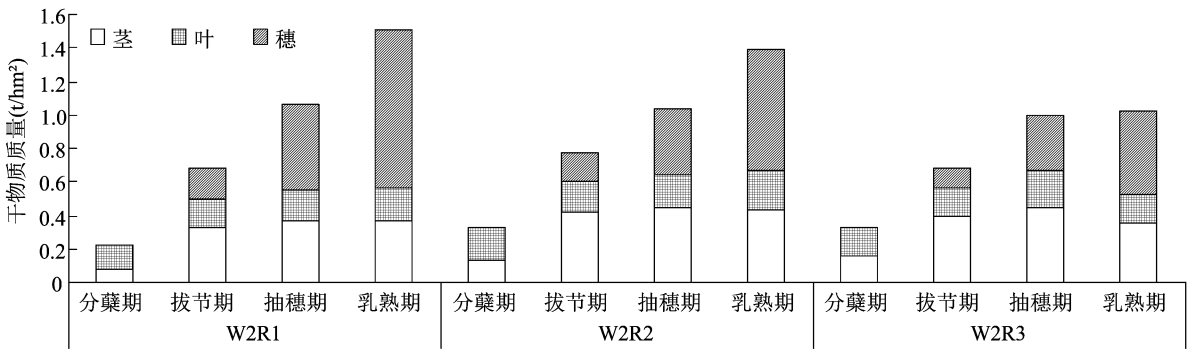


图12 浅层灌溉模式下水稻不同部位干物质质量变化

2.5 稻田不同水源及灌溉模式处理条件下对水稻产量的影响

图 13 显示,间歇灌溉模式(W1)下,一级水和二级水水源处理水稻产量较河道清水水源处理产量分别高 6.2%和 27.4%。薄露灌溉模式(W2)下,一

级水和二级水水源处理水稻产量较河道清水水源处理产量分别高 16.0%和 13.7%。浅层灌溉模式(W3)下,一级水和二级水水源处理水稻产量较河道清水水源处理产量分别高 26.7%和 2.5%。

一级水处理(R1)下,产量最高为浅层灌溉模式

(W3),其较间歇灌溉(W1)和薄露灌溉(W2)分别高17.5%和8.6%。二级水处理(R2)下,产量最高为间歇灌溉(W1),其较薄露灌溉(W2)和浅层灌溉(W3)分别高12.3%和25.2%。而河道清水处理

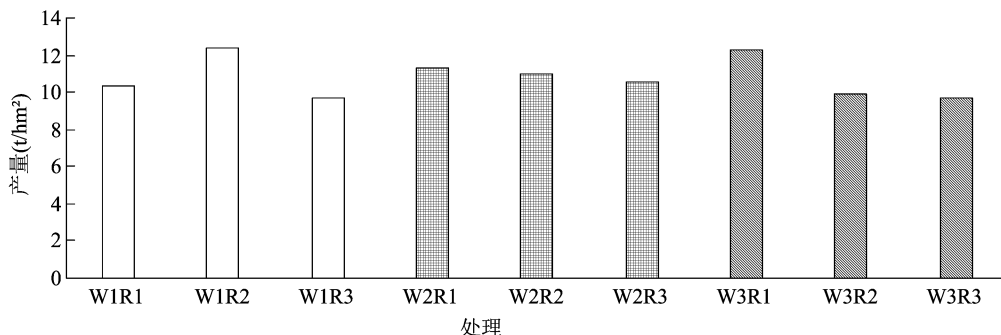


图13 不同处理条件下水稻产量比较

3 结论与讨论

3.1 再生水水源灌溉可以促进水稻生长

间歇灌溉模式下,一级水和二级水水源处理水稻株高较河道清水水源处理水稻株高分别高6.7%和8.6%。薄露灌溉模式下,一级水和二级水水源处理水稻株高较河道清水水源处理水稻株高分别高6.7%和4.3%。浅层灌溉模式下,一级水和二级水水源处理水稻株高较河道清水水源处理水稻株高分别高7.1%和2.2%。在灌溉模式相同情况下,再生水水源灌溉在带来营养元素的同时可以促进水稻的生长。

间歇灌溉模式下,一级水和二级水水源处理水稻干物质总质量较河道清水水源处理水稻干物质总质量分别高0.7%和28.7%。薄露灌溉模式下,一级水和二级水水源处理水稻干物质总质量较河道清水水源处理水稻干物质总质量分别高23.6%和13.3%。浅层灌溉模式下,一级水和二级水水源处理水稻干物质总质量较河道清水水源处理水稻干物质总质量分别高47.1%和35.1%。在灌溉模式相同情况下,再生水水源能够有效促进水稻干物质积累,有利于水稻产量形成。

3.2 再生水水源灌溉能提高水稻产量

间歇灌溉模式下,一级水和二级水水源处理水稻产量较河道清水水源处理产量分别高6.2%和27.4%。薄露灌溉模式下,一级水和二级水水源处理水稻产量较河道清水水源处理产量分别高16.0%和13.7%。浅层灌溉模式下,一级水和二级水水源处理水稻产量较河道清水水源处理产量分

(R3)下,3种灌溉模式产量基本相同。

因此,与河道水水源处理相比,一级水和二级水水源处理在一定程度上表现出增产效应。在灌溉模式相同情况下,再生水水源可以提高水稻产量。

别高26.7%和2.5%。同河道清水灌溉相比,再生水水源灌溉在一定程度上表现出增产效应。

参考文献:

- [1]熊振民. 从水稻生产现状展望21世纪[J]. 作物杂志,1995(5): 1-5.
- [2]Anikwe M A N, Nwobodo K C A. Long-term effect of municipal waste disposal on soil properties and productivity of sites used for urban agriculture in Abakaliki, Nigeria[J]. Bioresource Technology, 2002, 83: 241-250.
- [3]Bhogal A, Nicholson F A, Chambers B J, et al. Effects of past sewage sludge additions on heavy metal availability in light textured soils: implications for crop yields and metal uptakes[J]. Environmental Pollution, 2003, 121(3): 413-423.
- [4]陈卫平, 吕斯丹, 张炜铃, 等. 再生(污)水灌溉生态风险与可持续利用[J]. 生态学报, 2014, 34(1): 163-172
- [5]刘增进, 柴红敏, 李宝萍. 不同再生水灌溉制度对冬小麦生长发育的影响[J]. 灌溉排水学报, 2013, 32(5): 71-74.
- [6]李中阳, 樊向阳, 齐学斌, 等. 城市污水再生水灌溉对黑麦草生长及土壤磷素转化的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(8): 1072-1076.
- [7]吴卫熊, 何令祖, 邵金华, 等. 清水、再生水灌溉对甘蔗产量及品质影响的分析[J]. 节水灌溉, 2016(9): 74-78.
- [8]陈治江, 陈晓. 乌鲁木齐市再生水灌溉对棉花品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(5): 2006-2008.
- [9]Hassanli A M, Ebrahimizadeh M A, Beecham S. The effects of irrigation methods with effluent and irrigation scheduling on water use efficiency and corn yields in an arid region[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(1): 93-99.
- [10]Assouline S, Russo D, Silber A, et al. Balancing water scarcity and quality for sustainable irrigated agriculture[J]. Water Resources Research, 2015, 51(5): 3419-3436.
- [11]宋静. 田间渗漏强度对水稻生长及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(21): 216-218.