

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2013.01.014

水氮调控对水稻叶片荧光参数影响的正交分析

和玉璞¹, 彭世彰¹, 豆沿斌², 杨士红¹, 张剑刚³, 赵忠福³

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098;
2. 长兴县合溪水库管理局, 浙江 长兴 313100; 3. 昆山市水利技术推广站, 江苏 昆山 215300)

摘要: 为揭示水氮调控对水稻叶片荧光参数的影响, 实现节水灌溉条件下水肥的高效利用, 以盆栽水稻为研究对象, 采用正交试验方法研究水氮调控对水稻叶片荧光参数的影响。结果表明: (a) 施氮量 N 对水稻叶片荧光参数的影响最大; 土壤水分 W 和控水阶段 S 的重要性相当, 并列第 2 位。(b) 以水稻叶片荧光参数最优为目标, 确定各因素最佳水平, 得出最佳试验组合为 $N_3W_2S_2$ 和 $N_3S_2W_2$, 即高施氮量 (300 kg/hm^2), 控制灌溉标准, 拔节孕穗前期进行土壤水分控制。

关键词: 水氮联合调控; 水稻栽培; 叶片荧光参数; 正交试验

中图分类号: S511 文献标志码: A 文章编号: 1000-1980(2013)01-0075-05

Orthogonal analysis of rice leaf fluorescence parameters with different water and nitrogen controls

HE Yupu¹, PENG Shizhang¹, DOU Yanbin², YANG Shihong¹, ZHANG Jingang³, ZHAO Zhongfu³

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;
2. Hexi Reservoir Management Bureau, Changxing 313100, China;
3. Kunshan Promotional Station of Water Conservancy Technique, Kunshan 215300, China)

Abstract: In order to explore the effects of water and nitrogen control on chlorophyll fluorescence of rice and to achieve efficient utilization of water and fertilizer for rice under water-saving irrigation, pot-cultured rice was selected to study the effects of water and nitrogen control on chlorophyll fluorescence of rice through orthogonal experiments. The results show that nitrogen dosage (N) was the most effective factor in the chlorophyll fluorescence, followed by soil moisture (W) and the water controlling stage (S). To obtain optimal chlorophyll fluorescence of rice, the best level of each factor was determined. The best test combinations were determined to be $N_3W_2S_2$ and $N_3S_2W_2$, i. e., with a high nitrogen dosage of 300 kg/hm^2 , a proper controlled irrigation standard, and a water controlling stage being in early jointing and booting period.

Key words : water and nitrogen control; rice cultivation; chlorophyll fluorescence; orthogonal analysis

叶绿素荧光动力学是以光合作用理论为基础, 利用植物体内叶绿素荧光作为天然探针^[1-2]、研究和探测植物光合生理状况及外界因子对其细微影响的新型植物活体测定诊断理论^[3]。已有研究表明, 植物体内发出的叶绿素荧光信号随着外界环境的变化而改变, 与“表观性”的气体交换指标相比较, 叶绿素荧光参数更具有反映“内在性”等特点^[4]。因此, 使用叶绿素荧光信息来探讨作物在水氮调控下的光合响应机理被逐步运用于各项研究之中。已有研究表明, 水分不足显著影响光合作用的进行^[5-8], F_v/F_0 和 F_v/F_m 值随施氮水平增加而提高^[9-12]。然而, 对不同水、氮及其耦合条件下作物荧光参数的研究中多以旱作物和淹灌水稻为主, 且多局限于水或肥的单因子效应, 水氮联合调控对节水灌溉水稻叶片荧光参数影响的研究还欠缺。笔者

收稿日期: 2012-04-05
基金项目: 国家自然科学基金(50839002, 51179049)
作者简介: 和玉璞(1987—), 男, 河南新乡人, 博士研究生, 主要从事节水灌溉理论与农田生态效应研究。E-mail: heyupu28@163.com
通信作者: 杨士红, E-mail: ysh7731@hhu.edu.cn

以节水灌溉为基础,研究水氮联合调控对水稻叶片荧光参数的影响,探究节水灌溉条件下经济合理的养分管理措施。

1 试验方法与设计

1.1 试验区概况

试验区位于河海大学国家重点实验室昆山试验研究基地(31°15′15″N,120°57′43″E),年平均气温为15.5℃,年降雨量为1 097.1 mm,年蒸发量为1 365.9 mm,年日照时数为2 085.9 h,当地耕种特征为稻麦轮作。

1.2 试验设计

试验采用盆栽方法,于2010年稻季(6—11月)在基地防雨篷内进行。供试盆钵为封底铁皮套筒,盆钵外径16 cm,内径15 cm,高度65 cm。铁皮外筒置于土槽内,内筒置于外筒中,缝隙间为同土回填。内筒中填土高度为60 cm,顶部预留5 cm用作保留水层。

试验选定土壤水分(土壤体积含水率) W 、施氮量 N 和控水阶段 S 共3个因素。 W 的3个水平为:水分下限比控制灌溉提高10%(W_1)、控制灌溉标准(W_2)和水分下限比控制灌溉降低10%(W_3); N 的3个水平为:低施氮量100 kg/hm²(N_1)、中施氮量200 kg/hm²(N_2)和高施氮量300 kg/hm²(N_3); S 的3个水平为:分蘖后期(S_1)、拔节孕穗前期(S_2)和抽穗开花期(S_3)。采用 $L_9(3^4)$ 正交表设计试验的9个处理分别为: $W_1N_1S_1$, $W_1N_2S_2$, $W_1N_3S_3$, $W_2N_1S_2$, $W_2N_2S_3$, $W_2N_3S_1$, $W_3N_1S_3$, $W_3N_2S_1$ 和 $W_3N_3S_2$,每个处理有6个重复。

1.3 观测指标与方法

a. 根层土壤体积含水率监测。利用 Trease 系统于每日上午8:00观测水稻不同生长阶段的根层土壤体积含水率。

b. 水稻叶片荧光动力学参数观测。采用 OS-5p 便携式调制叶绿素荧光仪测定最小荧光 F_0 、最大荧光 F_m 、可变荧光 F_v 、PS II 潜在量子效率 F_v/F_0 和PS II 实际光化学量子效率 Y 等水稻叶片荧光动力学参数。每次测定前先用叶片夹夹住选定的功能叶片进行暗适应预处理,暗适应时间为15 min。

1.4 数据统计与分析方法

为充分考虑 W 、 N 和 S 的影响作用,使所选数据能全面体现前期水氮调控对水稻叶片荧光参数的影响,同时考虑到水稻生长后期光合作用功能的优劣直接影响水稻籽粒产量,因此选取乳熟期9月16日和9月21日作为典型日进行数据分析。由于水稻进入乳熟期后太阳辐射减弱,故选用水稻叶片光合生理最强烈的10:00和14:00作为典型时刻进行数据分析。

选取叶绿素荧光动力学参数 F_0 、 F_m 、 F_v/F_0 和 Y 作为分析指标。为准确揭示水氮调控对水稻叶片荧光参数的综合影响,采用排队评分法研究水稻叶片的 F_0 、 F_m 、 F_v/F_0 和 Y 与水氮调控的关系。具体方法为:首先将每项指标最优值的评分定为10分,最差值的评分定为1分,该指标其他值按其最优值的比例打分,然后将各处理所有指标的得分相加得到综合评分,最后将综合评分作为单指标进行分析。 F_0 的最优值为其最小值,其余3项的最优值为最大值。采用 Microsoft Excel 2003 与 SPSS 17.0 进行数据统计分析和图表绘制^[13]。

2 结果与分析

2.1 水氮调控对典型日10:00水稻叶片荧光参数的影响

9月16日和9月21日10:00不同处理下水稻叶片荧光参数综合评分的差别较大,最小值均出现在 $W_3N_1S_3$ 处理,最大值分别出现在 $W_2N_2S_3$ 和 $W_2N_3S_1$ 处理(表1)。

N 、 W 和 S 对9月16日10:00水稻叶片荧光参数的影响均不显著(Sig. 值大于0.025),但其影响程度的大小存在较大差异,3个因素对该时刻水稻叶片荧光参数的影响大小排序为 $N>W>S$ (表2)。由表3可知在 W 的3个水平中, W_1 的均值最大,故 W 的最佳水平为 W_1 。同理由表3得到 N 和 S 的最佳水平为 N_2 和 S_3 。综合以上分析,9月16日10:00水稻叶片荧光特性最佳的调控方案为 $N_2W_1S_3$ 。

表 1 典型日 10:00 叶绿素荧光参数综合评分

日期	水稻叶片荧光参数综合评分								
	$W_1N_1S_1$	$W_2N_3S_1$	$W_3N_2S_1$	$W_1N_2S_2$	$W_2N_1S_2$	$W_3N_3S_2$	$W_1N_3S_3$	$W_2N_2S_3$	$W_3N_1S_3$
9 月 16 日	21.9	25.6	27.0	33.2	12.7	22.2	30.7	36.3	8.1
9 月 21 日	9.9	34.7	15.1	33.1	18.6	28.9	14.1	22.2	4.0

表 2 典型日 10:00 方差分析表

Table 2 Tests of between-subjects effects at 10:00 on typical days									
9 月 16 日					9 月 21 日				
方差来源	自由度	均方	<i>F</i>	Sig. 值	方差来源	自由度	均方	<i>F</i>	Sig. 值
<i>W</i>	2	68.72	4.20	0.19	<i>W</i>	2	65.42	1.36	0.42
<i>N</i>	2	250.00	15.28	0.06	<i>N</i>	2	196.26	4.08	0.20
<i>S</i>	2	5.02	0.31	0.77	<i>S</i>	2	135.40	2.81	0.26
误差	2	16.36			误差	2	48.16		

表 2 表明 3 个因素对 9 月 21 日 10:00 水稻叶片荧光参数的影响均不显著,对该时刻水稻叶片荧光参数影响大小的排序为 $N>S>W$ 。由表 3 可看出在 W 的 3 个水平中, W_2 的均值最大,故 W 的最佳水平为 W_2 ,同理得到 N 和 S 的最佳水平为 N_3 和 S_2 ,使 9 月 21 日 10:00 水稻叶片能表现出最佳荧光特性的调控方案应为 $N_3S_2W_2$ 。

2.2 水氮调控对典型日 14:00 水稻叶片荧光参数的影响

9 月 16 日和 9 月 21 日 14:00 不同处理下水稻叶片荧光参数综合评分的差别较大(表 4),但 2 d 的最大值均出现在 $W_2N_3S_1$ 处理,最小值均出现在 $W_3N_1S_3$ 处理。

表 4 典型日 14:00 叶片荧光参数综合评分

Table 4 Composite scores of chlorophyll fluorescence parameters at 14:00 on typical days									
日期	水稻叶片荧光参数综合评分								
	$W_1N_1S_1$	$W_2N_3S_1$	$W_3N_2S_1$	$W_1N_2S_2$	$W_2N_1S_2$	$W_3N_3S_2$	$W_1N_3S_3$	$W_2N_2S_3$	$W_3N_1S_3$
9 月 16 日	14.50	36.70	24.30	33.70	23.00	32.30	19.90	27.20	10.00
9 月 21 日	12.20	37.10	20.20	20.60	17.50	35.20	20.80	31.90	9.20

W,N,S 对 9 月 16 日 14:00 水稻叶片荧光参数均无显著影响,三因素对该时刻水稻叶片荧光参数的影响顺序为 $N>S>W$ (表 5)。由表 6 可看出在 W 的 3 个水平中, W_2 的均值最大,故最佳水平为 W_2 ,同理可得 N 和 S 的最佳水平为 N_3 和 S_2 ,方案 $N_3S_2W_2$ 调控下 9 月 16 日 14:00 水稻叶片荧光特性最佳。

表 5 典型日 14:00 方差分析结果

Table 5 Tests of between-subjects effects at 14:00 on typical days									
9 月 16 日					9 月 21 日				
方差来源	自由度	均方	<i>F</i>	Sig. 值	方差来源	自由度	均方	<i>F</i>	Sig. 值
<i>W</i>	2	42.65	2.94	0.25	<i>W</i>	2	93.50	2.56	0.28
<i>N</i>	2	174.94	12.04	0.08	<i>N</i>	2	249.79	6.84	0.13
<i>S</i>	2	85.47	5.88	0.15	<i>S</i>	2	11.23	0.31	0.76
误差	2	14.52			误差	2	36.50		

由表 5 可知三因素对 9 月 21 日 14:00 水稻叶片荧光参数的影响顺序是 $N>W>S$,且各因素对该时刻水稻叶片荧光参数影响均不显著。由表 6 可看出在 W 的 3 个水平中, W_2 的均值最大,故 W 的最佳水平为 W_2 ,同理可得 N 和 S 的最佳水平为 N_3 和 S_2 ,方案 $N_3W_2S_2$ 调控下 9 月 16 日 14:00 水稻叶片荧光特性最佳。

3 讨 论

典型日典型时刻水稻叶片荧光参数综合评分的最小值均出现在 $W_3N_1S_3$ 处理,表明在水分亏缺条件下低施氮量不利于水稻叶片荧光特性的表达。4次分析结果中,综合评分的最大值有3次出现在 $W_2N_3S_1$ 处理,另1次出现在 $W_2N_2S_3$ 处理,表明控制灌溉的水分管理与较高施氮量的组合能够促使水稻叶片表达出良好的荧光特性。此外,水稻叶片荧光参数综合评分的最大值与最小值之间差异极显著($p<0.01$),水分胁迫与低施氮量组合会对水稻叶片荧光参数产生拮抗效应,而控制灌溉的水分管理和高施氮量组合会产生显著的协同效应,表明水氮联合调控对水稻叶片荧光参数的影响明显。

综合典型时刻水稻叶片荧光参数影响的分析结果,可以发现施氮量的重要性均排在第1位,表明节水灌溉条件下施氮量对水稻叶片荧光参数的影响最大。在4次分析结果中,有3次均显示高施氮量(300 kg/hm^2)下叶绿素荧光特性最优,仅1次显示中施氮量(200 kg/hm^2)下最优,这表明高施氮量利于水稻叶片表现出最优的叶绿素荧光特性。

在三因素对水稻叶片荧光参数影响大小的排序中,土壤水分有2次处于第2位,表明土壤水分对水稻叶片荧光参数的影响小于施氮量。4次分析结果中有3次显示控制灌溉标准所定土壤水分下限能使水稻叶片表现出最优的荧光特性,控制灌溉水稻经过前期适度控水锻炼,复水后叶片荧光特性表现出较强的反弹恢复能力,部分时段内甚至增强。

控水阶段同样有2次在对水稻叶片荧光参数影响大小的排序中处于第2位,表明控水阶段与土壤水分对水稻叶片荧光参数的影响相当。4次分析结果中有3次显示在拔节孕穗前期适宜进行土壤水分控制,此阶段进行水分调控对水稻叶片荧光参数的影响较小。拔节孕穗前期水稻光合生理活动旺盛,此时水分亏缺再复水后水稻叶片荧光参数恢复较快。

4 结 论

- a. 试验因素中 N 对水稻叶片荧光参数的影响最大, W 和 S 的重要性相当,并列第2位。
- b. 以水稻叶片荧光参数最优为目标,在试验设计水平内的最佳试验组合为 $N_3W_2S_2$ 和 $N_3S_2W_2$,即施氮量标注为高施氮量(300 kg/hm^2),水分管理依据控制灌溉标准,且在拔节孕穗前期进行土壤水分控制。

参考文献:

[1] GENTY B, BRIANTAID J M, BAKER N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence[J]. Biochimica Biophysica Acta,1989,990:87-92.

[2] SCHREIER U, BILGER W, NEUBAUER C. Chlorophyll fluorescence as a non-destructive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis[J]. Ecological Studies,1994,100:49-70.

[3] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 444-448. (ZHANG ShouRen. A discussion on chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance[J]. Chinese Bulletin of Botany, 1999, 16(4): 444-448. (in Chinese))

[4] LIU Jiyong, QIU Baosheng, LIU Zhili, et al. Diurnal photosynthesis and photoinhibition of rice leaves with chlorophyll fluorescence[J]. Acta Botanica Sinica, 2004, 46(5): 552-559.

[5] 张永强,毛学森,孙宏勇,等. 干旱胁迫对冬小麦叶绿素荧光的影响[J]. 中国生态农业学报,2002,10(4):13-15. (ZHANG Yongqiang, MAO Xuesen, SUN Hongyong, et al. Effects of drought stress on chlorophyll fluorescence of winter wheat[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2002,10(4):13-15. (in Chinese))

[6] 杨晓青,张岁岐,梁宗锁,等. 水分胁迫对不同抗旱类型冬小麦幼苗叶绿素荧光参数的影响[J]. 西北植物学报,2004,24

表6 典型日14:00单因素统计量
Table 6 Single-factor statistics at 14:00 on typical days

9月16日			9月21日		
因素水平	均值	标准误差	因素水平	均值	标准误差
W_1	22.70	2.20	W_1	17.87	3.49
W_2	28.97	2.20	W_2	28.83	3.49
W_3	22.20	2.20	W_3	21.53	3.49
N_1	15.83	2.20	N_1	12.97	3.49
N_2	28.40	2.20	N_2	24.23	3.49
N_3	29.63	2.20	N_3	31.03	3.49
S_1	25.17	2.20	S_1	23.17	3.49
S_2	29.67	2.20	S_2	24.43	3.49
S_3	19.03	2.20	S_3	20.63	3.49

- (5):812-816. (YANG Xiaoqing, ZHANG Suiqi, LIANG Zongsuo, et al. Effects of water stress on chlorophyll fluorescence parameters of different drought resistance winter wheat cultivars seedlings[J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica,2004, 24(5):812-816. (in Chinese))
- [7] 卢从明,张其德,匡廷云. 水分胁迫对小麦叶绿素 a 荧光诱导动力学的影响[J]. 生物物理学报,1993,9(3):453-457. (LU Congming, ZHANG Qide, KUANG Tingyun. The effects of water stress on the chlorophyll a fluorescence induction kinetics in wheat seedlings[J]. Acta Biophysica Sinica,1993,9(3):453-457. (in Chinese))
- [8] 王可玢,许春辉,赵福洪,等. 水分胁迫对小麦旗叶某些体内叶绿素 a 荧光参数的影响[J]. 生物物理学报,1997,13(2):273-278. (WANG Kefen, XU Chunhui, ZHAO Fuhong, et al. The effects of water stress on the chlorophyll a fluorescence in wheat flag leaf. [J]. Acta Biophysica Sinica,1997,13(2):273-278. (in Chinese))
- [9] 郭培国,陈建军,郑燕玲. 氮素形态对烤烟光合特性影响的研究[J]. 植物学通报,1999,16(3):262-267. (GUO Peiguo, CHEN Jianjun, ZHENG Yanling. Study on the effects of nitrogen forms on photosynthetic characteristics in flue cured tobacco[J]. Chinese Bulletin of Botany, 1999,16(3):262-267. (in Chinese))
- [10] 董彩霞,田纪春,赵世杰. 不同形态氮素对高蛋白小麦幼苗叶绿素荧光特性的影响[J]. 西北植物学报,2002,22(2):229-234. (DONG Caixia, TIAN Jichun, ZHAO Shijie. Effects of different nitrogen forms (NH_4^+ , NO_3^-) on the chlorophyll fluorescence in seedling leaves of high protein wheat cultivars[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica,2002,22(2):229-234. (in Chinese))
- [11] 郭天财,冯伟,赵会杰,等. 两种穗型冬小麦品种旗叶光合特性及氮素调控效应[J]. 作物学报,2004,30(2):115-121. (GUO Tiancai, FENG Wei, ZHAO Huijie, et al. Photosynthetic characteristics of flag leaves and nitrogen effects in two winter wheat cultivars with different spike type[J]. Acta Agronomica Sinica,2004,30(2):115-121. (in Chinese))
- [12] 袁有波,李继新,苏贤坤,等. 节水灌溉条件下水氮耦合对烤烟生长发育及生理性状的影响[J]. 河海大学学报:自然科学版,2008,36(6):781-785 (YUAN Youbo, LI Jixin, SU Xiankun, et al. Effect of coupling of water and nitrogen on growth development and physiological indices of flue-cured tobacco under water saving irrigation conditions[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences,2008,36(6):781-785. (in Chinese))
- [13] 邓振伟,于萍,陈玲. SPSS 软件在正交试验设计、结果分析中的应用[J]. 电脑学习,2009(5):15-17. (DENG Zhenwei YU Ping, CHEN Ling. Application of SPSS software in orthogonal design and result analysis[J]. Computer Study, 2009(5):15-17. (in Chinese))