

寒地水稻产量因素对淹水胁迫的响应

朱海霞, 姜丽霞, 纪仰慧, 闫平, 吕佳佳, 李秀芬, 王萍*

(黑龙江省气象科学研究所, 哈尔滨 150030)

摘要: 黑龙江省现为我国最大的水稻产区和商品稻区, 但河流众多, 且夏季多大雨、暴雨, 较易形成涝灾。为了研究洪涝灾害对寒地水稻产量的影响, 于2017年通过田间淹水试验, 分析寒地水稻关键生育期不同淹水深度、淹水历时造成的结实率和产量差异。结果表明: 龙粳31在拔节孕穗期、抽穗开花期和乳熟期经淹水处理后, 产量和结实率均有不同程度的下降, 并随着淹水深度的增加和淹水历时的延长而明显下降, 淹水深度达植株高度的2/3~3/3, 淹水历时为3~7 d, 产量损失约31.1%~65.2%。方差分析表明: 龙粳31和龙稻18在全淹没下的结实率、产量极显著($P<0.01$)低于植株高度2/3、1/3的淹水深度, 淹水历时为7 d的结实率极显著($P<0.01$)低于3 d的淹水历时。水稻在较深的淹水条件下, 长时间的淹水胁迫会加速结实率和产量的下降。当田间积水深度达25 cm, 且淹水时间超过3 d时, 会造成水稻结实率和产量的下降, 而淹水深度为25~50 cm或以上, 淹水历时超过3 d时, 将造成水稻结实率和产量的明显下降。

关键词: 水稻; 洪涝; 产量; 结实率; 生育期

中图分类号: S511

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2020)06-0019-05

Yield Responses of Rice under Submergence Stress in Frigid Region

ZHU Haixia, JIANG Lixia, JI Yanghui, YAN Ping, LYU Jiajia, LI Xiufen, WANG Ping*

(Heilongjiang Institute of Meteorological Sciences, Harbin 150030, China)

Abstract: Heilongjiang province is now the largest rice producing area and commercial rice area in China, but there are many rivers, and heavy rain and rainstorm in summer make it more likely to cause waterlogging. In order to study the impact of flood disaster on rice yield in cold region, field submergence experiment was conducted in 2017 to analyze the differences in seed setting rate and yield caused by different submergence depth and duration of submergence in key growth period of rice in cold region. The results showed that: under submergence stress during these periods such as elongation-booting stage, Flowering stage and milk stage for Longjing 31, percentage of ripened grains and yield decreased to varying degrees. They obviously decreased with increasing submergence depth and time, for example, when submergence depth was from 2/3 to 3/3 plant height, and submergence time was from 3 to 7 days, yield loss was about from 31.1% to 65.2%. The analysis of variance showed that the seed-setting rate and yield of Longjing 31 and Longdao 18 under full submersion were extremely significant ($P<0.01$), which were lower than the flooding depth of 2/3 and 1/3 of the plant height, and the seed-setting rate ($P<0.01$), which lasted for 7 days, was significantly lower than the flooding depth of 3 days. Under the condition of deep submergence, the yield and seed setting rate of rice could be decreased by prolonged submergence stress. When the depth of field water reaches 25 cm and the duration of submersion exceeds 3 days, the seed setting rate and yield of rice will decrease, while when the depth of submersion is 25~50 cm or above and the duration of submersion exceeds 3 days, the seed setting rate and yield of rice will decrease significantly.

Key words: Rice; Waterlogging; Yield; Percentage of ripened grains; Growing period

收稿日期: 2018-11-22

基金项目: 国家自然科学基金(31671575)

作者简介: 朱海霞(1978-), 女, 高级工程师, 硕士, 主要从事农业气象等方面的研究工作。

通讯作者: 王萍, 女, 硕士, 高级工程师, E-mail: nqzwp@163.com

黑龙江省现已成为我国最大的水稻产区和商品稻区, 是国家粮食安全不可或缺的组成部分。黑龙江年降水量400~600 mm, 但夏季降水集中和极端天气事件仍易导致洪涝频发, 水稻产量因洪涝平均受损10%以上, 对粮食安全生产构成威胁。黑龙江省地处高纬度地区, 南北和东西跨越

约10个纬度或经度,是典型的“气候脆弱区”,降水存在复杂的时空分布特征^[1],松嫩平原和三江平原地势平坦,强降水过后,农田排水困难,较易形成涝灾。

国内外专家学者对洪涝灾害的影响开展了大量研究^[2-3]。我国对于洪涝灾害影响分析的研究始于20世纪80年代,90年代以来的研究方向主要集中于灾害评估体系的构建^[4]、经济损失的计量^[5]和遥感监测方法研究^[6]等方面。2010年以来,专家学者从多角度、多方向上对洪涝变化趋势和特征^[7]、风险区划^[8]、监测和损失评估^[9]等开展了更为详尽细致的研究,但关于寒地水稻洪涝的致灾机制、致灾的临界阈值等的研究基本未见。鉴于此,本文通过田间试验分析寒地水稻关键生育期遭遇淹水胁迫而造成的产量性状差异。通过分析各淹水深度、淹水历时、同一淹水深度不同淹水历时以及同一淹水历时不同淹水深度对寒地水稻产量的影响程度,最终确定不同淹水深度及淹水历时对水稻产量的影响差异,为寒地水稻安全生产、合理种植及结构调整提供理论依据。

1 试验材料与研究方法

1.1 试验材料

水稻淹水试验区位于庆安灌溉试验站,隶属于绥化市庆安县,属平灌区,选取2个主栽品种龙粳31和龙稻18进行田间淹水试验。

1.2 试验设计与处理

水稻育秧及移栽遵从试验基地的农事时间,育秧方式采用大棚钵育苗,播种时间为2017年4月5日。5月18日移栽至试验区内,至水稻拔节孕穗期(B)、抽穗开花期(C)及乳熟初期(R)分别进行淹水处理。以淹水深度、淹水历时为2个试验因素,以1/3植株高度(1/3h)、2/3植株高度(2/3h)、全淹没(3/3h)及淹水3d、淹水7d为因素水平,将各因素水平排列为随机区组,同时设定对照(CK)处理,共计38个处理。

为方便书写,各处理符号化,例如水稻在拔节孕穗期以1/3植株高度淹水处理3d,简化为B-1/3h-3d,其余处理类同。

采用淹水池小区试验方法,每个淹水池长×宽为4.2m×1.2m。淹水池内单个品种的种植面积长×宽为2.1m×1.0m。在进行淹水试验时组合安装淹水防护装置,以满足不同设计深度的淹水要求。

栽培措施与管理遵照当地实况进行,并于水稻移栽期起观测分蘖、株高等各生育性状,待各

处理成熟收获后测定穗粒数、千粒重、结实率等产量构成因子。

理论产量=(有效分蘖×穴数/hm²×每穗总粒数×千粒重×结实率)/1000

1.3 数据分析

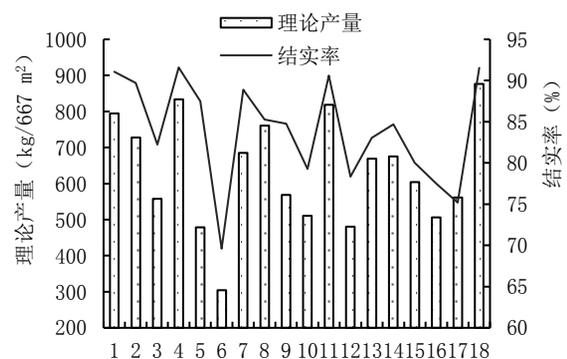
因多种原因,水稻乳熟期、且7d处理未获得有效数据,因此四因素方差分析方案中去除乳熟期因子,并增加三因素的方差分析,即删除所有淹水时间为7d的各项处理,仅分析两个品种、不同水稻发育期、不同淹水深度在淹水历时为3d下的性状表现。

方差分析采用SPSS 19.0,自变量的主效应显著性差异比较和检验采用LSD法,两因素间的交互作用显著后的简单效应定量分析和检验则基于SPSS 19.0平台编程语言来实现。对各自变量分析的原则为方差分析结果中各因素若存在显著性或两因素互作存在显著性则进行平均值差异比较、显著性的多重比较及简单效应综合分析。

2 结果与分析

2.1 产量构成因子的趋势变化分析

鉴于龙粳31淹水胁迫各处理中,只缺失R-3/3h-7d处理数据,因此以龙粳31为例,对比对照,分析在水稻拔节孕穗期、抽穗开花期和乳熟初期经不同的淹水深度和淹水历时造成的理论产量和结实率的差异。如图1所示,在拔节孕穗期、抽穗开花期和乳熟初期经淹水处理后,各处理结实率与对照比较均有不同程度下降,其中B-3/3h-7d的结实率最低,比对照低了24%;C-3/3h-7d、C-2/3h-7d、R-2/3h-3d、R-2/3h-7d和R-3/3h-3d分别比对照低了14.4%、13.4%、13%、15.4%和17.9%;



1.B-1/3h-3d;2.B-1/3h-7d;3.B-2/3h-3d;4.B-2/3h-7d;5.B-3/3h-3d;6.B-3/3h-7d;7.C-1/3h-3d;8.C-1/3h-7d;9.C-2/3h-3d;10.C-2/3h-7d;11.C-3/3h-3d;12.C-3/3h-7d;13.R-1/3h-3d;14.R-1/3h-7d;15.R-2/3h-3d;16.R-2/3h-7d;17.R-3/3h-3d;18.CK

图1 不同生育期淹水胁迫对龙粳31水稻产量构成因子的影响差异

各生育期水稻经淹水胁迫的6个处理中,多数处理结实率总体呈依次下降;其理论产量与对照比较均有不同程度下降,部分处理产量损失量非常明显,均超过了31%,其中淹水高度为全株高,且淹水历时为7 d造成的下降最明显,虽乳熟期水稻7 d淹水历时的处理数据缺失,但根据趋势可以预判,该处理造成的结实率和理论产量将更低。说明龙粳31各处理遭遇淹水胁迫结实率和理论产量均有不同程度的下降,其中拔节孕穗期水稻产量损失最明显,抽穗开花期和乳熟期产量损失相对偏低,且随着淹水深度的增高和淹水历时的延长而明显下降。

2.2 淹水胁迫对水稻结实率的影响

2.2.1 结实率的四因素方差分析

方差分析表明,水稻经淹水处理后,结实率在品种间、发育期间、淹水深度间、淹水历时间差异显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$),品种与发育期间、发育期与淹水时间长度间、淹水深度与淹水时间长度间互作效应显著或极显著,需进一步进行简单效应和直观图的综合分析。

2.2.2 结实率四因素方差分析的主效应和互作效应分析

经淹水处理后,龙稻18、龙粳31结实率均值分别为77.5%、84.9%,差异显著;拔节孕穗期、抽穗开花期结实率分别为84.9%、77.5%,差异显著,说明抽穗开花期经淹水处理造成了结实率的显著下降;淹水历时为7 d时,水稻结实率降至76.8%,极显著低于3 d的淹水历时,说明水稻遭遇长时间的淹水会造成结实率的显著下降。

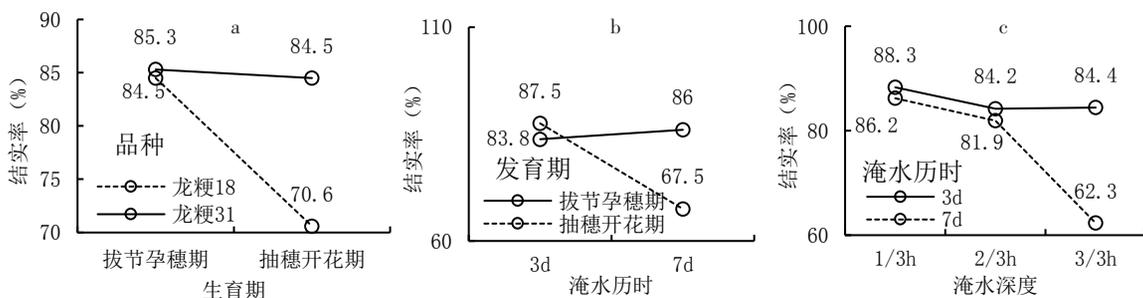


图2 因子间有交互效应的结实率估算图

2.2.3 结实率的三因素方差分析

方差分析表明,水稻经淹水处理后,结实率在发育期间、淹水深度间差异极显著,发育期与淹水深度间互作效应显著,需进一步进行简单效应和直观图的综合分析。

2.2.4 结实率三因素的主效应和互作效应分析

由表2可知,经3 d淹水处理后的乳熟初期与

由表1可知,淹水深度为1/3h和2/3h造成的结实率与3/3h的淹水深度差异极显著。说明随着淹水深度的增加,结实率明显下降,当淹水深度

表1 淹水深度间结实率的多重比较

淹水深度	平均值(%)
1/3h	87.2aA
2/3h	83.1aA
3/3h	73.3bB

注:大写字母不同表示 $P<0.01$,小写字母不同表示 $P<0.05$,下同

达到全株高时,水稻结实率较低。

图2a为品种与发育期间交互作用的结实率估算图,对于龙稻18,拔节孕穗期和抽穗开花期的结实率差异极显著,其抽穗开花期的结实率估算值仅为70.5%,但龙粳31两个时期差异不显著,说明与龙粳31相比,龙稻18表现出对淹水胁迫的敏感性,于抽穗开花期的结实率显著下降。

图2b为发育期与淹水深度间交互作用结实率估算图,在拔节孕穗期,淹水时间从3 d到7 d的结实率变化不大;在抽穗开花期,淹水时间从3 d到7 d的结实率极显著地下降。说明抽穗开花期水稻对淹水历时敏感,其结实率随着淹水时间的延长极显著降低。

图2c为淹水深度与淹水历时间交互作用结实率估算图,在3 d的淹水历时下,各淹水深度的水稻结实率变化不明显;在7 d的淹水历时下,淹水深度从2/3h至3/3h的结实率极显著地下降,说明水稻在较深的淹水状态下,长时间的淹水胁迫,水稻结实率降至很低的水平。

拔节孕穗期水稻结实率差异显著,抽穗开花期与

表2 发育期间结实率的多重比较

发育期	平均值(%)
抽穗开花期	87.5aA
拔节孕穗期	83.8aAB
乳熟初期	78.1bB

乳熟初期差异极显著。说明乳熟初期水稻经3 d的淹水胁迫后,结实率显著下降。

由表3可知,淹水深度为1/3h与2/3h、3/3h结实率差异显著或极显著,说明随着淹水深度的增加,结实率明显下降,当淹水深度达到全株高时,造成了水稻较低的结实率。

表3 淹水深度间结实率的多重比较

淹水深度间	平均值(%)
1/3h	87.5aA
2/3h	82.2bAB
3/3h	79.7bB

图3为水稻发育关键期与淹水深度间互作效应的结实率估算图,在拔节孕穗期,水稻经3 d淹水处理后,淹水深度从1/3h至3/3h的结实率显著下降;抽穗开花期水稻各淹水深度的结实率有起伏变化,但不显著;乳熟期水稻淹水深度从1/3h至3/3h的结实率极显著的下降。说明水稻在拔节孕穗期和乳熟期遭遇3 d的淹水处理后,结实率随着淹水深度的增加呈显著或极显著下降。

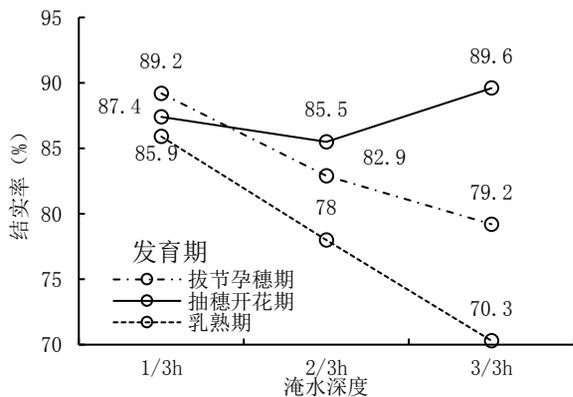


图3 发育关键期与淹水深度间互作效应结实率估算图

2.3 淹水胁迫对水稻理论产量的影响

2.3.1 理论产量的四因素方差分析

方差分析表明,水稻经淹水处理后,理论产量在品种间、淹水深度间差异显著或极显著,发育期与淹水历时、淹水深度和淹水历时时间互作效应极显著,需进一步进行简单效应和直观图的综合分析。

2.3.2 理论产量四因素方差分析的主效应和互作效应分析

经淹水处理后,龙稻18的理论产量为541 kg/667 m²,龙粳31的理论产量为627 kg/667 m²,二者差异显著。由表4可知,淹水深度3/3h的产量最低,与1/3h、2/3h差异极显著。说明随着淹水深度的增加,产量明显下降,当淹水深度达到全株高时,造成了水稻较低的产量。

表4 淹水深度间理论产量的多重比较

淹水深度	平均值(kg/667 m ²)
1/3h	676aA
2/3h	598aA
3/3h	477bB

图4a为关键发育期与淹水历时时间交互效应的理论产量估算图,与拔节孕穗期水稻比较,于抽穗开花期经3 d淹水处理后的水稻产量估算值与7 d淹水处理差异显著,即处于抽穗开花期的水稻随着淹水时间的延长,产量明显下降。

图4b为淹水深度与淹水时间长度间交互作用理论产量估算图,在3 d的淹水时间长度下,淹水深度从1/3h、2/3h至3/3h的水稻理论产量略有下降,在7 d的淹水历时下,淹水深度从1/3h至3/3h的理论产量极显著下降,说明水稻随着淹水深度的增加,淹水胁迫时间越长,水稻产量越低。

2.3.3 理论产量的三因素方差分析

方差分析表明,水稻经淹水处理后,理论产量在品种间、发育期间与淹水深度间差异显著,需进一步进行简单效应和直观图的综合分析。

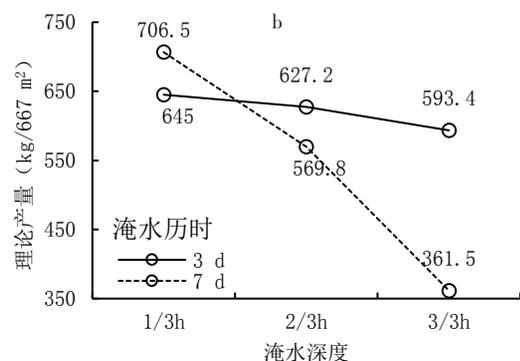
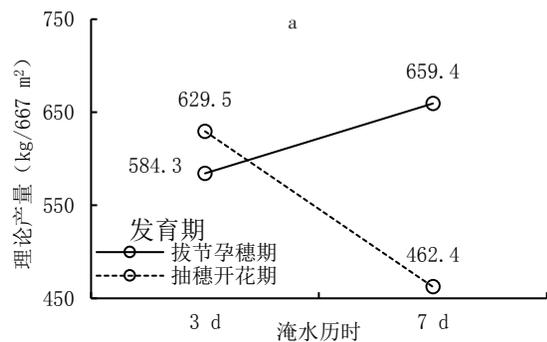


图4 因子间有交互效应的理论产量估算图

2.3.4 理论产量三因素方差分析的主效应和互作效应分析

水稻经3 d的淹水处理后,龙稻18的理论产量为557 kg/667 m²,龙粳31的理论产量为638 kg/667 m²,二者差异显著。

图5为发育期与淹水深度间交互作用的理论产量估算图,与抽穗开花期不同,在拔节孕穗期、乳熟期,淹水深度从1/3h至3/3h的理论产量显著下降。

综合2.2.2、2.2.4、2.3.2和2.3.4交互作用分析,说明因子间的交互效应达显著水平时,自变量主效应有可能被掩盖,要继续进行简单效应检验^[10],从而做出正确的结论。

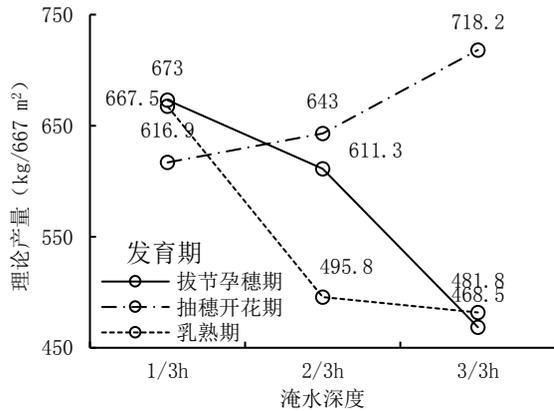


图5 发育期与淹水深度间交互效应的理论产量估算图

3 结论与讨论

龙粳31在拔节孕穗期、抽穗开花期和乳熟期经不同的淹水深度和淹水历时处理下的理论产量和结实率与对照比较均有不同程度的下降,并随着淹水深度的增加和淹水历时的延长而明显下降。拔节孕穗期经淹水胁迫,淹水深度间或淹水历时的产量差异变化更明显。

龙粳31和龙稻18在淹水胁迫下的结实率和理论产量差异比较明显,这可能与品种自身产量能力的差异有关;淹水深度3/3h与淹水深度2/3h、1/3h的结实率和理论产量差异极显著,结实率和理论产量在淹水历时3d和7d差异极显著,即寒地水稻在全淹没或历经长时间的淹水胁迫下,产量显著下降。

品种与发育期间互作效应显著,在抽穗开花期遭遇淹水,龙稻18的产量损失程度远大于龙粳31。发育期与淹水历时互作效应显著,与拔节孕穗期比较,在抽穗开花期淹水胁迫下,长时间的淹水胁迫会造成更低的结实率和产量,与陈祖玉等^[11]研究结论较一致;淹水历时与淹水深度间互作效应显著,即水稻在较深的淹水状态下,长时间的淹水胁迫会造成更低的结实率和产量;发育

期与淹水深度间互作效应显著,与抽穗开花期比较,在拔节孕穗期和乳熟期淹水胁迫下,较深的淹水胁迫会造成更低的结实率和产量。

寒地水稻在拔节孕穗期、抽穗开花期和乳熟期淹水深度达到植株高度的1/3,淹水历时超过3d就会造成结实率和理论产量的下降;在拔节孕穗期和抽穗开花期,淹水深度达植株高度2/3或以上,淹水历时超过3d,会引起水稻结实率和产量的明显下降,而乳熟期淹水深度达植株高度1/3至2/3间或以上,淹水历时超过3d,就会引起水稻结实率和产量的显著下降。根据田间观测记录,龙粳31和龙稻18拔节孕穗期淹水处理前一日测定的株高为70~80cm,平均约75cm,因此田间积水深度达25cm,淹水时间超过3d,会造成结实率和产量的下降,而淹水深度为25~50cm或以上,淹水历时超过3d,会造成水稻结实率和产量的明显下降。

参考文献:

- [1] 袁美英,李泽椿,张小玲.东北地区一次短时大暴雨 β 中尺度对流系统分析[J].气象学报,2010,68(1):125-136.
- [2] 吴迪,刘文明,舒坤良.吉林省自然灾害对种植业及农民收入的影响研究[J].东北农业科学,2016,41(3):104-108.
- [3] Bruno Merz, Florian Elmer, Michael Kunz, et al. The extreme flood in June 2013 in Germany[J]. La Houille Blanche, 2014(1): 5-10.
- [4] 刘会玉,林振山,张明阳.建国以来中国洪涝灾害成灾面积变化的小波分析[J].地理科学,2005,25(1):43-48.
- [5] B A A Mustafi, M A Samad Azad. The 1998 Flood: Losses and Damages of Agricultural Production in Bangladesh[J]. Journal of Biological Sciences, 2003(3): 147-156.
- [6] 莫建飞,钟仕全,李莉,等.基于DEM的洪涝灾害监测模型与应用(英文)[J]. Meteorological and Environmental Research, 2010, 1(1): 88-92.
- [7] 邱海军,曹明明,胡胜,等.近60a来中国洪涝灾情变化趋势持续性和周期性研究[J].地球与环境,2014,42(1):17-24.
- [8] 李兰,周月华,叶丽梅,等.基于GIS淹没模型的流域暴雨洪涝风险区划方法[J].气象,2013,39(1):112-117.
- [9] 刘彤,闫天池.我国的主要气象灾害及其经济损失[J].自然灾害学报,2011,20(2):90-95.
- [10] Frederick J Gravetter, Lori-Ann B Forzanno 著.邓铸,等译.行为科学研究方法[M].西安:陕西师范大学出版社,2005: 205-210.
- [11] 陈祖玉,彭其安.不同淹水时期对水稻形态特性与产量的影响[J].安徽农学通报(上半月刊),2010,16(21):62-63.

(责任编辑:刘洪霞)