

不同栽植方式下杂交中稻分蘖期田间适宜蓄水深度研究

谢春娇¹, 朱建强^{1*}, 吴启侠¹, 乔月¹, 刘凯文²

(1. 湖北省涝渍灾害与湿地农业重点实验室, 湖北 荆州 434025;

2. 荆州农业气象试验站, 湖北 荆州 434025)

摘要:【目的】湖北平原湖区6—7月降雨较多,因此,需合理利用降雨资源,确定雨后田间适宜蓄水深度。【方法】结合湖北平原湖区生产实际,针对中稻机插秧和直播2种播种方式,在中稻分蘖期进行了不同蓄水深度(4、8、12和16 cm)测坑试验。【结果】当模拟机插秧蓄水深度4 cm、直播稻蓄水深度8 cm时,水稻叶片的光合速率最高,10~20 cm土层的根系干质量最大,产量最高;对模拟机插秧,蓄水深度8、12、16 cm的处理,产量较4 cm处理分别降低3.75%、9.49%和11.97%;对直播稻,蓄水深度4、12、16 cm的处理,其产量较8 cm处理分别降低5.03%、12.87%和16.45%。【结论】在本试验所研究的蓄水深度下,模拟机插秧与直播稻在分蘖期适宜的蓄水深度分别为4 cm和8 cm。当遭遇大暴雨导致农田排水不畅时,在允许水稻减产12%左右的情况下,分蘖期机插秧蓄水上限为16 cm,直播稻蓄水上限为12 cm。

关键词:机插秧;直播稻;光合特性;根系分布;蓄水深度

中图分类号:S511;S276

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.gggs.20190082

谢春娇,朱建强,吴启侠,等. 不同栽植方式下杂交中稻分蘖期田间适宜蓄水深度研究[J]. 灌溉排水学报,2019,38(11):58-64.

0 引言

水稻是世界60%以上人口的主食^[1],是最主要的粮食作物之一。中国南方湿润区稻田占全国稻田面积92%以上,其灌溉用水量占南方总灌溉用水量的90%以上^[2]。由于人口持续增长、城镇和工业的快速发展以及面源污染的加剧,导致可用于灌溉的水量不断减少,已经严重阻碍了水稻生产发展^[3-5]。因此,在南方多雨湿润地区也要发展水稻节水灌溉技术。

从挖掘水稻的耐旱耐涝特性考虑,在干旱少雨期实施调亏灌溉,在降雨多发期按照不致作物受涝减产进行调蓄灌溉,从而减少灌水次数及灌水量^[6-10],有利于提高水分利用效率。最大限度利用降雨来减少灌水量被认为是一种有效的节水灌溉策略^[11],黄俊友^[12]研究表明蓄存雨水能最大限度地利用雨水灌溉并带来巨大的经济效益;雷彩秀等^[13]也在随机降雨的基础上进行水稻优化灌溉。吕露等^[14]指出提高雨后蓄水上限,要在不影响作物生长导致减产的情况下减少灌溉水量。成威威^[15]研究表明降雨后蓄水15~35 cm可以提高10.98%~31.14%的雨水利用率。王姣等^[16]在水稻分蘖期雨后浅、中、深蓄水4 d再排水田面水TP量较雨后第1天排水分别下降57.1%、49.6%、48.5%。吕佳佳等^[17]研究表明,在降雨后水稻农田分蘖期1~3 d轻度涝害下限值为48 mm。李桂元等^[18]研究表明,降雨期间农田蓄水上限在25~35 cm之间。从防控稻田涝渍灾害考虑,一些研究者以减产不超过10%为标准,提出了水稻分蘖期田间蓄水深度^[19-21]。在湖北江汉平原,中稻通常在4月下旬至5月上、中旬育秧,5月底至6月初移栽,其分蘖期从6月上、中旬持续至7月上、中旬,该时期正值梅雨季节,王慧芳等^[22]研究表明,1971—2012年,6月洪涝灾害遍布湖北、湖南等5个省份,各省均达到中度及以上洪涝灾害;7月湖北省发生全域性洪涝灾害年份均达60%以上。且机插秧和直播稻在

收稿日期:2019-03-01

基金项目:国家重点专项(2016YFD0800500);公益性行业(农业)专项(201203032)

作者简介:谢春娇(1994-),女,海南定安人。硕士研究生,主要从事水土环境与农业。E-mail: 1079573985@qq.com

通信作者:朱建强(1963-),男,陕西周至人。教授,博士生导师,主要从事农业水土环境与涝渍灾害防控。E-mail: zyj@sina.com

南方平原地区很普遍,出于农机化的需要,机插秧苗的秧龄一般为15~20 d,与人工插秧相比其秧苗规格比小很多;而直播稻直接播种至田间,没有缓苗期,群体密度大但个体不如人工插秧健壮。由于栽种方式不同,水稻管理可能存在差异。为此,结合区域水文气象特点,选择降雨较为集中的中稻分蘖期进行试验,通过模拟强降水后水稻分蘖期长时间蓄水,了解机插稻与直播稻的耐涝性,进而找出这2种栽种方式下中稻在分蘖期的雨后适宜蓄水深度。

1 材料与方法

1.1 基本试验条件

试验地位于地处江汉平原腹地的长江大学试验基地(30°21'N,112°09'E,海拔32 m)。该区域属亚热带季风气候,年平均气温16.5℃,年均降水量1 095 mm,年均日照时间1 718 h,每年6—7月降雨较多,正值中稻分蘖期。供试品种均为广两优476,属籼型两系杂交水稻,在湖北省作一季中稻栽培。株高约120 cm,一般5月上旬播种,9月中旬成熟,全生育期135 d左右。

为便于进行严格的水位控制,利用能够进行灌排控制的有底混凝土测坑进行试验。每个试验测坑可种植面积为4 m²,土层厚度1 m,配备独立的灌排控制装置。

模拟机插稻试验的测坑其耕作层土壤的pH值为7.6,碱解氮量为68.4 mg/kg,速效磷量为27.7 mg/kg,速效钾量为115.7 mg/kg;用于直播稻试验的测坑其耕层土壤与前者近乎一致,土壤的pH值为7.7,碱解氮量为68.8 mg/kg,速效磷量为27.1 mg/kg,速效钾量为116.2 mg/kg。

模拟机插稻试验和水稻直播试验的施肥完全相同。每测坑(4 m²)N、K₂O、P₂O₅施用量分别为381.8、333.3、280.0 g,其中,氮肥70%作为基肥、30%作为分蘖肥,钾肥、磷肥全部基施。

1.2 雨后蓄水深度设计

2018年5月15日进行水稻直播(每测坑8 g干种,约296粒,人工均匀撒播,无规则株距)和机插稻播种育秧,6月10日将机插规格秧苗(平均株高18 cm)人工移栽到测坑(行距30 cm,株距16 cm,每穴4株,基本苗为288株),6月18日(分蘖初期)开始不同蓄水深度处理。在试验处理前,用钢尺量得直播稻秧苗的平均株高为28 cm、机插苗的平均株高为26 cm。

根据株高及降雨级别,设置4个蓄水深度:4、8、12和16 cm,设置2种栽植方式即机插稻(J)和直播稻(Z),J-4、J-8、J-12、J-16分别为模拟机插稻分蘖期蓄水深度依次为4、8、12和16 cm处理;Z-4、Z-8、Z-12、Z-16分别为直播稻分蘖期蓄水深度依次为4、8、12和16 cm处理,每个处理3个重复。蓄水深度4、8、12和16 cm分别模拟大雨(40 mm)、暴雨(80 mm)、大暴雨(120 mm)、大暴雨(160 mm)进行雨后蓄水试验。试验期间,每天上午08:00通过灌排装置进行灌水至试验设定水深,蓄水深度维持22 d不变,通过模拟分蘖时期持续降雨的梅雨季节,了解不同栽植模式下水稻的耐涝性,进而找出这2种栽种方式下中稻在分蘖期的雨后适宜蓄水深度。试验处理结束后水稻管理与当地农户管理一致。

1.3 测定项目与方法

水稻分蘖增长率:于处理开始后每7天测定水稻的茎蘖数,机插稻与直播稻均测定1 m²总茎蘖数与总穴数,计算平均茎蘖数。分蘖增长率按下式计算:

$$\text{分蘖增长率} = (\text{试验处理结束后平均茎蘖数} - \text{试验处理前平均茎蘖数}) / \text{最高平均茎蘖数}$$

剑叶光合特性:于处理开始后第9天(6月26日)采用Li-COR6400光合仪测定最新完全展开叶的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间CO₂摩尔分数。每小区测定3片最新完全展开叶,每片最新完全展开叶测定3个值取其平均值。

SPAD值:于处理开始后第9天(6月26日)采用叶绿素计(型号SPAD-502)测定新完全展开叶SPAD值。每小区测定3片新完全展开叶,每片新完全展开叶测定3个点取其平均值。

根系分布及根冠比:于处理结束恢复生长2周后进行田间取样,根据平均茎蘖数,每小区选择长势基本一致具有代表性的水稻3穴,取样时,以每穴水稻根为中心挖取长、宽、深均为20 cm的土块,将取出的土柱从上至下分别按0~5、5~10、10~20 cm切割,并将各层土柱分别置于40目尼龙网袋中用流水冲洗获得各层根系。然后将根及地上部鲜样放置恒温箱内,105℃杀青30 min,然后75℃恒温烘至恒质量,称量地上部干质量及根系干质量,计算根冠比。

产量及产量构成:水稻成熟后,每小区收获1 m²,脱粒并晒干,风选清除杂质和空秕粒,称量风干实粒总质量。在水稻成熟期调查有效穗数求出每小区平均有效穗数,并根据平均有效穗数进行取样,在每个小区取样3蔸。记录每蔸有效穗数和茎蘖数后,将穗子采取手工脱粒,稻草和枝梗烘干至恒质量后称干质量。籽粒脱粒后采用水选法将实粒和空秕粒分开,分开的样品烘箱烘干(勿需完全脱水),置于空气中放置至吸湿平衡(相当于室内陈干样品的含水量)。称量实粒、空秕粒的风干总质量,并从实粒中3份30 g小样,空秕粒中取3份2.0 g小样,记录每份小样的粒数。所有小样置于烘箱中,在80℃下烘干至恒质量后称量,接着完成产量构成因子(每穗实粒数、结实率、千粒质量)的统计。

1.4 统计分析

应用DPS15.10进行方差分析,Microsoft Excel 2010作图,LSD法进行处理间多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同蓄水深度对杂交中稻茎蘖生长的影响

图1为蓄水深度下模拟机插稻和直播稻的分蘖增长率。由图1可知,模拟机插稻在蓄水深度4 cm时分蘖增长率最高,为56.13%,与其余处理均差异显著。蓄水深度8 cm分蘖增长率为52.47%;而蓄水深度12、16 cm分蘖增长率仅为38.83%、35.10%。从水稻的分蘖增长率可以看出,在本试验所研究的蓄水深度下,模拟机插稻分蘖期最佳适宜蓄水深度为4 cm。

蓄水深度8 cm时直播稻分蘖增长率最高,为58.30%,与其余处理均差异显著。蓄水深度4 cm处理分蘖增长率为54.33%;而蓄水深度12 cm和16 cm分蘖增长率分别为44.07%、37.30%。从不同蓄水深度对水稻分蘖增长率的影响可以看出,在本试验所研究的蓄水深度下,直播稻分蘖期最佳适宜蓄水深度为8 cm。

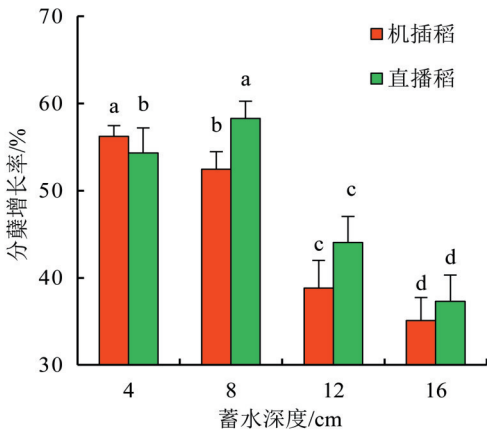


图1 蓄水深度下模拟机插稻和直播稻的分蘖增长率

2.2 不同蓄水深度对杂交中稻剑叶光合特性的影响

表1为不同蓄水深度下模拟机插稻和直播稻剑叶光合特性。由表1可知,水稻分蘖期最新完全展开叶的光合特性指标与蓄水深度有一定关系。对于模拟机插稻,光合作用随着蓄水深度增加呈减弱趋势;分蘖期蓄水深度4 cm时模拟机插稻最新完全展开叶净光合速率(P_n)最大,蒸腾速率(T_r)最高,其 P_n 和 T_r 与其他蓄水深度不同处理间均差异显著,但蓄水深度12 cm处理与蓄水深度16 cm处理水稻 P_n 差异不显著;对于直播稻,光合作用随着蓄水深度增加呈先增加后减弱的趋势,转折点出现在蓄水深度为8 cm处,在该点最新完全展开叶的光合代谢最强,其净光合速率显著高于蓄水深度4 cm处理,但水稻的蒸腾速率、胞间CO₂摩尔分数和气孔导度与蓄水深度4 cm时无显著差异。综合分析,从蓄水深度对光合作用的影响看,模拟机插稻在分蘖期的适宜蓄水深度为4 cm,直播稻为8 cm。

表1 不同蓄水深度下模拟机插稻和直播稻剑叶光合特性

处理	净光合速率 $P_n/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	蒸腾速率 $T_r/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	胞间 CO ₂ 摩尔分数 $G_s/(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$	气孔导度 $C_i/(\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$
J-4	25.82±0.73a	8.78±0.33a	0.40±0.03a	288.14±7.00a
J-8	22.74±0.61b	7.51±0.27b	0.31±0.07b	273.30±5.68b
J-12	19.93±0.44c	6.46±0.01c	0.25±0.07c	260.55±0.94c
J-16	19.36±0.82c	5.76±0.21d	0.21±0.02d	249.82±7.51c
Z-4	24.72±0.47b	5.49±0.49a	0.51±0.01a	281.29±0.59a
Z-8	26.27±0.47a	5.80±0.23a	0.53±0.01a	291.28±0.77a
Z-12	23.47±0.19c	4.45±0.20b	0.45±0.02b	268.59±7.41b
Z-16	22.57±0.14d	3.96±0.75b	0.39±0.07b	260.81±9.98b

注 J-4、J-8、J-12、J-16 分别为模拟机插稻分蘖期蓄水深度依次为4、8、12和16 cm处理;Z-4、Z-8、Z-12、Z-16 分别为直播稻分蘖期蓄水深度依次为4、8、12和16 cm处理;下同。

2.3 不同蓄水深度对杂交中稻完全展开叶 SPAD 值的影响

图2为不同蓄水深度对模拟机插稻和直播稻 SPAD 值的影响。由图2可知,模拟机插稻在分蘖期完全展开叶的 SPAD 值随蓄水深度增加而减小,但只有当蓄水深度超过 8 cm 时 SPAD 值才会显著减少,表明雨后田间蓄水深度 4~8 cm 不会明显影响水稻生长,与其余处理均差异显著,蓄水深度 12、16 cm 处理水稻完全展开叶 SPAD 值较蓄水深度 4~8 cm 显著降低。

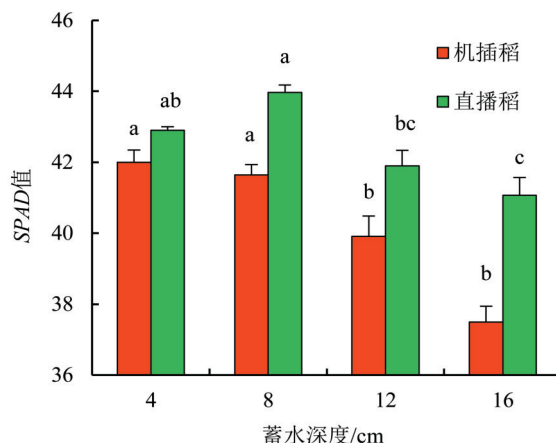


图2 不同蓄水深度对模拟机插稻和直播稻 SPAD 值的影响

直播稻分蘖期完全展开叶的 SPAD 值先增后降,蓄水深度 8 cm 对应的 SPAD 最大,但与蓄水深度 4 cm 处理无显著差异,即雨后田间蓄水深度 4~8 cm 对直播稻是适宜的。蓄水深度 4 cm 处理与蓄水深度 12 cm 处理水稻完全展开叶 SPAD 值差异不显著,蓄水深度 12 cm 处理与蓄水深度 16 cm 处理水稻完全展开叶 SPAD 值差异不显著。

2.4 不同蓄水深度对杂交中稻根系分布的影响

图3为不同蓄水深度对模拟机插稻和直播稻根构型的影响。由图3可知,蓄水深度为 4 cm 时模拟机插稻根系总干质量最高,各土层根系干质量也是最大,当蓄水深度超过 4 cm 时,0~5 cm 土层根系干质量随蓄水深度增加而减少,蓄水深度 4 cm 处理与其余处理 0~5 cm 土层根系干质量均差异显著,蓄水深度 12 cm 处理与蓄水深度 16 cm 处理之间 0~5 cm 土层根系干质量差异不显著;而 5~10 cm 土层根系干质量各个蓄水深度不同处理间基本持平;最为突出的是 10~20 cm 土层根系干质量,蓄水深度为 4 cm 时水稻 10~20 cm 土层根系干质量最大,当蓄水深度超过 4 cm 时,10~20 cm 土层根系干质量随蓄水深度增加显著减少。

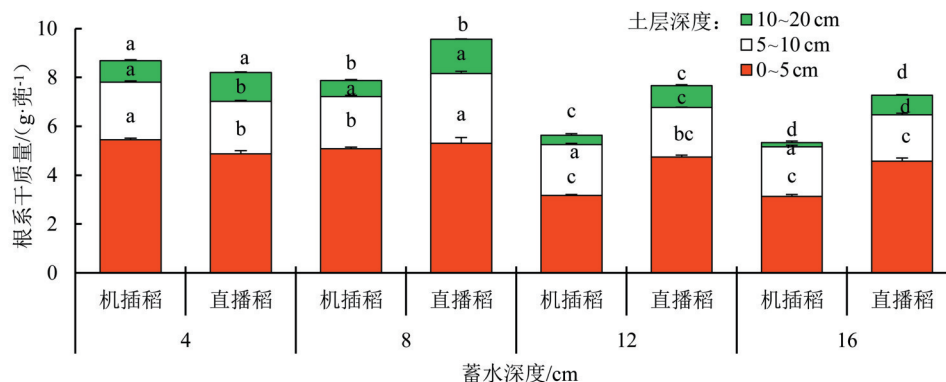


图3 不同蓄水深度对模拟机插稻和直播稻根构型的影响

蓄水深度为 8 cm 时直播稻根系总干质量最高,各土层根系干质量也是最大,与其余处理 0~5 cm 土层根系干质量均差异显著,但蓄水深度 4 cm 处理与蓄水深度 12 cm 处理之间处理 0~5 cm 土层根系干质量差异不显著,蓄水深度 12 cm 处理与蓄水深度 16 cm 处理之间 0~5 cm 土层根系干质量差异不显著;5~10 cm 土层根系干质量各个蓄水深度不同处理之间均差异显著;10~20 cm 土层根系干各个蓄水深度不同处理间同样差异显著。

同一蓄水深度下,除蓄水深度 4 cm 处理外,直播稻 0~5 cm 土层根系干质量均高于模拟机插稻,而直播

稻除蓄水深度 8 cm 处理外,5~10 cm 土层根系干质量均低于模拟机插稻,但直播稻 10~20 cm 土层根系干质量均远远高于模拟机插稻,说明同一蓄水条件下,模拟机插稻根系主要生长在 5~10 cm 土壤表层,仅极少部分能够深扎至 10~20 cm 土层,而直播稻根系却能够更好的深扎。就蓄水深度对水稻根构型的影响看,模拟机插稻分蘖期水稻的最适宜蓄水深度为 4 cm,而直播分蘖期水稻的最适宜蓄水深度为 8 cm。

2.5 不同蓄水深度对杂交中稻根冠比的影响

图 4 为蓄水深度对模拟机插稻和直播稻根冠比的影响。由图 4 可知,蓄水深度 4 cm 时机插稻根冠比远高于其他蓄水深度,各个蓄水深度不同处理间均差异显著;当蓄水深度超过 4 cm 时,根冠比随着蓄水深度增加显著降低,说明增加蓄水深度严重抑制了水稻地上部的生长。直播稻的根冠比呈先增加后降低的趋势,蓄水深度为 8 cm 时直播稻根冠比最大,并与其余蓄水深度不同处理均差异显著;但蓄水深度 12 cm 处理与蓄水深度 16 cm 处理根冠比差异不显著。

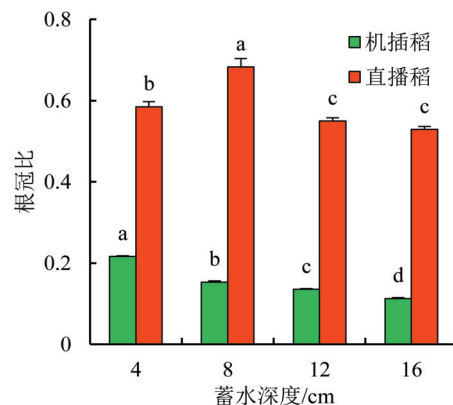


图 4 蓄水深度对模拟机插稻和直播稻根冠比的影响

在同一蓄水深度下,直播稻的根冠比远大于模拟机插稻,就蓄水深度对水稻根冠比的影响来说,模拟机插稻分蘖期水稻的最适宜蓄水深度为 4 cm,而直播分蘖期水稻的最适宜蓄水深度为 8 cm。

2.6 不同蓄水深度对杂交中稻产量及其构成因子的影响

表 2 为不同蓄水深度下模拟机插稻和直播稻的产量构成。由表 2 可知,蓄水深度 4 cm 时模拟机插稻的有效穗最多,每穗实粒数最多,结实率最高,千粒质量最大,实际产量最高,但与蓄水深度 8 cm 的处理差异不显著,即分蘖期保持蓄水深度 4~8 cm 不会明显降低水稻产量,并随着蓄水深度增加,水稻的有效穗数、每穗实粒数、结实率与千粒质量均随之降低,蓄水深度 8 cm 处理、蓄水深度 12 cm 处理、蓄水深度 16 cm 处理产量较蓄水深度 4 cm 处理分别降低了 3.75%、9.49%、11.97%;引起减产的最主要因素是每穗实粒数和结实率降低。分蘖期蓄水深度保持 8 cm 时直播稻产量构成要素最优,相应的产量也最高,在本试验所研究的蓄水深度下,蓄水深度低于或高于这个值均会引起减产。蓄水深度 4 cm 处理、蓄水深度 12 cm 处理、蓄水深度 16 cm 处理产量较蓄水深度 8 cm 处理分别降低了 5.03%、12.87%、16.45%,引起减产的最主要因素是每穗实粒数和结实率降低。同一蓄水深度下,模拟机插稻的有效穗远高于直播稻,千粒质量与产量也同样高于直播稻,除蓄水深度 8 cm 处理外,其结实率也略高于直播稻。就蓄水深度对水稻产量因子的影响来说,模拟机插稻分蘖期水稻的最适宜蓄水深度为 4~8 cm,而直播分蘖期水稻的最适宜蓄水深度为 8 cm。

表 2 不同蓄水深度下模拟机插稻和直播稻的产量构成

处理	有效穗数/兜	每穗实粒数/粒	结实率/%	千粒质量/g	实际产量/(kg·m ⁻²)
J-4	16±0.58a	133.66±4.50a	76.01±1.5a	29.48±0.57a	0.984 6±0.01a
J-8	15±0.58a	129.66±8.62ab	74.55±1.34a	28.94±0.23ab	0.948 7±0.02b
J-12	13±0.53b	121.00±6.24b	71.07±1.02b	28.43±1.51ab	0.891 2±0.01c
J-16	13±0.52b	97.00±7.21c	67.30±0.95c	27.83±0.66b	0.866 7±0.01c
Z-4	8.66±0.58a	126.76±1.28b	74.46±0.58b	27.31±0.10a	0.871 2±0.02b
Z-8	9.33±0.57a	131.91±1.24a	78.89±0.89a	27.41±0.18a	0.917 3±0.01a
Z-12	7.33±0.57b	121.12±0.96c	70.27±1.97c	26.73±0.08b	0.799 2±0.02c
Z-16	7.00±0.00b	118.27±1.37d	66.36±2.07d	26.09±0.09c	0.766 4±0.04c

3 讨论

水稻的适宜蓄水深度可能与水稻的耐涝能力有关,不同水稻类型,不同的生育期以及不同的栽植方式,水稻的淹涝能力不同。刘明等^[23]研究表明,杂交粳稻的耐淹涝能力强于杂交籼稻。朱崇基等^[24]研究表明,孕穗期对淹涝胁迫最敏感,其次是开花期、乳熟期,另一些研究显示开花期对淹涝胁迫最敏感^[25-26],其差异可能与不同的研究者所使用的研究材料、淹涝胁迫处理环境条件不一致^[27]有关。吴启侠等^[28]研究表明,水稻营养

生长阶段受淹涝对产量的危害小于生殖生长阶段,孕穗期对淹水胁迫较分蘖期更敏感。

模拟机插稻与直播稻分蘖期最佳蓄水深度有差异,可能与根系生长及分布等因素有关。直播稻于5月15日播种到田间,到6月18日开始蓄水处理时在田间已经正常生长了30 d以上,根系生长及分布与模拟机插稻明显不同。直播稻10~20 cm土层根干质量占总根干质量的比例(14.02%)明显高于模拟机插稻(10.15%),而直播稻0~5 cm土层根干质量占总根干质量的比例(55.54%)明显低于模拟机插稻(62.75%),说明分蘖期直播稻的入土深度比模拟机插稻大。从根冠比看,分蘖期模拟机插稻(0.21)明显低于直播稻(0.63),说明直播稻的根系发达。另外,直播稻需水量、降雨利用率较移栽水稻大^[29],也是2种栽植方式下田间适宜蓄水深度不同的原因。分蘖期直播稻与模拟机插稻的最适蓄水深度不同,产量也不同。直播稻蓄水深度大于模拟机插稻,但产量却低于模拟机插稻。其原因可能是直播稻植株密集,总穗虽多,但成穗率低。杨波等^[30]研究不同栽植方式对水稻的影响也有类似结论,即直播稻成穗率低、产量低于机插稻。

4 结 论

1)模拟机插稻分蘖期雨后适宜蓄水深度为4 cm,随着蓄水深度的增加,净光合速率降低,蒸腾速率减小,10~20 cm土层根系干质量显著减少,根冠比显著减小,每穗实粒数、结实粒、千粒质量也随之降低,最终导致产量降低,且蓄水深度越深,产量越低。

2)直播稻分蘖期雨后适宜蓄水深度为8 cm,在该蓄水条件下,水稻的光合作用、根系生长以及产量指标均表现为最佳状态,除8 cm处理外,净光合速率较8 cm处理均表现为降低,5~10 cm与10~20 cm土层根系干质量较8 cm处理显著减少,根冠比减小,每穗实粒数与结实粒也降低,导致产量降低。

3)当遭遇大暴雨(降雨超过100 mm)导致农田排水不畅时,允许水稻减产12%左右的情况下分蘖期模拟机插稻蓄水上限为16 cm,直播稻蓄水上限为12 cm。

参考文献:

- [1] 陈林,赵双玲,朱江艳,等.膜下滴灌水稻的农艺性状相关性和主成分分析[J].安徽农业科学,2012,40(22):11 202-11 204.
- [2] 茆智.水稻节水灌溉[J].中国农村水利水电,1997(4):45-47.
- [3] BOUMAN B A M, TUONG T P. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice[J]. Agricultural Water Management, 2001, 49(1): 11-30.
- [4] BOUMAN P, BOUMAN B A M, CABANGON R, et al. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical lowland conditions in Asia[J]. Agricultural Water Management, 2003, 65(3): 193-210.
- [5] BOUMAN B A M. A conceptual framework for the improvement of crop water productivity at different spatial scales[J]. Agricultural Systems, 2007, 93(1): 43-60.
- [6] 徐佳,沈瑞.不同生育阶段水分控制对浅湿间歇灌溉水稻株高及产量的影响[J].安徽农业科学,2015,43(21):62-64.
- [7] 王卫光,孙凤朝,彭世彰,等.水稻灌溉需水量对气候变化响应的模拟[J].农业工程学报,2013,29(14):90-98.
- [8] 刘广明,杨劲松,姜艳.节水灌溉条件下水稻需水规律及水分利用效率研究[J].灌溉排水学报,2005,24(6):49-52,55.
- [9] 张卫星,朱德峰.水分亏缺对水稻生长发育、产量和稻米品质影响的相关研究[J].中国稻米,2007,4(5):1-4.
- [10] 单捷,孙玲,方莹,等.基于不同时相高分一号卫星影像的水稻种植面积监测研究[J].江苏农业科学,2017,45(22):229-232.
- [11] 庄杨,卢健,缴锡云.地下水埋深对棉花灌溉制度的影响[J].节水灌溉,2015,15(3):15-17.
- [12] 黄俊友.水稻节水灌溉与雨水利用[J].中国农村水利水电,2005(7):11-12.
- [13] 雷彩秀,熊卫红,姜忠,等.基于随机降雨的水稻优化灌溉制度[J].灌溉排水学报,2017,36(5):66-72.
- [14] 吕露,冯常萍,崔远来.水稻不同节水灌溉模式的水分利用效率比较:以荆门、桂林为例[J].节水灌溉,2011,(3):15-17,22.
- [15] 成威威.雨水深蓄对水稻生长及稻田减排效果影响研究[D].扬州:扬州大学,2018.
- [16] 王姣,俞双恩,王梅,等.分蘖期稻田不同水深对暴雨后地表水深层氮磷变化的影响[J].灌溉排水学报,2018,37(8):71-75,82.
- [17] 吕佳佳,王嘹嘹,石磊,等.寒地水稻关键生育期涝害的过程雨量指标构建[J].生态学杂志,2019,38(5):1 402-1 409.
- [18] 李桂元,李康勇,胡春艳.南方地区超级杂交水稻田间灌溉排水管理最优化研究[J].中国农村水利水电,2018(5):14-17,22.
- [19] 王矿,王友贞,汤广民.水稻分蘖期淹水试验研究[J].中国农村水利水电,2015(10):23-25.
- [20] 王振省,李磊,李婷婷,等.水稻分蘖期淹水对根系生长和产量的影响研究[J].灌溉排水学报,2014,33(6):54-57.
- [21] 刘健,殷新华,顾爱民,等.分蘖期淹水胁迫对水稻生长发育及产量的影响[J].水利与建筑工程学报,2018,16(6):225-229.
- [22] 王慧芳,吴力,栾庆祖,等.1971—2012年长江中下游地区水稻洪涝时空分布特征[J].灌溉排水学报,2019,38(4):100-107.
- [23] 刘明,李岩,郭贵华,等.长江下游不同类型水稻分蘖期耐淹能力比较[J].应用生态学报,2015,26(5):1 373-1 381.
- [24] 朱崇基,朱远骥,应盛木,等.水稻孕穗期到始穗期淹水对产量及经济性状的影响[J].浙江农业科学,1989(4):151-154.

- [25] 史济林, 罗中元, 唐厚传. 涝害对早稻生育影响及抗涝措施的研究[J]. 浙江农业科学, 1992(2): 53-57.
- [26] 李玉昌. 淹涝胁迫下水稻不同基因型生理生化特性的研究[D]. 北京: 中国科学院, 1998.
- [27] 李阳生, 李绍清. 淹涝胁迫对水稻生育后期的生理特性和产量性状的影响[J]. 武汉植物学研究, 2000,18(2): 117-122.
- [28] 吴启侠, 杨威, 朱建强, 等. 杂交水稻对淹水胁迫的响应及排水指标研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014,23(6): 875-882.
- [29] 吴珠明. 不同栽培模式下的水稻灌溉制度研究[J]. 现代农业科技, 2018(14): 14-15.
- [30] 杨波, 徐大勇, 张洪程. 直播、机插与手栽水稻生长发育、产量及稻米品质比较研究[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2012, 33(2): 39-44.

Rational Water Storage Depth in the Paddy Field during Tillering Stage of Mid-season Hybrid Rice in Different Cultivation Ways

XIE Chunjiao¹, ZHU Jianqiang^{1*}, WU Qixia¹, QIAO Yue¹, LIU Kaiwen²

(1. Hubei Provincial Key Laboratory of Waterlogging Disaster and Wetland Agriculture, Jingzhou 434025, China;

2. Jingzhou Agro-meteorology Experimental Station of, Jingzhou 434025, China)

Abstract: 【Objective】 There are more rainfalls in the plain lake area of Hubei from June to July, and it is very important to make reasonable use of rainfall resources to determine water storage depth(WSD) in the field after raining. 【Method】 Combined with the actual production of the lake plain in Hubei Plain, the pit test of different water storage depths (4 cm, 8 cm, 12 cm and 16 cm) was carried out in the middle rice tillering stage for the simulating machine transplanting rice(SMTR) and the direct seeding rice(DSR). 【Result】 Under the water storage depth studied in this experiment, when the SMTR depth was 4 cm and the DSR depth was 8 cm, the photosynthetic rate of rice leaves was the highest, the *SPAD* value was the largest, and the dry weight of roots was the highest in 10~20 cm soil layer, the highest yield. The grain yield of SMTR under the treatments of WSD in 8 cm, 12 cm and 16 cm reduce by separately 3.75%, 9.49% and 11.97%; for direct seeding rice, the grain yield of treatments of WSD in 4 cm, 12 cm and 16 cm reduce by separately 5.03%, 12.87% and 16.45% with contrast to the treatment of WSD in 8 cm. 【Conclusion】 Under the water storage depth studied in this experiment, suitable water storage depth was 4 cm for SMTR and 8 cm for DSR. When the poor drainage of the farmland caused by the heavy rain in tillering stage, the maximum water storage limit of the SMTR was 16 cm, and the upper limit of the WSD storage capacity was 12 cm.

Key words: machine transplanting rice; direct seeding rice; photosynthetic characteristics; root distribution; water storage depth

责任编辑:白芳芳