

# 限水灌溉对冬小麦灌浆期旗叶 叶绿素荧光动力学参数及产量的影响

方保停<sup>1,2</sup>, 郭天财<sup>1</sup>, 王晨阳<sup>1</sup>, 何盛莲<sup>3</sup>

(1. 河南农业大学国家小麦工程技术研究中心, 河南 郑州 450002;

2. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100094; 3. 河南省农科院小麦所, 河南 郑州 450002)

**摘要:** 在池栽、遮雨条件下, 利用植物效能分析仪研究了减少灌水次数对豫麦 50 灌浆期旗叶叶绿素荧光动力学参数及产量的影响。结果表明, 不同灌水处理小麦旗叶叶绿素含量和  $T_m$  值开花后均较高, 然后逐渐降低;  $F_v/F_o$ 、 $F_v/F_m$  在灌浆中、前期差异不大, 而在灌浆末期迅速降低。全生育期不灌水处理在灌浆期旗叶叶绿素含量、 $T_m$ 、 $F_v/F_o$  和  $F_v/F_m$  较低, 而拔节期灌 1 水处理则较高。减少灌水次数会降低籽粒产量和田间耗水量, 而提高了水分利用效率。

**关键词:** 冬小麦; 灌水; 叶绿素荧光动力学参数; 产量

**中图分类号:** S512.1<sup>+1</sup> **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2007)01-0116-04

近年来, 叶绿素荧光分析技术已广泛应用于光合作用机理、植物抗逆生理、作物增产潜力预测等方面的研究, 并取得了一定进展, 其中对小麦的研究已涉及到育种、栽培、生理生态等方面<sup>[1~6]</sup>。水分是植物生长发育的必要条件之一, 有关水分胁迫对叶绿素荧光动力学参数的影响已有一些研究报道<sup>[3~6]</sup>, 但这些多是对品种间不同水分处理荧光参数变化或不同水分处理荧光参数的日动态变化的分析, 而对不同时期荧光参数的变化研究报道较少。梁新华<sup>[6]</sup>等研究了干旱胁迫下不同春小麦品种生育后期旗叶叶绿素荧光动力学参数, 结果表明干旱胁迫下使可变荧光产量( $F_v$ )下降, 小麦旗叶光系统 II (PS II) 的潜在活性( $F_v/F_o$ )和原初光能转换效率( $F_v/F_m$ )均降低, 但不同品种对水分胁迫的反应有差异。荧光参数的日变化研究<sup>[5,7]</sup>表明, 水分调控能够调节叶绿素荧光参数, 改善光合作用, 提高光合效率。生育后期高温干旱造成旗叶水分胁迫, 导致旗叶早衰, 进而影响产量是小麦生产中普遍存在的一个问题。为此, 本文研究了在底墒充足的情况下, 减少灌水次数对弱筋品种小麦豫麦 50 灌浆期旗叶叶绿素荧光参数和产量的影响, 以为优质专用小麦高产、高效栽培提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2003~2004 年度在中国农科院洛阳旱

农基地进行, 地下水位 4~5 m, 土质为粘土, 最大持水量 27.92%。前茬休闲, 耕层土壤有机质含量 14.52 g/kg, 全氮含量 1.16 g/kg, 全磷含量 0.917 g/kg, 全钾含量 12.21 g/kg, 速效磷含量 21.24 mg/kg, 速效钾含量 107.65 mg/kg, 碱解氮含量 106.9 mg/kg。旱池长 2.0 m, 宽 1.0 m, 深 2.0 m, 下不封底, 遇雨雪推上防雨棚遮盖。播种前各处理土壤水分含量基本一致, 2 m 内土壤贮水量 673.76 mm。供试品种为弱筋小麦豫麦 50, 10 月 19 日播种, 每池播种 4 行, 每公顷基本苗 240 万。播种前每公顷施纯 N 189 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 150 kg。试验设 4 个水分水平, 即全生育期不灌水 CK(W<sub>1</sub>), 拔节期灌 1 水(W<sub>2</sub>, 60 mm), 抽穗期灌 1 水(W<sub>3</sub>, 60 mm), 拔节期+抽穗期灌 2 水(W<sub>4</sub>, 每次各 60 mm)。随机区组排列, 三次重复。其它田间管理按高产麦田进行。

### 1.2 测定项目与方法

叶绿素荧光参数测定: 抽穗后每处理随机标记 5 片旗叶, 选晴朗无风天气, 用英国产便携式植物效能分析仪, 于上午 9:00 左右, 测定叶绿素荧光动力学参数。即初始荧光( $F_o$ )、最大荧光( $F_m$ )和  $T_m$  (从初始荧光产量到最大荧光产量所需的时间), 并计算 PS II 的潜在活性( $F_v/F_o$ )和 PS II 的最大光化学效率( $F_v/F_m$ )。测定前叶片暗适应 20 min, 取其平均值进行分析。

收稿日期: 2005-10-31

基金项目: 国家粮食丰产工程(2004BA520-06); 河南省重大科技攻关项目(0522010100)

作者简介: 方保停(1976—), 男, 博士研究生, 主要从事小麦高产生理生态研究。

播种前和收获后采用烘干法测定土壤含水量,总耗水量按农田水分平衡方程计算<sup>[8]</sup>;小区实打实收计产,折算成单位面积产量,每小区取 10 株进行室内考种分析。

叶绿素含量的测定采用乙醇提取法<sup>[9]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 限水灌溉对小麦旗叶叶绿素含量的影响

叶绿素含量是叶片光合功能的重要性状之一,其含量多少将直接影响叶片的光合能力。由图 1 可知,小麦开花后,旗叶的叶绿素含量略有增加,除抽穗期灌 1 水处理(W<sub>3</sub>)的叶绿素含量以开花后 14 天最高外,其余 3 个处理叶绿素含量均以开花后 6 天达最大值,之后,随籽粒灌浆进程的推进,旗叶的不断衰老和叶绿素逐渐降解,叶绿素含量不断降低。不灌水处理(W<sub>1</sub>)从开花后 14 天开始,旗叶的叶绿素含量一直最低,从开花后 24 天开始,其余 3 个灌水处理间的差异很小,但均高于不灌水处理。表明小麦生育期间灌水能不同程度地提高灌浆中后期旗叶叶绿素含量。

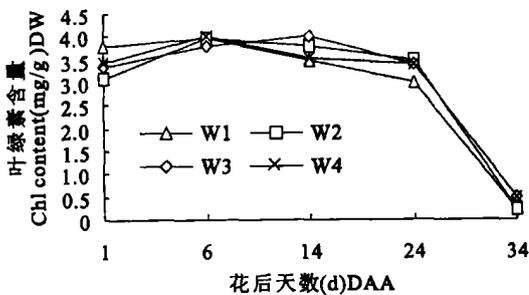


图 1 不同灌水处理灌浆期旗叶叶绿素含量差异

Fig. 1 Difference of chl content of flag leaves among different irrigation treatments

### 2.2 限水灌溉对小麦旗叶 $T_m$ 的影响

$T_m$  是从初始荧光 ( $F_0$ ) 到最大荧光 ( $F_m$ ) 所需的时间,  $T_m$  的大小反映电子传递体—质体醌(PQ)库大小,而 PQ 库大小反映从 PS II 反应中心接受电子的强弱程度,  $T_m$  值大,说明 PQ 库较大,使得 PS II 反应中心更有可能处于开放状态,从光系统 II (PS II) 向光系统 I (PS I) 转移的激发能减少。因此,旗叶 PS II 的光化学效率提高,使旗叶光合作用加强。

由图 2 可知,在开花前后除 W<sub>2</sub> 处理旗叶的  $T_m$  值缓慢增加外,其它处理的  $T_m$  值迅速升高并很快达到峰值,其中 W<sub>1</sub> 和 W<sub>3</sub> 处理达到高峰后迅速下降,而 W<sub>2</sub> 处理缓慢下降后又于花后 18 天达到

小的峰值, W<sub>4</sub> 处理由于抽穗期灌水的效应使  $T_m$  的高峰值出现在花后 11 天,并迅速下降。从花后 11 天(W<sub>4</sub> 为花后 18 天)开始,  $T_m$  值随籽粒灌浆进程的推进逐渐降低,于灌浆末期达到最低,说明随籽粒灌浆的进行,植株缓慢衰老,旗叶受到光抑制。不同灌水处理间  $T_m$  值差异明显,在开花前后及灌浆初期,以不灌水和抽穗期灌 1 水处理峰值较高,拔节期 1 水处理(W<sub>2</sub>)的峰值较低,在籽粒灌浆中后期,以全生育期不灌水处理对植株生长抑制较大,  $T_m$  值降低。

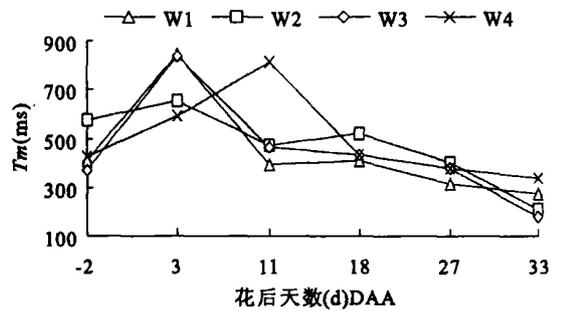


图 2 不同灌水处理的旗叶  $T_m$  差异

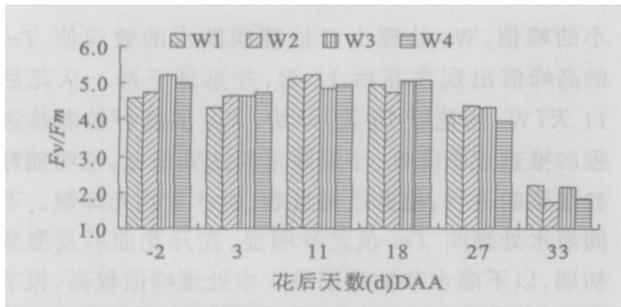
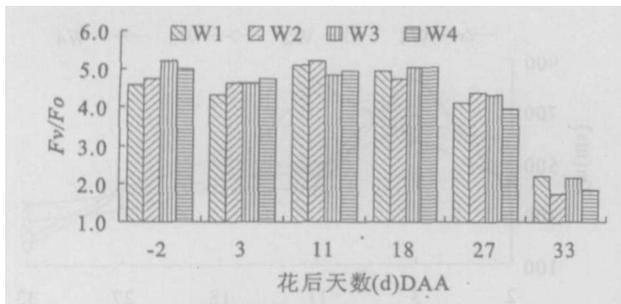
Fig. 2 Difference of  $T_m$  of flag leaves among different irrigation treatments

注: 2 表示开花前 2 天, 3 表示开花后三天, 类推。

Note: 2 indicated 2 days before anthesis and 3 indicated 3 days after anthesis (DAA), the same as follow.

### 2.3 限水灌溉对 PS II 活性的影响

可变荧光 ( $F_v$ ) 与固定荧光 ( $F_0$ ) 的比值 ( $F_v/F_0$ ), 反映了光系统 II (PSII) 的潜在活性,  $F_v$  与最大荧光 ( $F_m$ ) 的比值 ( $F_v/F_m$ ) 反映了 PSII 的最大光化学效率<sup>[10,11]</sup>。由图 3 和图 4 可以看出, 籽粒灌浆初期  $F_v/F_0$  和  $F_v/F_m$  较开花前稍有降低, 随着籽粒灌浆进程的推进, 略有升高并于灌浆中期 (花后 11 天或 18 天) 达到最大值, 之后逐渐下降并于灌浆末期达到最低值, 其中在籽粒灌浆后期  $F_v/F_0$  较  $F_v/F_m$  下降快。从图 3 和图 4 还可以看出, 豫麦 50 旗叶的  $F_v/F_m$  在开花后 27 天之前的 5 次测定中变化较小; 而  $F_v/F_0$  则从开花前 2 天开始表现为先降低、再升高, 而后又降低的变化趋势, 且不同处理之间  $F_v/F_0$  的差异比  $F_v/F_m$  大。灌浆末期的  $F_v/F_0$  和  $F_v/F_m$  值均以拔节期灌 1 水处理最低, 抽穗期灌 1 水处理最高, 全生育期灌 2 水处理则介于上述两处理之间, 表明在本试验条件下, 抽穗期灌水有利于光合色素把所捕获的光能以更高的速度和效率转化为化学能, 从而增加了为碳同化提供的能量, 提高了光合效率, 从而有利于提高产量。

图 3 不同灌水处理的旗叶  $F_v/F_m$  差异Fig. 3 Difference of  $F_v/F_m$  of flag leaves among different irrigation treatments图 4 不同灌水处理的旗叶  $F_v/F_o$  差异Fig. 4 Difference of  $F_v/F_o$  of flag leaves among different irrigation treatments

## 2.4 限水灌溉对冬小麦产量和水分利用效率的影响

从表 1 可以看出,全生育期不灌水处理显著降低产量,与拔节期灌 1 水处理产量差异不显著,与抽穗期灌 1 水处理差异达 1% 水平,与灌 2 水处理差异达 5% 显著水平。抽穗期灌 1 水处理最高,与全生育期灌 2 水、拔节期灌 1 水处理差异不显著。可

见,减少灌水会引起产量降低,但在本试验底墒充足的情况下,全生育期不灌水处理仍获得 6 951.46  $\text{kg}/\text{hm}^2$  的产量。同样在灌 1 水的条件下,选择在抽穗期灌水能够提高产量。成穗数有随灌水增加而增加趋势,全生育期不灌水处理最低,灌 2 水处理最高,且差异达 1% 显著水平,拔节期灌 1 水能提高成穗数,抽穗期灌 1 水对成穗数增效不明显。穗粒数和千粒重灌水间差异不显著,但拔节期灌 1 水明显提高穗粒数,抽穗期灌 1 水提高千粒重。可见,灌水对小麦产量具有显著的调节效应。本试验还表明,在水资源亏缺地区小麦播种前底墒充足的情况下,如果需要灌水,可选择在对产量影响的关键时期,即抽穗期进行灌水,以提高水分利用效率,节约水资源,达到高产稳产、节本增效之目的。

本年度因播种前底墒充足,因此各处理田间土壤耗水量较大(表 1)。从表 1 可以看出,全生育期不灌水处理耗水量最低,水分利用效率最高;灌 2 水处理( $W_4$ )的耗水量最大,水分利用效率较低。春季灌 1 水两个处理间相比较,以拔节期灌水处理( $W_2$ )的耗水相对较多,水分利用效率较低。这可能是由于小麦播种时充足的底墒可以满足小麦生育前中期的水分需要,推迟灌水(抽穗期)可有效减少早春田间蒸发,从而提高了水分利用效率。由此可见,在河南生态条件下,播前造好底墒,并于小麦生育期间补浇抽穗水,既可提高小麦产量,也可提高水分利用效率,是小麦高产高效栽培的重要技术措施之一。

表 1 不同灌水处理对产量和水分利用效率的影响

Table 1 Effects of different irrigation treatments on grain yield water utilization efficiency

处理 Treatments	灌水次数 Irrigation times	灌水量 Irrigation (mm)	成穗数 ( $10^4/\text{hm}^2$ ) Ears per $\text{hm}^2$	穗粒数 Kernels per ear (粒)	千粒重 1000 kernels weight (g)	产量 Yield ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	水分利用效率 WUE [ $\text{kg}/(\text{mm}\cdot\text{hm}^2)$ ]
$W_1$	0	0	501.98 <sub>cB</sub>	35.54 <sub>aA</sub>	41.33 <sub>aA</sub>	6951.46 <sub>bB</sub>	24.68
$W_2$	1	60	578.23 <sub>abAB</sub>	35.77 <sub>aA</sub>	40.15 <sub>bA</sub>	7286.60 <sub>abAB</sub>	19.78
$W_3$	1	60	541.53 <sub>bcAB</sub>	33.11 <sub>aA</sub>	43.24 <sub>aA</sub>	7675.09 <sub>aA</sub>	22.91
$W_4$	2	120	606.51 <sub>aA</sub>	33.45 <sub>aA</sub>	40.17 <sub>bA</sub>	7600.40 <sub>aAB</sub>	19.89

注:同列数值后相同小写字母或大写字母表示差异未达到 0.05 或 0.01 显著水平。

Note: The same small or capital letters in the same column means not significantly different at 0.05 or 0.01 levels, respectively.

## 3 讨论

农谚“麦收八、十、三场雨”充分体现出灌底墒水的重要性。于振文在确立高产高效灌水方案时提出,在浇底墒水的前提下,根据降水情况,浇两水以拔节水 and 挑旗水或挑旗水和灌浆水为宜<sup>[12]</sup>。贾树龙等研究表明<sup>[13]</sup>,拔节期至孕穗期水分胁迫对产量

的影响最为严重,且对有效穗数的影响是导致减产的最主要原因,该时期胁迫对穗粒数的影响在施肥情况下较为明显。因此,本试验在灌足底墒水的基础上,研究减少灌水对优质品种豫麦 50 产量及荧光参数的影响。试验结果表明,若底墒充足,全生育期不灌水处理仍获得一定的产量,且明显提高了水分利用效率;而全生育期灌 1 水能获得较高的籽粒产

量,这与马瑞昆<sup>[14]</sup>的结论一致;与灌 2 水相比,拔节期灌 1 水降低产量,而抽穗期灌 1 水增加产量,但差异均不显著,这可能是在底墒充足的情况下,灌水对产量的调控效应不显著,有关不同底墒差异下灌水对冬小麦生长及产量的影响有待于进一步探讨。

水分胁迫不仅会引发光合机构的损伤,同时也影响光合电子传递和光合磷酸化,一般干旱阻断了放 O<sub>2</sub> 复合物到光系统 II 的第二个电子供体之间的电子传递,从而导致整个电子传递活性的降低,因此,光系统 II 受到损伤必然影响光合作用的正常进行。本试验结果表明,开花后随籽粒灌浆进程的推进,植株逐渐衰老,  $T_m$ 、 $F_v/F_o$  和  $F_v/F_m$  不同程度降低;减少灌水明显影响冬小麦旗叶  $T_m$ 、 $F_v/F_o$  和  $F_v/F_m$ ,表明减少灌水会影响冬小麦叶片光系统 II PQ 库容量,同时光系统 II 原始光能转换效率及光系统 II 潜在活性均受到影响,进而影响光合作用的电子传递和 CO<sub>2</sub> 的同化过程,并影响小麦籽粒产量。

#### 参考文献:

- [1] 魏亦农,孔广超,曹连蕾.新小黑麦 1 号光合速率及叶绿素荧光特性的研究[J].麦类作物学报,2002,22(4):91-93.
- [2] 刘建福,汤青林,倪书邦,等.水分胁迫对澳洲坚果叶绿素 a 荧光参数的影响[J].华侨大学学报,2003,7(3):305-309.
- [3] 史正军,樊小林.干旱胁迫对不同基因型水稻光合特性的影响[J].干旱地区农业研究,2003,21(3):123-126.
- [4] Shangguan Z P, Shao M A, Dyckmans J. Effects of nitrogen nu-

- trition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat [J]. Plant Physiology, 2000, 156: 46-51.
- [5] 张秋英,李发东,刘孟雨,等.不同水分条件下小麦旗叶叶绿素 a 荧光参数与子粒灌浆速率[J].华北农学报,2003,18(1):26-28.
- [6] 梁新华,许兴,徐兆楨,等.干旱对春小麦叶绿素 a 荧光动力学特征及产量间关系的影响[J].干旱地区农业研究,2001,19(3):72-77.
- [7] 郭天财,方保停,王晨阳,等.水分调控对小麦旗叶叶绿素荧光动力学参数及其产量的影响[J].干旱地区农业研究,2005,23(2):6-10.
- [8] 华北平原作物水分胁迫与干旱研究课题组.作物水分胁迫与干旱研究[M].郑州:河南科学技术出版社,1991.87-102,111-129.
- [9] 邹琦.植物生理生化实验指导[M].北京:中国农业出版社,1995.
- [10] 林世育,许春辉,张其德,等.叶绿素荧光动力学植物抗性生理学、生态学和农业现代化中的应用[J].植物学通报,1992,9(1):1-16.
- [11] 张其德,卢从明,刘丽娜,等.CO<sub>2</sub>倍增对不同基因型大豆光合色素含量和荧光诱导动力学参数的影响[J].植物学报,1997,39(10):946-950.
- [12] 于振文,岳寿松,沈成国,等.冬小麦高产高效灌水方案的研究[J].山东农业科学,1994,(2):3-6.
- [13] 贾树龙,孟春香,唐玉霞.水分胁迫条件下小麦的产量反应及对养分的吸收特征[J].土壤通报,1995,26(1):6-8.
- [14] 马瑞昆,蹇家利,刘淑贞,等.冬小麦推迟春季首次灌水后不同品种的产量及水分利用效率[J].华北农学报,1995,10(4):20-25.

## Effects of limited irrigation on the kinetics parameters of chlorophyll fluorescence in filling stage and grain yield of winter wheat

FANG Bao-ting<sup>1,2</sup>, GUO Tian-cai<sup>1</sup>, WANG Chen-yang<sup>1</sup>, HE Sheng-lian<sup>3</sup>

(1. National Engineering Research Center for Wheat, Henan Agricultural University, Zhengzhou, He'nan 450002, China;

2. Wheat Institute, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, He'nan 450002, China;

3. Agricultural and Bio-technical College, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

4. Luoyang Institute of Agricultural Science, Luoyang, He'nan 471022, China)

**Abstract:** A plant efficacy analyzer was used to study the effects of reducing irrigation on the kinetics parameters of chlorophyll fluorescence of flag leaves in filling stage and grain yield of winter wheat with shielding from rainfall during its growth. The result showed that the chlorophyll content and  $T_m$  of different irrigation treatments were high in prophase and then reduced gradually in telophase of grain filling. But  $F_v/F_o$  and  $F_v/F_m$  had little difference between prophase and metaphase of grain filling and then reduced rapidly in telophase of grain filling. The chlorophyll content,  $T_m$ ,  $F_v/F_o$  and  $F_v/F_m$  without irrigation were low, however that irrigated one time in heading stage was high. Reducing irrigation decreased grain yield and water consumption, but increased water utilization efficiency.

**Keywords:** winter wheat; irrigation; chlorophyll fluorescence kinetics parameters; grain yield