

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.03.017

# 水稻拔节期水氮互作的后效性影响研究\*

郝树荣 郑姬 冯远周 黄聪波 马丹萍

(河海大学水利水电学院, 南京 210098)

**摘要:** 通过盆栽试验研究了不同水氮互作条件下水稻各项生理指标短期和长期的后效变化。结果表明:适宜的水氮组合复水短期内对生理活性有一定的补偿效应,生育后期表现出延缓衰老的长期后效性;水、氮单因子复水短期内对叶片叶绿素含量、荧光参数、丙二醛含量等生理指标影响显著,水氮协同互作效应在复水15 d后达显著水平;不同的水分胁迫后复水,水氮互作效应不同,重旱处理产量随复水后施氮量的增加而增加,但产量较其他处理明显降低。应避免水稻拔节期重旱,土壤含水率不能低于田间持水率的70%;充分灌溉和轻旱处理产量随施氮量的增加有所降低,拔节期高水高肥不一定高产,轻旱后复水结合低氮追肥,节水保产效果最佳。

**关键词:** 水稻 水氮互作 后效性 拔节期 复水

中图分类号: S158.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2013)03-0092-05

## Aftereffects of Water-nitrogen Interaction on Rice at Jointing Stage

Hao Shurong Zheng Ji Feng Yuanzhou Huang Congbo Ma Danping

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** In order to reveal the aftereffects of different nitrogen and water regulation levels on rice, pot experiments were carried out to study the aftereffects of short-term and long-term physiological indexes in different water-nitrogen interaction models at jointing stage. The results showed that optimal combination of water and nitrogen had compensation effect on physiological activity in a short-term after rewatering, while long-term aftereffect of delaying senescence was found at late growth stage. The single factor of water and nitrogen had significant influence on chlorophylls, fluorescence parameters, MDA, etc. in the short term after rewatering, and the collaborative interaction of water and nitrogen had reached to significant level in 15 d after rewatering. The interaction effect of water and nitrogen is different for different water stress level. The yields of heavy-drought treatments increased with the improvement of nitrogen supply, but were lower than other treatments. Accordingly, the heavy-drought should be avoided in rice jointing stage, and soil moisture content can't hold less than 70% soil water rate. The yields of sufficient irrigation and slight-drought treatments reduced with the increasing of nitrogen supply. Therefore, high level of water and fertilizer at jointing stage did not assure high yield. The treatment of rewatering combined with lower nitrogen supply after slight-drought can obtain the best effect on water saving and yield guarantee.

**Key words:** Rice Water-nitrogen interaction Aftereffect Jointing stage Rewatering

## 引言

干旱是作物最主要的环境胁迫之一<sup>[1-4]</sup>。近年来研究表明,水分胁迫在某种程度上具有正面效应,

主要体现在水分胁迫的后效性上,即适度胁迫后复水,可使胁迫期间对作物造成的不利影响在复水后得到缓解<sup>[5-6]</sup>。另外由于不合理施肥及农田氮素利用效率较低,导致面源污染不断扩大<sup>[7-8]</sup>。水和肥

收稿日期: 2012-07-11 修回日期: 2012-08-29

\* 国家自然科学基金资助项目(51079042)和中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2010B25014)

作者简介: 郝树荣,副教授,博士,主要从事节水灌溉理论与技术研究, E-mail: srhao@hhu.edu.cn

在水稻生长发育过程中是相互影响、相互制约的两个重要因子,如何高效利用水肥、对水稻生长主动调控,以实现优质高产的研究受到了广泛关注<sup>[9-12]</sup>。

有关水分和氮肥调控对水稻生长发育的影响研究已经很多<sup>[13-17]</sup>,但研究结论并不一致。而且大部分研究集中在充分灌溉条件下氮肥运筹的水肥耦合效应对作物生长发育及产量的影响<sup>[9,11,12,14]</sup>,或者水分亏缺条件下施肥,水肥耦合对作物抗旱生理及提高水肥高效利用的优化调控<sup>[18-19]</sup>。对于旱后复水不同氮素水平下,水氮互作效应对水稻生理及产量影响的后效性研究还很少。本文研究拔节期旱后复水的同时追肥,水、氮单因子及互作效应对水稻生理变化规律的影响,探讨水氮互作的短期后效性和对生育后期衰老影响的长期后效性,为实现水氮高效利用和水稻高产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与种植

水稻盆栽试验于2011年5~10月在河海大学节水园区大棚内进行(北纬31°57',东经118°50')。土壤质地为粘壤土,田间持水率28%,容重为1.44 g/cm<sup>3</sup>,土壤有机质质量比11.4 g/kg,速效氮质量比36.75 mg/kg,速效磷质量比12.08 mg/kg,速效钾质量比100 mg/kg,pH值为7.48。供试水稻品种为新两优6380。盆钵顶部内径25 cm,盆底内径21 cm,高28.5 cm,每盆装干土9 kg。经晒干、打碎、过筛后,均匀施肥。每盆基肥用量:尿素1.44 g、过磷酸钙5.4 g、氯化钾2.25 g。水稻三叶一心时移栽,每盆移栽3穴,每穴2株。

### 1.2 试验设计

稻株于拔节期开始胁迫(移栽后第60天),胁迫历时9 d。试验设两因素:水分胁迫程度(轻旱、重旱,土壤含水率分别为田间持水率的70%~80%和60%~70%)和旱后复水的同时追施氮肥量(指氮肥与干土的质量比,低氮、高氮2个水平分别为80 mg/kg、160 mg/kg),对照为浅水勤灌,保持水层

10~20 mm。共7个处理,8次重复,如表1所示。每天8:00用精度为1 g的SM-ACS型电子天平称量,胁迫期间低于控水下限即补水至上限,非胁迫期间各处理均保持浅水层10~20 mm。

表1 试验设计

Tab.1 Experimental design

处理序号	胁迫程度	含水率占田间持水率百分比/%	追肥程度	追施氮肥量/mg·kg <sup>-1</sup>
C1N1	轻旱	70~80	低氮	80
C1N2	轻旱	70~80	高氮	160
C2N1	重旱	60~70	低氮	80
C2N2	重旱	60~70	高氮	160
CKN1	充分灌溉	浅水层10~20 mm	低氮	80
CKN2	充分灌溉	浅水层10~20 mm	高氮	160
CK	充分灌溉	浅水层10~20 mm		

### 1.3 测定项目及方法

从胁迫结束开始,每隔5 d测定稻株第一片完全展开叶的各项生理指标。测量方法为:①叶绿素:用95%乙醇提取,WFZ800-D3B型分光光度计检测吸光度。②荧光参数:用OS-30P型便携式叶绿素荧光仪测定,直接读出初始荧光强度 $F_0$ 、最大荧光强度 $F_m$ 、可变荧光强度 $F_v$ 以及原初光能转换效率 $F_v/F_m$ ,计算 $F_v/F_0$ 。③可溶性蛋白含量:考马斯亮蓝G-250法<sup>[20]</sup>。④MDA含量:硫代巴比妥酸法<sup>[20]</sup>。数据分析方法:用Excel 2007、SPSS 17.0进行数据的计算、绘图及统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 荧光参数

拔节期胁迫处理 $F_v/F_m$ 和 $F_v/F_0$ 低于充分灌溉,表明水分胁迫在一定程度上抑制了光合作用的原初反应,光合电子传递受阻,如图1所示。复水后 $F_v/F_m$ 和 $F_v/F_0$ 均明显恢复,且重旱处理的补偿效应较轻旱处理大。复水5 d时,重旱低氮处理出现明显的补偿效应;复水15 d时,重旱高氮处理恢复速率达最大,分别为5.3%和21.7%。胁迫处理复水

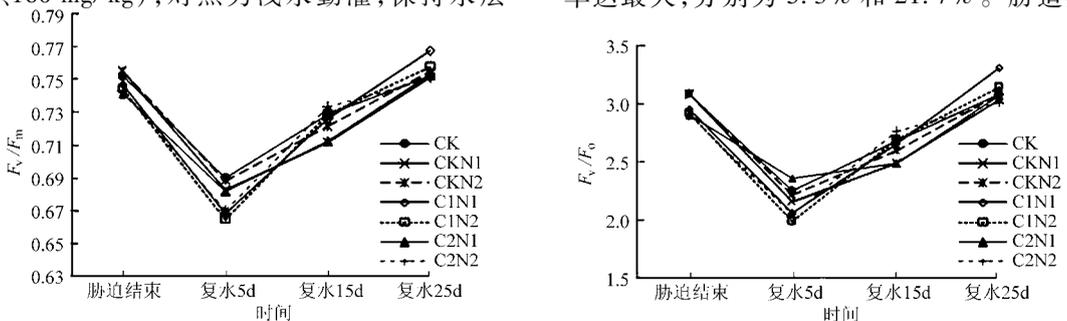


图1 不同水氮互作条件下水稻荧光参数的变化

Fig.1 Fluorescence parameters transformation of rice under different water-nitrogen treatments

后 $F_v/F_m$ 和 $F_v/F_0$ 值的恢复速率均高出充分灌溉,产生超补偿,表现出利于水稻生长的短期后效性。

## 2.2 丙二醛含量

丙二醛(MDA)含量表明了细胞膜脂的过氧化程度。由表2可知,胁迫结束时,各胁迫处理的MDA含量均高于CK,且随胁迫程度的提高而增加,这与大多数研究结论一致<sup>[21-22]</sup>。复水5d后胁迫处理的MDA含量均小于CK,其中重旱处理的MDA含量降低最为显著,说明拔节期水氮处理有明显的短期后效性,其中重旱处理由于受胁迫影响大,复水后补偿反应较快。生育后期各胁迫处理的MDA含量均低于CK,说明水氮互作在生育后期延缓了水稻衰老。轻旱、充分灌溉和低氮互作效应明显,MDA含量均低于高氮;重旱处理与高氮互作效应明显,MDA含量低于低氮,这可能是由于过度干旱使水稻生理机制遭到破坏,而高氮的施用在一定程度上弥补了干旱所造成的危害。

表2 不同水氮互作条件下水稻叶片MDA摩尔质量浓度

Tab.2 MDA content of rice blade under different

处理 序号	water-nitrogen treatments					乳熟期
	胁迫 结束	复水 5 d	复水 10 d	复水 15 d	复水 25 d	
C1N1	5.722	6.330	7.576	10.410	9.942	13.523
C1N2	5.776	6.023	7.562	12.004	11.435	16.416
C2N1	6.031	4.684	7.606	10.206	16.763	17.711
C2N2	6.041	4.420	6.235	9.878	13.233	17.154
CKN1	5.560	5.792	7.872	8.776	10.177	11.120
CKN2	5.535	4.631	6.639	10.190	16.453	13.049
CK	5.557	6.401	7.859	10.638	16.874	18.587

## 2.3 可溶性蛋白含量

图2显示胁迫结束到复水10d时,水氮互作处理可溶性蛋白含量均低于CK。到复水15d,互作处理均有所恢复,低氮处理下轻旱、重旱和充分灌溉的恢复程度为13.7%、6.5%和3.2%(恢复数值与未恢复之前值的比值),高氮处理下轻旱、重旱和充分灌溉的恢复程度为11.7%、9.2%和3.4%,说明胁迫处理下水氮互作效应更为显著。生育后期低氮各处理与CK没有显著差别;高氮各处理均高于CK,体现出水氮互作长期后效性的缓衰作用。

## 2.4 叶绿素含量

图3显示,胁迫结束时各处理的叶绿素含量均高于CK,这可能是由于拔节期胁迫在减少叶绿素合成(或增加水解)的同时抑制了叶片生长,胁迫处理的叶绿素增加是浓缩现象所致。复水5d后由于叶片扩展生长加快,其补偿效应大于叶绿素合成的补偿效应,导致胁迫处理与CK叶绿素含量差异减小。

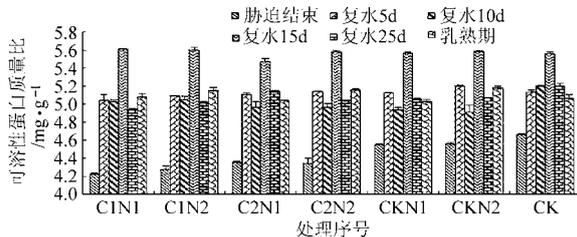


图2 不同水氮互作条件下水稻叶片可溶性蛋白的含量

Fig.2 Protein content of rice leaf under different water-nitrogen treatments

复水10d由于叶绿素合成的补偿效应,各胁迫处理叶绿素含量高于CK。生育后期水氮互作处理的叶绿素含量仍高于CK(但差异不显著),表现出一定的缓衰作用。

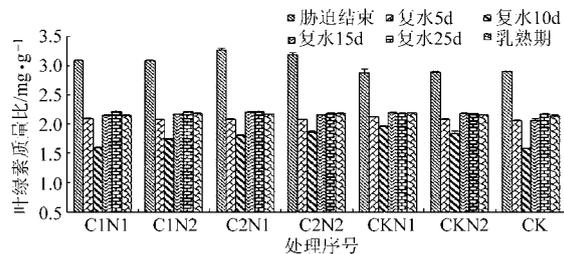


图3 不同水氮互作条件下水稻叶绿素的含量

Fig.3 Chlorophyll content of rice under different water-nitrogen treatments

## 2.5 各生理指标的水氮互作效应

由表3可见,复水0~25d,水、氮单因子对稻株各项生理指标具有显著或极显著影响,且水分处理对多项生理指标的影响要高于氮肥处理。这是由于水、氮对稻株所产生的效应与其施用时期有很大关系,拔节孕穗初期是水稻的关键需水期,水分是这一时期稻株生长的关键因素。复水初期,水氮互作效应均不达显著水平;随复水时间的延长,互作效应逐步加强。这可能是由于水、氮作为单因子可在复水短期内表现出对稻株产生的效应,但两者的互作效应则需通过一定的协调、互补后对稻株产生叠加作用。

## 2.6 不同水氮处理对产量的影响

由表4可见,穗长随施氮量的增加而增加,每穗粒数、结实率、千粒质量和产量在轻旱和充分灌溉处理下随施氮量的增加而降低,而重旱处理下则相反。水氮互作处理的千粒质量均大于CK,说明拔节期水氮互作有利于籽粒灌浆,千粒质量在低氮处理下从大到小依次为:C1N1、CKN1、C2N1;高氮下从大到小依次为:C2N2、C1N2、CKN2,说明拔节期轻旱低氮、重旱高氮的互作对籽粒灌浆具有较好的协同补偿效应。从产量数据可以看出,重旱处理产量显著降低,C2N1、C2N2分别比CK降低了34.91%、26.43%,说明拔节期长期重旱会导致产量大幅降低,应避

表3 不同水氮处理水氮互作效应分析( $F$ 值)

Tab.3 Analysis of water and fertilizer interaction effect under different water-nitrogen treatments

处理	复水时间/d	叶绿素质量比	可溶性蛋白质量比	MDA 摩尔质量浓度	$F_v/F_m$	$F_v/F_o$
水分处理	5	3.901 *	6.501 *	14.803 **	7.839 **	5.684 *
	15	5.557 *	7.250 **	13.803 **	4.335 *	4.346 *
	25	20.690 **	28.159 **	140.451 **	8.030 **	7.581 **
氮肥处理	5	9.283 **	5.100 *	5.546 *	6.096 *	6.936 *
	15	4.754 *	4.824 *	10.681 **	13.418 **	14.141 **
	25	17.136 **	2.309	102.703 **	9.641 **	9.349 **
水氮互作	5	3.013	0.422	1.417	0.251	0.058
	15	6.953 **	4.288 *	5.021 *	0.656	0.759
	25	6.037 *	26.796 **	245.679 **	4.618 *	4.703 *

注: \*、\*\* 分别表示在  $p < 0.05$  和  $p < 0.01$  水平上差异显著。

免拔节期长历时重旱。而轻旱和充分灌溉处理,低氮条件下产量均高于高氮,说明高水高肥并不一定高产,拔节期轻旱低氮的水肥互作能达到节水保产的效果。

表4 不同水氮处理对产量因子的影响

Tab.4 Effects of index under different water-nitrogen treatments

处理序号	穗长/cm	每穗粒数	结实率/%	千粒质量/g	每盆产量/g
C1N1	25.325 <sup>c</sup>	85.34	75.64 <sup>ab</sup>	23.604 <sup>a</sup>	46.288 <sup>b</sup>
C1N2	26.225 <sup>bc</sup>	83.19	74.76 <sup>b</sup>	22.922 <sup>b</sup>	43.928 <sup>c</sup>
C2N1	24.000 <sup>d</sup>	82.53	69.49 <sup>d</sup>	22.993 <sup>b</sup>	34.427 <sup>d</sup>
C2N2	25.575 <sup>c</sup>	83.96	71.20 <sup>c</sup>	23.008 <sup>b</sup>	38.911 <sup>d</sup>
CKN1	28.350 <sup>ab</sup>	86.61	76.83 <sup>a</sup>	23.219 <sup>ab</sup>	58.420 <sup>a</sup>
CKN2	29.850 <sup>a</sup>	84.27	73.10 <sup>c</sup>	22.513 <sup>c</sup>	40.466 <sup>cd</sup>
CK	26.575 <sup>bc</sup>	80.84	76.25 <sup>a</sup>	21.498 <sup>c</sup>	52.892 <sup>ab</sup>

注:同一列不同的字母分别表示在  $p < 0.05$  水平上差异显著。

### 3 讨论

(1) 拔节期水分胁迫抑制水稻叶片生理活性,旱后复水追肥可使生理活性在复水后短期和生育后期产生一定的补偿。短期后效性表现为复水施氮可有效控制质膜氧化作用、有利于叶绿素合成、促进光合电子传递等生理活性的反弹补偿,长期后效性体现出水氮协同互作延缓水稻早衰的缓衰效应。

(2) 复水短期内,水、氮单因子对水稻生理活性

的恢复影响显著,但响应速率及强度不同,重旱处理受水分胁迫影响最大,复水后施肥能较快表现出补偿效应,而轻旱处理补偿效应表现得较为缓慢,但补偿强度大于重旱;水氮互作效应复水短期内表现不明显,复水 15 d 后,协同互作效应显著。

(3) 拔节期重旱处理产量不论在何种氮肥水平下显著低于轻旱和充分灌溉,说明水稻应避免在拔节期受重旱(土壤含水率小于田间持水率的 70%);拔节期在供水充足的情况下,适当提高氮肥用量可明显增加产量,而过量施氮反而使产量降低,说明高水高肥并不一定高产;轻旱与低氮具有明显的协同互作效应,在保产的同时达到节水的目的,以上结论与陈新红<sup>[14]</sup>、孙永健<sup>[22]</sup>研究成果一致。

### 4 结束语

研究了拔节期旱后复水的同时追施氮肥,不同水氮组合下,水、氮单因子及互作效应对水稻各生理指标和产量变化规律的影响,结果表明:适宜的水氮组合复水短期内对生理活性有一定的补偿效应,生育后期表现出延缓衰老的长期后效性。重旱处理产量随复水后施氮量的增加而增加,但产量较其他处理明显降低,应避免水稻拔节期重旱,土壤含水率不能低于田间持水率的 70%。拔节期高水高肥不一定高产,轻旱后复水结合低氮追肥,节水保产效果最佳。

### 参 考 文 献

- Kage H, Kochler M, Stutzel H. Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress conditions: measurement and simulation[J]. European Journal of Agronomy, 2004, 20(4): 379 ~ 394.
- 孟兆江,贾大林,刘安能,等. 调亏灌溉对冬小麦生理机制及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 66 ~ 69. Meng Zhaojiang, Jia Dalin, Liu Anneng, et al. Effect of regulated deficit irrigation on physiological mechanism and water use efficiency of winter wheat[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(4): 66 ~ 69. (in Chinese)
- 刘晓英,罗远培. 干旱胁迫对作物生长后效影响的研究现状[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(4): 6 ~ 10. Liu Xiaoying, Luo Yuanpei. Present situation of study on after-effect of water stress on crop growth[J]. Agricultural Research in

- the Arid Areas, 2002, 20(4):6~10. (in Chinese)
- 4 Howell T A. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture[J]. *Agronomy Journal*, 2001, 93(2):281~289.
- 5 郝树荣, 郭相平, 王文娟. 旱后复水对水稻生长的后效影响[J]. *农业机械学报*, 2010, 41(7):76~79.  
Hao Shurong, Guo Xiangping, Wang Wenjuan. Aftereffects of rewatering after water stress on the rice growth[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2010, 41(7):76~79. (in Chinese)
- 6 郭相平, 张烈君, 王琴, 等. 拔节孕穗期水分胁迫对水稻生理特性的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(2):125~129.  
Guo Xiangping, Zhang Liejun, Wang Qin, et al. Effects of water stress on photosynthetic and physiological characteristics of rice in jointing-booting stage [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(2):125~129. (in Chinese)
- 7 史伟达, 崔远来, 王建鹏, 等. 不同施肥制度下水稻灌区面源污染排放的数值模拟[J]. *灌溉排水学报*, 2011, 30(2):23~26.  
Shi Weida, Cui Yuanlai, Wang Jianpeng, et al. Simulation of different fertilizer application regimes impact on agricultural non-point source pollution in rice irrigation district[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2011, 30(2):23~26. (in Chinese)
- 8 王建兵, 程磊. 农业面源污染现状分析[J]. *江西农业大学学报:社会科学版*, 2008, 7(3):35~39.  
Wang Jianbing, Cheng Lei. Present situation analysis of agricultural non-point source pollution[J]. *Journal of Jiangxi Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2008, 7(3):35~39. (in Chinese)
- 9 孔东, 晏云, 段艳, 等. 不同水氮处理对冬小麦生长及产量影响的田间试验[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(12):36~40.  
Kong Dong, Yan Yun, Duan Yan, et al. Field experiment study on growth and yields of winter wheat under different water and nitrogen treatments[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(12):36~40. (in Chinese)
- 10 Ierna A, Mauromicale G. Physiological and growth response to moderate water deficit of off-season potatoes in a Mediterranean environment[J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 82(1/2):193~209.
- 11 Kato Y, Kamoshita A, Yamagishi J. Growth of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars under upland conditions with different levels of water supply: 2 Grain yield[J]. *Plant Production Science*, 2006, 9(4):435~445.
- 12 Boyer J S, Westgate M E. Grain yields with limited water[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2004, 55(407):2385~2394.
- 13 Sharma A R, Ghosh A. Effect of combined use of organic manure and nitrogen fertilizer on the performance of rice under flood-prone lowland conditions[J]. *The Journal of Agricultural Science*, 1999, 132(4):461~465.
- 14 陈新红, 刘凯, 王志琴, 等. 水稻水氮互作效应与产量模型研究[J]. *西北农林科技大学学报*, 2006, 34(9):141~148.  
Chen Xinhong, Liu Kai, Wang Zhiqin, et al. Studies on interactions between soil moisture and nitrogen and yield models in rice [J]. *Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition*, 2006, 34(9):141~148. (in Chinese)
- 15 李国生, 王志琴, 袁莉民, 等. 结实期土壤水分与氮素营养对水稻产量与米质的交互影响[J]. *中国水稻科学*, 2008, 22(2):161~166.  
Li Guosheng, Wang Zhiqin, Yuan Limin, et al. Coupling effects of soil moisture and nitrogen nutrient during grain filling on grain yield and quality of rice[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2008, 22(2):161~166. (in Chinese)
- 16 张凤翔, 周明耀, 周春林, 等. 水肥耦合对水稻根系形态与活力的影响[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(5):197~200.  
Zhang Fengxiang, Zhou Mingyao, Zhou Chunlin, et al. Effects of water and fertilizer coupling on root morphological characteristics and activities of rice[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2006, 22(5):197~200. (in Chinese)
- 17 Cabangon R J, Tuong T P, Castillo E G, et al. Effect of irrigation method and N-fertilizer management on rice yield, water productivity and nutrient-use efficiencies in typical lowland rice conditions in China[J]. *Paddy and Water Environment*, 2004, 2(4):195~206.
- 18 蔡一震, 王维, 朱智伟, 等. 结实期水分胁迫对不同氮肥水平下水稻产量及其品质的影响[J]. *应用生态学报*, 2006, 17(7):1201~1206.  
Cai Yixia, Wang Wei, Zhu Zhiwei, et al. Effects of water stress during grain-filling period on rice grain yield and its quality under different nitrogen levels[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(7):1201~1206. (in Chinese)
- 19 邵东国, 孙春敏, 王洪强, 等. 稻田水肥资源高效利用与调控模拟[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(12):72~77.  
Shao Dongguo, Sun Chunmin, Wang Hongqiang, et al. Simulation on regulation for efficient utilization of water and fertilizer resources in paddy fields [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(12):72~77. (in Chinese)
- 20 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社, 2000.
- 21 戴高兴, 彭克勤, 萧浪涛, 等. 聚乙二醇模拟干旱对耐低钾水稻幼苗丙二醛、脯氨酸含量和超氧化物歧化酶活性的影响[J]. *中国水稻科学*, 2006, 20(5):557~559.  
Dai Gaoxing, Peng Keqin, Xiao Langtao, et al. Effect of drought stress simulated by PEG on Malonaldehyde, proline contents and superoxide dismutase activity in low potassium tolerant rice seedlings[J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2006, 20(5):557~559. (in Chinese)
- 22 孙永健, 孙园园, 刘凯, 等. 水氮互作对结实期水稻衰老和物质转运及产量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(6):1339~1349.  
Sun Yongjian, Sun Yuanyuan, Liu Kai, et al. Effects of water-nitrogen interaction on rice senescence and material transport and yield during grain filling[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(6):1339~1349. (in Chinese)