

# 淹涝胁迫对拔节期水稻生长影响的研究

于艳梅<sup>1</sup>, 李芳花<sup>1</sup>, 连萍<sup>2</sup>, 姜丽霞<sup>3</sup>, 孟岩<sup>1</sup>

(1. 黑龙江省水利科学研究院, 黑龙江 哈尔滨 150080; 2. 黑龙江省气象数据中心, 黑龙江 哈尔滨 150030; 3. 黑龙江省气象科学研究所, 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘要:** 为明确淹涝胁迫对拔节期水稻生长影响,通过水稻淹水试验模拟洪涝胁迫状态,以淹水深度和淹水历时设计不同胁迫程度,分析拔节期不同淹涝胁迫强度下排水后第1、第3和第7 d以及水稻全生育期的叶面积、净光合速率和干物质变化规律。结果表明:水稻植株淹水处理随着排水后时间的延续,水稻 LAI 逐渐降低,  $P_n$  先升高然后逐渐降低,而干物质累积量呈现先减小后增大的趋势。各淹水处理的  $P_n$  均低于 CK 处理,且水稻 LAI 呈现  $3/3 h < 2/3 h < 1/3 h$  处理,没顶淹没( $3/3 h$ )水稻 LAI 仅为 CK 处理的 69.53% ~ 70.29%,全淹没处理( $3/3 h - 3 d$  和  $3/3 h - 7 d$ )在生育末期出现  $P_n$  大于  $1/3 h$  和  $2/3 h$  处理、干物质质量基本不变的现象。研究结果可为水稻安全生产提供基础依据。

**关键词:** 水稻; 淹涝胁迫; 叶面积指数; 净光合速率; 干物质

中图分类号: S511; S422

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2018)06-0240-05

## Effects of submergence stress on rice growth in jointing stage

YU Yanmei<sup>1</sup>, LI Fanghua<sup>1</sup>, LIAN Ping<sup>2</sup>, JIANG Lixia<sup>3</sup>, MENG Yan<sup>1</sup>

(1. Heilongjiang Province Hydraulic Research Institute, Harbin 150080, China; 2. Heilongjiang Meteorological Data Center, Harbin 150030, China; 3. Heilongjiang Institute of Meteorological Science, Harbin 150030, China)

**Abstract:** In order to clarify the effects of submergence stress on rice growth during jointing stage, flood stress status was simulated through rice flooding test by designing different stress levels with flood depth and flood duration and analysis of leaf area, net photosynthetic rate and dry matter change at 1st, 3rd and 7th day after drainage and the whole growth period of rice. The results showed that the flood treatment of rice plant continued after drainage, and rice leaf area index (LAI) gradually decreased, and  $P_n$  rises first and then gradually decreases. Meanwhile, the dry matter accumulation shows a trend of decrease first and then increase. Both LAI and  $P_n$  of the flooded rice were lower than the CK treatment, and the rice LAI showed  $3/3 h < 2/3 h < 1/3 h$ , long time total submerged treatment of rice LAI was only 69.53% ~ 70.29% of CK treatment. The total flooding treatment occurred at the end of the reproductive period with  $P_n$  was greater than  $1/3 h$  and  $2/3 h$ , and the quality of dry matter was basically unchanged. Our results can provide the basis for the safe production of rice.

**Key words:** rice; submergence stress; leaf area index; net photosynthetic rate; dry matter

## 1 研究背景

水稻是我国最主要的粮食作物之一,它是一种沼泽作物,具有较好的水生习性,一般在水稻生长期降雨比较集中,容易遭受洪涝胁迫,而洪水长时间淹没,会造成大面积减产甚至绝收<sup>[1-3]</sup>。洪涝灾害是严重制约水稻安全生产和稳定发展的重要因素,因

此,研究淹涝胁迫对水稻生长的影响具有极其重要的意义。

由于全球气候异常,导致部分地区暴雨、洪涝等灾害频繁发生,淹涝胁迫已成为影响水稻生产的主要逆境之一<sup>[4]</sup>。大量研究表明,淹涝胁迫对水稻的生理性状、长势和产量等影响严重<sup>[5]</sup>。Kawano 等<sup>[6]</sup>指出深水稻水淹胁迫可以诱导植物叶柄和茎

收稿日期:2018-05-25; 修回日期:2018-09-27

基金项目:国家自然科学基金项目(31671575); 黑龙江省财政厅专项项目(ZN201802)

作者简介:于艳梅(1988-),女,内蒙古通辽人,硕士,工程师,研究方向:灌溉排水理论与节水灌溉新技术。

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:农业气象科研、业务服务及气候变化研究。

的伸长生长。Kar等<sup>[7]</sup>研究表明有效分蘖数随淹水深度的增加而减少,最大降幅达48%。宁金花等<sup>[8-12]</sup>认为淹水处理后出现了明显的高位分蘖和气生根现象,并导致生育期延长。徐鹏等<sup>[1]</sup>研究表明水稻LAI随淹水深度的增加而降低。陆魁东等<sup>[13]</sup>分析认为随着淹涝时间延长,水稻植株绿叶减少越明显,除乳熟期外的其他生育期均存在高位分蘖、茎倒伏与根倒伏现象。Carvalho等<sup>[14]</sup>认为淹涝胁迫会造成低光环境、减小气孔开度、降低净光合速率、气体扩散受限等,进而对作物形态特征及生长发育产生一系列的影响,甚至导致死亡。王矿等<sup>[15-17]</sup>研究指出拔节孕穗期淹水导致水稻结实率降低、穗长变短、粒粒数和植株干物质增加。以往的研究多关注于淹涝胁迫对水稻株高、分蘖、产量等方面的影响,但对于水稻的叶面积、净光合速率、干物质的影响研究较少。

通过水稻淹水试验模拟洪涝胁迫状态,分析拔节期不同淹涝胁迫强度下排水后第1、第3和第7d以及水稻全生育期的叶面积、净光合速率和干物质变化规律,研究水稻对淹涝环境的敏感性以及适应机制,旨在明确我国寒地水稻对适应不同淹涝胁迫环境的变化规律,为制定洪涝灾害对水稻致灾的评价标准和防灾、减灾措施提供科学依据,指导水稻安全生产。

## 2 材料与方法

### 2.1 试验区概况

试验在庆安灌溉试验站(127°30'04"E, 46°52'41"N)进行,试验区位于黑龙江省绥化市庆安县和平镇。该地区气候特征为寒温带大陆性季风气候,春季干旱少雨,风力较大,气温偏低,夏季7-8月降雨量较大且集中。多年平均气温为2.5℃,平均降水量550mm,平均水面蒸发量750mm,平均风速4.6m/s,全年无霜期为128d,积温属黑龙江省第二积温带、第三积温带之间,大于等于10℃的积温为2400~2600℃。供试土壤为黑土,其基本理化性质如下:有机质为4.14g/kg, TN为15.06g/kg, TP为15.23g/kg, pH值为6.40。

### 2.2 试验设计

供试水稻品种为龙稻18(黑审稻2014005),5月20日移栽至小区内,小区内移栽秧苗49穴,株行距30cm×13.3cm。各小区面积为2m<sup>2</sup>(2m×1m),为减少侧向渗透,在小区四周用土工膜作为防渗材料,埋入地表以下1m深,进行淹水处理时为满

足淹水功能,在小区周围安装加高挡水装置,同时将地上预留的土工膜固定到挡水装置上,示意图如图1所示。试验小区除淹水处理以外,其余均以当地大田常规种植方式管理,淹水前后稻田按常规灌溉制度(拔节期灌水上限5cm、下限3cm)进行各小区水分管理。在2017年7月14日(拔节期,移栽后第57d)进行淹水试验,试验采用随机设计,淹水深度设分别为占株高1/3(1/3h,水深20cm)、2/3(2/3h,水深40cm)和3/3(3/3h,水深60cm)3个水平。淹水历时设3d和7d两个水平。以不淹水为对照(CK)处理,各处理设3次重复。

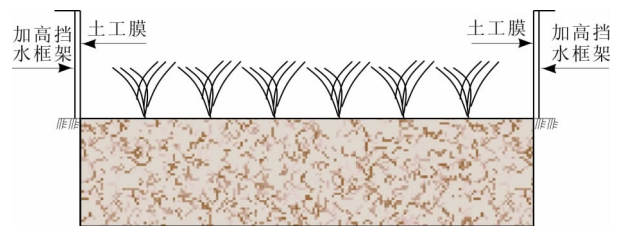


图1 淹水装置剖面图

### 2.3 观测项目

(1)叶面积(LAI)。每个生育期初期测定,淹水胁迫排水后在第1、第3d以及第7d加测。测定仪器采用CI206激光叶面积仪,带至田间进行不离体测量,可采集保存单个叶片面积、累积叶片面积、叶片长度、平均宽度和最大宽度等,完成观测后数据下载到计算机中。

(2)干物质。测定时间同上。在各处理小区取有代表性的植株,测定水稻地上部干物质质量。

(3)净光合速率( $P_n$ )。测定时间同上。在观测日上午10:00-12:00,采用仪器CI-340手持式光合作用测量系统进行测定。

## 3 结果分析

### 3.1 不同淹涝胁迫条件下水稻叶面积变化规律

水稻淹水处理后,观测排水后第1、第3、第7d的叶面积指数(LAI),如图2所示,淹水历时3d时,排水后第3与第1d相比,淹水深度为1/3h、2/3h、3/3h处理的水稻LAI分别降低2.50%、1.75%和10.54%,第7与第3d相比,各处理分别降低1.78%、1.83%和7.51%。淹水历时7d时,排水后第3与第1d相比,淹水深度为1/3h、2/3h、3/3h处理的水稻LAI分别降低3.42%、0.09%和4.72%,第7与第3d相比,各处理的水稻LAI分别降低3.49%、21.99%和24.92%。以上数据分析表明,淹水后水稻植株受到伤害,从而使叶片迅速枯萎,随着排水后时间的延续

水稻  $LAI$  逐渐降低。淹水历时 3 d 时,水稻  $LAI$  与淹水深度成正比,这说明在短历时淹涝胁迫情况下随着淹水深度的增加在一定程度促进了水稻  $LAI$  的增长,这可能是由于水稻在淹水时光照减弱造成叶片形态改变包括叶片的伸长、增宽,适度淹水促进叶片面积增大<sup>[8,16]</sup>。全淹没处理(3/3 h - 3 d、3/3 h - 7 d)对水稻  $LAI$  的影响显著,排水后  $LAI$  下降幅度均大于 1/3 h 和 2/3 h 处理。

如图 3(a) 和 3(b) 叶面积指数变化规律显示,水稻生育初期  $LAI$  较低,进入分蘖高峰期(移栽后第 35 d, 6 月 22 日),随茎蘖迅速增加叶面积快速增大,在抽穗开花期(移栽后第 71 d, 7 月 28 日)  $LAI$  达到最大值,此后逐渐下降。在拔节期(移栽后第 57 d, 7 月 14 日)对水稻进行淹水处理,水稻新叶形成和生长受阻,叶片的宽度、长度明显较小,叶片变

黄,出现萎蔫、翻卷、下垂、染病等症状,各淹水处理的水稻  $LAI$  均低于 CK 处理,且水稻  $LAI$  均呈现 3/3 h < 2/3 h < 1/3 h 处理。全淹没(3/3 h) 水稻  $LAI$  仅为 CK 处理的 69.53% ~ 70.29%,这与钱慕尧等<sup>[18]</sup>在苏北平原发现的受淹稻株(淹水深度 1 ~ 2 m)占正常稻株 67% ~ 74.2% 试验结果基本一致。

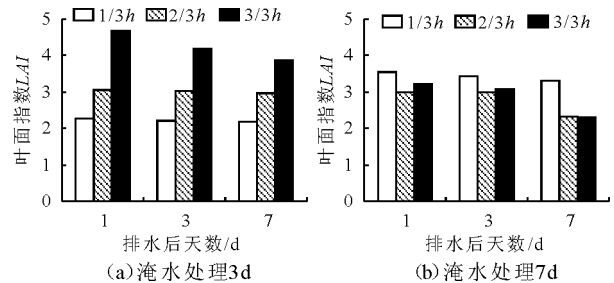


图 2 排水后水稻叶面积指数 ( $LAI$ ) 变化

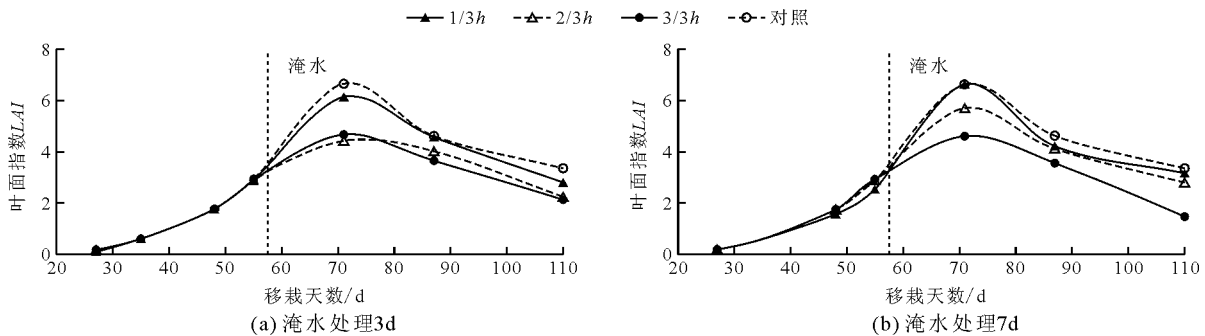


图 3 水稻全生育期叶面积指数变化

### 3.2 不同淹涝胁迫条件下水稻净光合速率的变化规律

如图 4 排水后水稻净光合速率变化规律所示,淹水历时 3 d 时,排水后第 3 与第 1 d 相比,淹水深度为 1/3 h、2/3 h、3/3 h 处理的水稻  $P_n$  分别提高 22.84%、13.16% 和 53.92%,第 7 与第 3 d 相比,各处理分别降低 9.55%、7.56% 和 54.78%。淹水历时 7 d 时,排水后第 3 与第 1 d 相比,淹水深度为 1/3 h、2/3 h、3/3 h 处理的水稻  $P_n$  分别提高 3.45%、3.94% 和 7.98%,第 7 与第 3 d 相比,各处理分别降低 11.11%、21.80% 和 82.61%。说明随着淹水深度增加水稻  $P_n$  先升高然后逐渐降低,但淹水历时 7 与 3 d 相比,淹水历时 7 d 排水后第 1 和第 3 d 的  $P_n$  明显高于淹水历时 3 d 处理,而在第 7 d 时,非全淹没处理(1/3 h 和 2/3 h) 的  $P_n$  基本达到一致水平,这是因为耐淹作物通过一定的形态和生理变化,使作物的光合作用保持在一定水平,诸如植株叶柄生长加快,促进植株叶片与周围空气接触,增强叶片气体交换和有氧呼吸,另外,有些耐淹作物也会通过降

低光补偿点以适应淹水条件下的低光强环境<sup>[5]</sup>。全淹没处理(3/3 h - 3 d、3/3 h - 7 d)  $P_n$  在淹涝胁迫排水后第 7 d 下降幅度显著,这表明淹涝胁迫对水稻  $P_n$  的影响具有一定的滞后性。

光合作用是作物光合物质生产和产量形成的重要生理代谢过程,对水分胁迫反应敏感<sup>[19]</sup>。水稻受淹涝胁迫后,各淹水处理的水稻叶片的净光合速率 ( $P_n$ ) 均低于 CK 处理,抽开期各淹水处理水稻  $P_n$  与 CK 处理相比下降幅度达 9.51% ~ 42.80%,乳熟期达 9.27% ~ 31.27%,黄熟期为 19.23% ~ 75.82%,淹涝胁迫导致光合速率下降,这可能是由于淹涝胁迫使细胞膜受到明显破坏,内含物质外流,内部代谢紊乱<sup>[20]</sup>。随着移栽天数的延长,水稻  $P_n$  下降幅度呈现先减小后增大的趋势,淹水历时 7 d 的各淹水处理在抽开期水稻  $P_n$  与 CK 处理间差异显著。由于雨水冲刷使叶片表面的泥土减少从而增加了光合面积,在乳熟期全淹没处理(3/3 h - 3 d、3/3 h - 7 d)  $P_n$  大于 1/3 h 和 2/3 h 处理,在黄熟期各淹水处理与对照无显著差异。

### 3.3 不同淹涝胁迫条件下水稻干物质的变化规律

图 6 为水稻淹水排水后第 1、3、7 d 水稻干物质变化规律。如图 6 所示,淹水历时 3 d 时,排水后第 3 与第 1 d 相比,淹水深度为 1/3 h、2/3 h、3/3 h 处理的水稻干物质累积量分别降低 17.95%、24.86% 和 3.87%,第 7 与第 3 d 相比,各处理分别增加 20.48%、32.71% 和 77.96%。淹水历时 7 d 时,排水后第 3 与第 1 d 相比,淹水深度为 1/3 h、2/3 h、3/3 h 处理的水稻干物质累积量分别降低 5.87%、18.15% 和 13.94%,第 7 与第 3 d 相比,各处理的分别增加 90.42%、58.47% 和 39.82%。这说明随着排水后天数的延长,各淹水处理均呈现出干物质累

积量先减小后增大的趋势,且各不同淹水深度处理随着淹水历时的延长干物质累积量逐渐增大,这是因为水稻株高增幅与淹水历时成正比,本试验研究中 3/3 h - 7 d 处理株高最大增加 15.4 cm<sup>[21]</sup>。

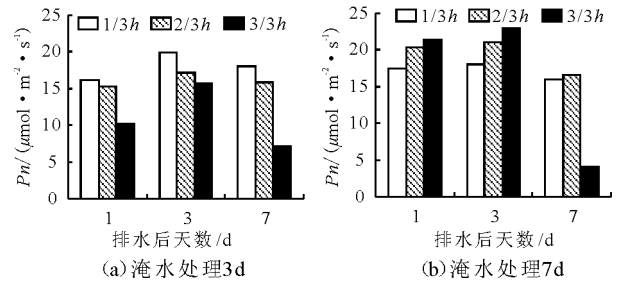


图 4 排水后水稻净光合速率 (Pn) 变化

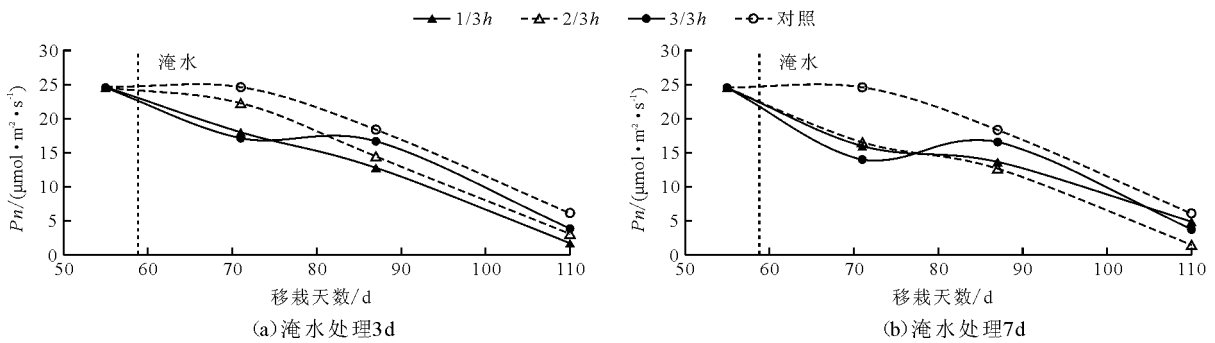


图 5 水稻全生育期净光合速率 (Pn) 变化

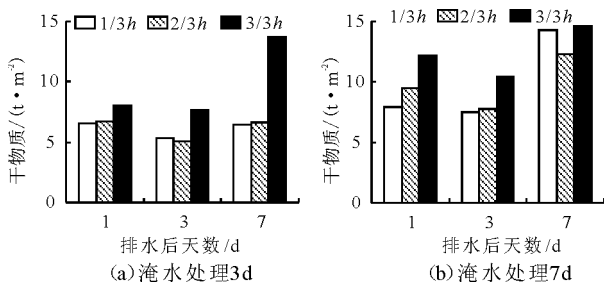


图 6 排水后水稻干物质变化

在拔节期对水稻进行淹水处理,如图 7 所示,不同淹水深度、淹水历时处理的水稻干物质的变化规律基本一致,均表现出随生育期延续逐渐增加的变化规律。淹水历时 3 d 时,黄熟期,1/3 h、2/3 h 和

3/3 h 处理的水稻干物质累积量分别比 CK 处理减小 10.21%、12.97% 和 28.20%,由以上数据分析可知,随着淹水深度的增加水稻干物质逐渐降低。淹水历时 7 d 时,1/3 h 处理水稻干物质在进行淹水后分别是 CK 处理的 1.6、1.1 和 1.1 倍,王矿等<sup>[15]</sup>研究也表明在拔节期水稻进行淹水处理后表现出较强的适应性,一定程度上适度的水稻淹水胁迫刺激了水稻株高的生长,提高了水稻干物质的累积量。全淹没处理(3/3 h - 3 d 和 3/3 h - 7 d)在乳熟期后干物质质量基本保持不变,这是因为水稻株高在淹水后迅速增高但在生育末期接近对照处理,而且全淹没处理对水稻产量危害最大<sup>[21]</sup>,导致干物质后期增长乏力。

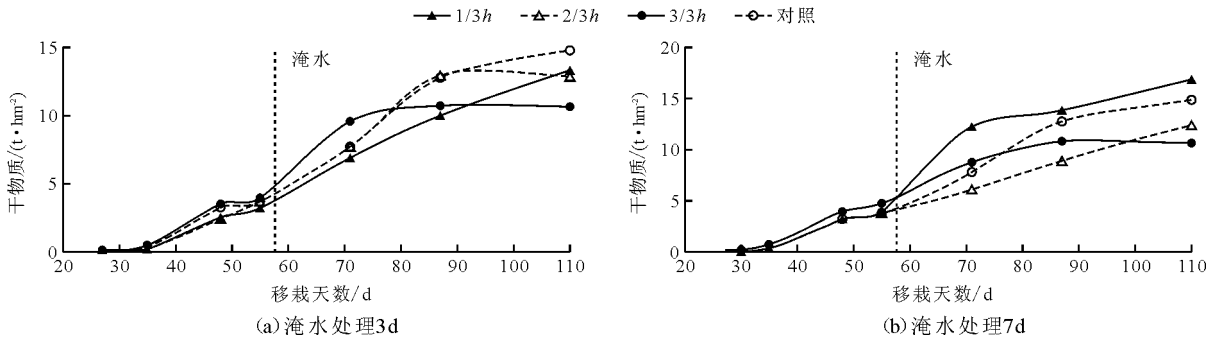


图 7 水稻全生育期干物质变化

## 4 结 论

(1)随着淹涝胁迫排水后时间的延续水稻 *LAI* 逐渐降低,且各生育期淹水处理的水稻 *LAI* 均低于 CK 处理,随着淹水深度的增加水稻 *LAI* 逐渐降低,全淹没(3/3 h)水稻 *LAI* 仅为 CK 处理的 69.53% ~ 70.29%。

(2)在淹水排水后 7 d 连续观测显示,随着淹水深度增加水稻净光合速率 (*Pn*) 呈现先升高然后降低的变化规律。水稻受淹涝胁迫后,各淹水处理的水稻叶片均低于 CK 处理,抽开期时各淹水处理水稻 *Pn* 与 CK 处理相比下降幅度达 9.51% ~ 42.80%,乳熟期达 9.27% ~ 31.27%,黄熟期为 19.23% ~ 75.82%。

(3)随着排水后天数的延长,各淹水处理均呈现出干物质累积量先减小后增大的趋势,且各不同淹水深度处理随着淹水历时的延长干物质累积量逐渐增大。短历时淹水(3 d),在黄熟期呈现水稻干物质  $3/3 h < 2/3 h < 1/3 h$ 。长时间适度的淹水胁迫(1/3 h - 7 d 处理)在一定程度上提高了水稻干物质,各生育期分别是 CK 处理的 1.6、1.1 和 1.1 倍。

本试验研究是基于小区试验,且灌溉水源是河水,因此试验结果更贴合实际,更能体现黑龙江地区寒地水稻洪涝灾害对水稻生长影响的实际情况。但由于淹涝处理在静态环境下完成,与实际洪涝情况尚存在一定的差异,且本文未考虑光、水、温度等外界气候因素,对此需要进一步开展深入的研究。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 谢彦,张茂文,刘许生,等. 洪涝对早、中稻的影响调查与研究结果简报[J]. 中国农学通报, 2011, 27(9): 281 - 286.
- [4] 潘澜,薛立. 植物淹水胁迫的生理学机制研究进展[J]. 生态学杂志, 2012, 31(10): 2662 - 2672.
- [5] 吴麟,张伟伟,葛晓敏. 植物对淹水胁迫的响应机制研究进展[J]. 世界林业研究, 2012, 25(6): 27 - 33.
- [6] KAWANO N, ITO O, SAKAGAMI J I. Relationship between shoot elongation and dry matter weight during submergence in *Oryza sativa* L. and *O. glaberrima* Steud. rice cultivars[J]. Plant Production Science, 2008, 11(3): 316 - 323.
- [7] KAR G, SAHOO N, KUMAR A. Deep - water rice production as influenced by time and depth of flooding on the east coast of India[J]. Archives of Agronomy & Soil Science, 2012, 58(6): 573 - 592.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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, 2016, 30(9): 71 - 76.
- [12] 宁金花,霍治国,龙志长,等. 淹涝胁迫条件对水稻形态的试验研究初报[J]. 中国农学通报, 2013, 29(27): 24 - 29.
- [13] 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.
- [14] CARVALHO L C, AMÂNCIO S. Antioxidant defence system in plantlets transferred from in vitro to ex vitro: effects of increasing light intensity and CO<sub>2</sub> concentration[J]. Plant Science, 2002, 162(1): 33 - 40.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 钱慕尧,顾春林,胡杰明. 淹水试验和洪涝灾害对水稻生长的影响[J]. 江苏水利, 1994(2): 30 - 35.
- [19] 袁静,蒋新会,黄锦珠,等. 水稻拔节孕穗期旱涝急转对其生理特性的影响[J]. 水利科技与经济, 2008, 14(4): 259 - 262.
- [20] 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.
- [21] 于艳梅,李芳花,姜丽霞,等. 不同淹水处理对寒地水稻生长规律及产量影响的研究[J]. 水资源与水工程学报, 2018, 29(3): 249 - 253.