

不同淹水处理对寒地水稻生长规律及产量影响的研究

于艳梅¹, 李芳花¹, 姜丽霞², 孟岩¹

(1. 黑龙江省水利科学研究院, 黑龙江 哈尔滨 150080; 2. 黑龙江省气象科学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 为明确不同淹水处理对寒地水稻生长规律及产量的影响,通过水稻淹水试验模拟洪涝胁迫状态,分析不同淹水深度和淹水历时条件下拔节孕穗期水稻的分蘖、株高及产量的变化规律。结果表明:当淹水深度为1/3 h时,茎蘖消亡幅度小于对照处理,淹水历时7 d比淹水历时3 d的茎蘖消亡幅度小。淹水深度为2/3 h和3/3 h时,随着淹水历时的延长,茎蘖消亡幅度逐渐增大。淹水深度逐渐增加,水稻株高增长幅度越大,淹水历时越长,水稻株高增幅越明显,株高最大增加15.4 cm,比对照处理增高5.8 cm。长时间没顶淹涝(3/3 h~7 d处理)对水稻产量危害最大,产量降低46.63%。研究结果可为建立寒地水稻洪涝致灾的阈值指标和洪涝灾害影响评估提供数据支撑。

关键词: 淹水; 水稻株高; 生长规律; 产量; 寒地水稻

中图分类号:S511; S422

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2018)03-0249-05

Effects of different flooding treatments on growth law and yield of rice in cold region

YU Yanmei¹, LI Fanghua¹, JIANG Lixia², MENG Yan¹

(1. Heilongjiang Provincial Hydraulic Institute, Harbin 150080, China;

2. Heilongjiang Institute of Meteorological Science, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to clarify the effect of different flooding treatments on rice growth law and yield in cold region, simulation of flooding stress status was conducted through rice flooding test, and the law of tillering, plant height and yield of rice under different flooding depths and flooding durations was analyzed. The results show that when the flooding depth is 1/3 h, stem tiller extinction amplitude is less than the control treatment, and the stem tiller extinction amplitude of the flooding duration of 7 d is less than that of flooding duration of 3d. When the flooding depth is 2/3 h and 3/3 h, with the extension of flooding duration, the extent of stem tiller extinction amplitude gradually increased. When the depth of flooding gradually increased, the greater the height of rice plant growth was, the longer the flooding lasted, the more obvious the increase of plant height was. The plant height increased by a maximum of 15.4 cm, 5.8 cm higher than the control treatment. Long-time total flooding(3/3 h-7 d treatment) had the most harmful effect on the yield of rice, and the yield was reduced by 46.63%. The results may provide a data basis for establishing the threshold index of flooding disaster and assessing the impact of floods.

Key words: flooding; rice plant height; growth law; yield; rice in cold region

1 研究背景

黑龙江省地处中高纬寒地地区,受西风带环流系统和副热带环流系统交替影响,降水存在复杂的时空分布特征和季节、年际变化明显,夏季多雨,大

雨、暴雨较为集中^[1]。黑龙江省境内水系交错,河流纵横,有黑龙江、松花江(含嫩江)、乌苏里江、绥芬河四大水系^[2]。黑龙江省各大流域分布着极其丰富的稻田,2017年全省水田面积达到 $410.47 \times 10^4 \text{ hm}^2$,主要集中在三江和松嫩两大平原。自然和

收稿日期:2018-01-17; 修回日期:2018-02-01

基金项目:国家自然科学基金项目(31671575); 黑龙江省2017财政厅专项项目(ZN201802); 寒地高纬度区水稻综合节水技术试验研究; 寒地高纬度区水稻用水管理标准研究与制定。

作者简介:于艳梅(1988-),女,内蒙古通辽人,硕士,工程师,研究方向为节水灌溉理论与技术研究。

通讯作者:姜丽霞(1972-),女,吉林德惠人,硕士,高级工程师,研究方向为农业气象科研、业务服务及气候变化研究。

地理条件相辅相承,导致黑龙江省相对易发洪涝灾害和严重内涝,仅2013年特大洪水就造成了农作物受灾面积 $265.4 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 、成灾面积 $185 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 、绝收面积 $81.5 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[3-4]。洪涝灾害常常造成大幅度减产,水稻产量因洪涝平均受损10%以上^[1],对粮食生产构成严重威胁。

对于作物洪涝的影响开展了较多工作,王矿等^[5-7]采用测桶移位受淹试验,研究了淹水条件下水稻生理性状与产量要素响应特征。梅少华等^[8]采用系统调查分析法,对超级稻和常规稻的洪涝灾害进行影响分析,分别讨论了根系、苗期、株高、生育进程、产量构成因素对涝害的反应。谢彦等^[9]通过对峡江县赣江流域调查得出结论:洪涝导致的幼穗坏死、花粉破坏是早稻减产的主要原因,对中稻主要影响是分蘖推迟,生育期延长。徐鹏等^[10]的研究结果表明处于分蘖期、拔节期、抽穗期水稻的叶面积指数会随淹水深度增加而降低。宁金花等^[11-14]在湖南省长沙农业气象试验站,开展了以杂交稻为试材淹水前后水稻绿叶数、气生根、倒伏状况、产量构成等因素一系列研究。诸多研究基本明确了南方水稻受洪涝灾害影响后的生育性状、产量状况,但在洪涝致灾机制、致灾的临界阈值、不同程度的灾损量化指标以及综合评估技术等问题上仍较模糊,而对于寒地水稻的相关研究基本未见。本文通过试验观测,研究不同淹水深度、不同淹水历时、同一淹水深度不同淹水历时以及不同淹水深度同一淹水历时对寒地水稻生长发育及产量的影响,为建立寒地水稻洪涝致灾的阈值指标提供数据支撑,进而为洪涝灾害影响评估提供基本依据。

2 材料与方法

2.1 试验区概况

水稻淹水试验于2017年5-10月在庆安国家灌溉试验重点站进行,试验站地处 $127^{\circ}30'04''\text{E}$, $46^{\circ}52'41''\text{N}$,临界于第二积温带和第三积温带之间。庆安国家灌溉试验重点站多年平均气温为 1.69°C ,气候变化幅度大,年极端最高气温出现在7月份,达 36.7°C ,极端最低气温出现在1月份,达 -44.9°C 。多年平均大于等于 10°C 的积温为 $2500 \sim 2700^{\circ}\text{C}$ 。无霜期为128d左右,受大陆性季风的影响,春季西南风居多,夏季南风较多,秋季西风为最多,冬季西北风偏多。春季风为最大,占全年风日的70%,平均风速 4.6 m/s 。最大冻土深度 2.06 m ,多年平均降水量为 578.5 mm ,多年平均蒸发量为 764.5 mm 。

土壤基本理化性质为:有机质含量 4.14 g/kg ,pH值 6.40 ,全氮 15.06 g/kg ,全磷 15.23 g/kg ,全钾 20.11 g/kg ,碱解氮 154.36 mg/kg ,有效磷 25.33 mg/kg 和速效钾 157.25 mg/kg 。

2.2 试验设计

供试品种为龙稻18(黑审稻2014005),在适应区出苗至成熟生育日数140d左右,需大于等于到 10°C 活动积温 2600°C ,该品种主茎13片叶,长粒型,株高98cm左右,穗长22cm左右,每穗粒数约140粒,千粒重约27g。

在水稻拔节孕穗期初期(移栽后第57d,7月14日),采用淹水深度和淹水历时来模拟洪涝胁迫强度,试验采用随机设计,以不淹水(CK)为对照处理,每个处理设3次重复,试验处理情况见表1。其中,淹水深度设3个水平,分别为株高的 $1/3$ ($1/3h$,水深20cm)、 $2/3$ ($2/3h$,水深40cm)、 $3/3$ ($3/3h$,水深60cm,全淹没)。淹水历时设2个水平,分别为3d和7d。试验小区除淹水处理以外,其余均以大田种植方式管理。在小区四周开挖1m深沟槽铺设土工膜以防止侧渗,地上部分预留1m土工膜,进行淹水试验时,在小区上安装加高挡水框架,将铺设好的土工膜固定到框架顶端,以满足淹水功能,示意图如图1所示。

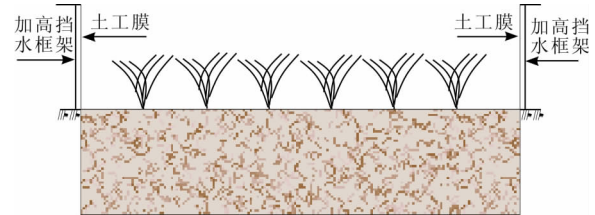


图1 淹水装置剖面图

3 结果分析

3.1 不同淹水处理条件下水稻分蘖的变化规律

图2和图3分别为淹水历时3d和7d不同淹水深度水稻全生育期茎蘖动态变化及日增长量变化。不同淹水历时、淹水深度处理的水稻分蘖数量的变化规律基本一致,均表现出随生育期延续先迅速增大后逐渐减小的变化规律。水稻在移栽后第47~52d(7月4日-7月9日,分蘖末期)各处理分蘖数达到最大值。水稻在移栽后第57d(7月14日,拔节孕穗期初期)进行淹水处理后,当淹水历时为3d时(图2所示),淹水深度为 $1/3h$ 、 $2/3h$ 和 $3/3h$ 处理的水稻分蘖数分别降低22.94%、28.57%和30.60%。当淹水历时为7d时(图3所

示),淹水深度为 1/3 h、2/3 h 和 3/3 h 处理的水稻分蘖数分别降低 15.04%、35.66% 和 48.13%,对照处理的水稻分蘖数降低 24.80%。以上数据分析表明,随着淹水深度的增加,茎蘖消亡的幅度增大。其中,淹水深度为 1/3 h 时,淹水历时 3 d 和 7 d 处理的水稻茎蘖消亡幅度均小于对照处理,而且淹水历时 7 d 的处理比淹水历时 3 d 的茎蘖消亡幅度小,说明淹水深度为 1/3 h 能够降低茎蘖消亡。这可能是由于拔节期正处于小穗原始分化阶段,对照植株已形成幼穗,而淹水抑制小穗分化,幼穗虽仍可伸长,但却使幼穗发育失去平衡,最后不能抽穗,出现了高节位的分支现象^[15],陆魁东等^[16]研究也表明拔节期淹涝胁迫的高位分蘖率最高。淹水深度为 2/3 h 和 3/3 h 时,随着淹水历时的延长,茎蘖消亡的幅度

也逐渐增大,淹水深度为全淹没、淹水历时 7 d 的茎蘖消亡幅度最大。

表 1 淹水试验处理

序号	试验处理	试验因素水平	
		淹水深度/cm	淹水历时/d
1	1/3 h、3 d	20	
2	2/3 h、3 d	40	3
3	3/3 h、3 d	60	
4	1/3 h、7 d	20	
5	2/3 h、7 d	40	7
6	3/3 h、7 d	60	
7	CK	不淹水	

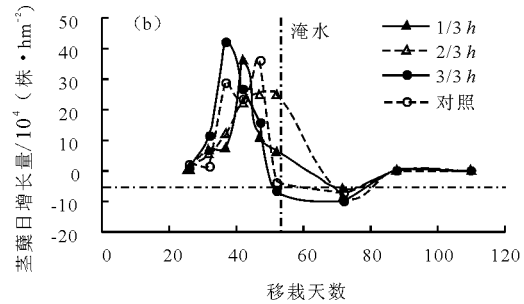
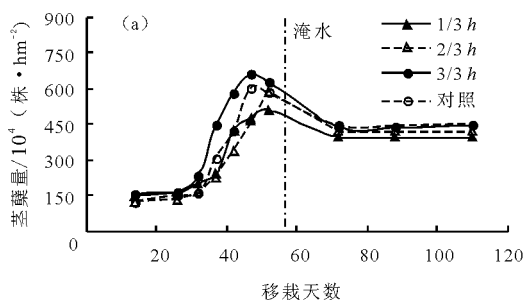


图 2 水稻茎蘖动态变化及日增长量变化(淹水历时:3 d)

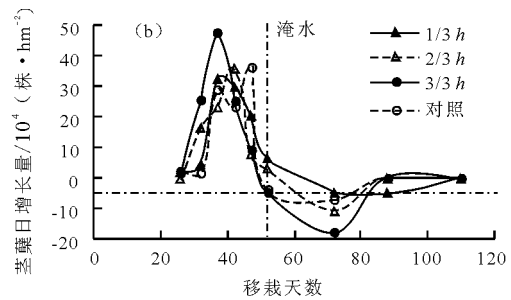
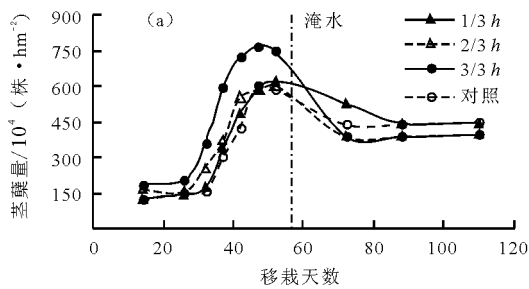


图 3 水稻茎蘖动态变化及日增长量变化(淹水历时:7 d)

3.2 不同淹水处理条件下水稻株高的变化规律

淹水历时 3 d 和 7 d 处理的水稻株高动态变化趋势基本相同,均体现出水稻对淹水逆境有较强的适应能力。淹水排水后(移栽后第 65 d,7 月 22 日),淹水历时 3 d(图 4 所示),淹水深度为 1/3 h、2/3 h 和 3/3 h 处理的水稻株高分别增加 4.87%、9.35% 和 15.40%,淹水历时 7 d(图 5 所示),淹水深度为 1/3 h、2/3 h 和 3/3 h 处理的水稻株高分别增加 12.10%、13.90% 和 18.51%,随着淹水深度增加,水稻株高增长幅度越大,淹水历时越长,水稻株高增幅越明显。其中,淹水历时 3 d,淹水深度为 1/3 和 2/3 h 处理的株高增加幅度均小于对照组,而其

他处理水稻株高平均增加 13 cm。水稻在长时间没顶淹没情况下,叶鞘、叶片在水中仍可生长,以伸出水面维持呼吸作用,株高最大增加 15.4 cm(3/3 h、7 d 处理),比对照处理增高 5.8 cm,这是由于淹水营造的缺氧诱导环境,使得植株体内乙烯含量和赤霉素浓度的增加刺激了细胞的分裂和伸长^[5-7]。随淹水胁迫效应的解除,水稻出水后植株叶片因重力作用渐渐下垂,水稻自然株高最终接近对照处理。

3.3 不同淹水处理条件下水稻产量的变化规律

水稻产量是由多方面因素综合作用的结果,且水稻具有一定的生物学耐涝性,可以通过自身的适应和调整,克服短期淹涝对其生物结构和功能、产量

性状所构成的胁迫^[17-19]。如表2所示,相对于对照处理,1/3 h (3 d)、2/3 h (3 d)、3/3 h (3 d)、1/3 h (7 d)、2/3 h (7 d)和3/3 h (7 d)处理的水稻产量分别降低12.00%、6.62%、41.03%、15.75%、9.26%和46.63%。淹水深度是造成水稻在淹涝胁迫下产量降低的重要影响因素之一,随着淹涝强度增大,其对水稻的危害也不断加剧,无论是淹水历时3 d还是7 d处理,随着淹水深度增加,穗结实粒数不断减少,结实率也逐渐降低。不同淹水深度对水稻产量的影响存在明显差异,其中全淹没(3/3 h)对水稻

产量危害最大,浅水淹涝危害则相对较小,这是因为全淹没使水稻植株严重缺氧,其生理代谢受到严重阻碍,而浅水淹涝条件下水稻仍有部分叶片露出水面,根部可以通过其发达的通气系统获得部分氧气,露出水面的叶片可以正常进行光合作用,其积累的光合产物可以用作抵御短期淹涝的消耗^[19-20]。水稻在淹涝胁迫下的产量损失还受淹水历时的影响,同一淹水深度,淹水历时7 d比3 d的水稻产量分别降低4.27%、2.83%和9.49%,由以上数据分析可知,淹水历时时间越长,其减产幅度越大。

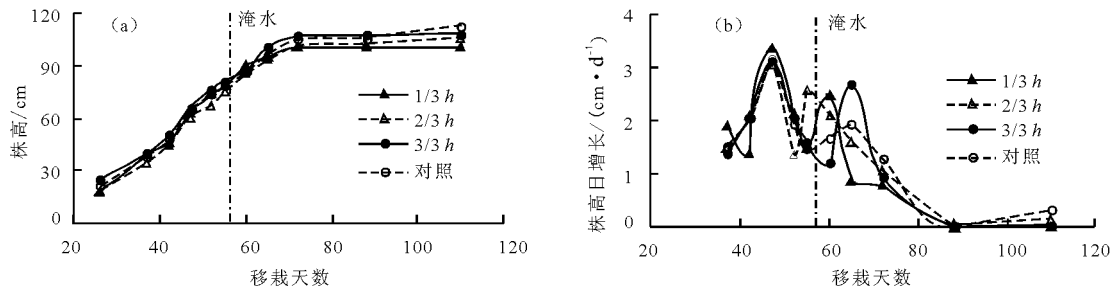


图4 水稻株高及日增长量变化(淹水历时:3 d)

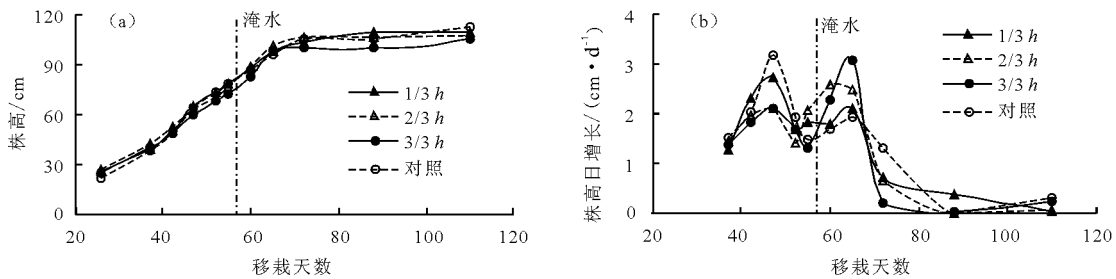


图5 水稻株高及日增长量变化(淹水历时:7 d)

表2 不同淹水处理的水稻产量

处理	穗结实粒数	结实率/%	千粒重/g	产量/(kg·hm ⁻²)
1/3 h、3 d	93	86	22.93	7731.33
2/3 h、3 d	79	82	26.19	8203.75
3/3 h、3 d	60	67	23.15	5180.96
1/3 h、7 d	73	91	23.52	7401.35
2/3 h、7 d	72	91	25.62	7971.51
3/3 h、7 d	70	65	22.62	4689.06
CK(对照)	96	76	24.99	8785.16

4 结论与讨论

(1)关于淹涝胁迫对水稻分蘖的影响研究多集中在分蘖期^[6,19],而本研究发现拔节期淹水对水稻分蘖具有显著的影响,当淹水深度为1/3 h时,茎蘖

消亡幅度小于对照处理,淹水历时7 d比淹水历时3 d的茎蘖消亡幅度小。淹水深度为2/3 h和3/3 h时,随着淹水历时的延长,茎蘖消亡幅度逐渐增大。

(2)水稻在受到淹涝胁迫时会出现节间伸长,株高增高的现象^[21-22]。本研究结果表明,淹水深度逐渐增加,水稻株高增长幅度越大,淹水历时越长,水稻株高增幅越明显,株高最大增加15.4 cm,比对照处理增高5.8 cm。这与王矿等^[5,7]采用测桶移位受淹试验结果类似,没顶淹水6 d高于对照组10 cm左右。

(3)水稻在淹涝胁迫下产量降低,随着淹涝强度增大,其对水稻的危害也不断加剧。长时间没顶淹涝(3/3 h、7 d处理)对水稻产量危害最大,产量降低46.63%。有研究报道表明生殖生长阶段水稻受涝对产量的危害高于营养生长阶段^[19],但这些差异可能与不同学者采用的研究材料、试验方法和淹涝胁迫处理等条件不一致有关,但不同生育期之间

淹涝胁迫对产量的影响,需要开展进一步的研究。

参考文献:

- [1] 姜丽霞,陈可心,刘丹,等. 2013年黑龙江省主汛期降水异常特征及其对作物产量影响的分析[J]. 气象,2015(1):105-112.
- [2] 侯百君. 基于黑龙江省洪水风险管理的思考[J]. 黑龙江水利科技,2016,44(4):5-7.
- [3] 姚俊英,朱红蕊,南极月,等. 基于灰色理论的黑龙江省暴雨洪涝特征分析及灾变预测[J]. 灾害学,2012,27(1):59-63.
- [4] 王伶俐,陈德清. 2013年黑龙江大洪水遥感监测分析[J]. 水文,2014,34(5):31-35+93.
- [5] 王矿,王友贞,汤广民. 水稻拔节孕穗期淹水对产量要素的影响[J]. 灌溉排水学报,2015,34(9):40-43.
- [6] 王矿,王友贞,汤广民. 分蘖期水稻对淹水胁迫的响应规律研究[J]. 灌溉排水学报,2014,33(6):58-60+91.
- [7] 王矿,王友贞,汤广民. 水稻在拔节孕穗期对淹水胁迫的响应规律[J]. 中国农村水利水电,2016(9):81-87.
- [8] 梅少华,梅金先,陈兴国,等. 洪涝灾害对水稻生产的影响评估及抗灾对策研究[J]. 作物杂志,2011(2):89-93.
- [9] 谢彦,张茂文,刘许生,等. 洪涝对早、中稻生产的影响调查与研究结果简报[J]. 中国农学通报,2011,27(9):281-286.
- [10] 徐鹏,顾晓鹤,孟鲁闽,等. 洪涝胁迫的水稻叶面积指数变化及其光谱响应研究[J]. 光谱学与光谱分析,2013,33(12):3298-3302.
- [11] 宁金花,陆魁东,霍治国,等. 拔节期淹涝胁迫对水稻形态和产量构成因素的影响[J]. 生态学杂志,2014,33(7):1818-1825.
- [12] 宁金花,霍治国,陆魁东,等. 不同生育期淹涝胁迫对杂交稻形态特征和产量的影响[J]. 中国农业气象,2013,34(6):678-684.
- [13] 宁金花,张艳贵,解娜,等. 早籼品种湘早籼45号孕穗期淹涝胁迫试验[J]. 江苏农业科学,2016,44(5):106-111.
- [14] 宁金花,霍治国,黄晚华,等. 抽穗扬花期淹涝胁迫对杂交稻的影响[J]. 中国农学通报,2014,30(9):71-76.
- [15] 王洪春,罗宗雅. 水稻不同生长发育时期的淹水试验[J]. 植物生理学通讯,1956(5):35-40.
- [16] 陆魁东,宁金花,解娜,等. 淹涝胁迫对水稻形态的影响[J]. 湖南农业大学学报,2015,41(1):18-23.
- [17] XUAN Shouli, SHI Chunlin, ZHANG Jianhua, et al. . Effects of submergence stress on aboveground matter distribution and yield components of rice at tillering stage [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2013, 29(6):1199-1204.
- [18] ZHANG Yajie, WANG Zhensheng, LI Lei, et al. Short-term complete submergence of rice at the tillering stage increases yield[J]. Plos One, 2015, 10(5):e0127982.
- [19] 赵启辉. 分蘖期淹涝胁迫对水稻农艺和品质性状及生理特性的影响[D]. 南昌:江西农业大学,2013.
- [20] 张建华. 水稻生长过程对涝害的响应与恢复模型研究[D]. 福州:福建农林大学,2013.
- [21] DUBOIS V, MORITZ T, GARCÍAMARTÍNEZ J L. Examination of two lowland rice cultivars reveals that gibberellin-dependent early response to submergence is not necessarily mediated by ethylene. [J]. Plant Signal Behav, 2011, 6(1):134-136.
- [22] ANANDAN A, PRADHAN S K, DAS, S K, et al. Differential responses of rice genotypes and physiological mechanism under prolonged deepwater flooding[J]. Field Crops Research, 2015, 172:153-163.