

# 水分胁迫和种植方式对小麦叶绿素荧光参数 及水分利用效率的影响

巩擎柱<sup>1</sup>, 吕金印<sup>1</sup>, 徐炳成<sup>2</sup>, 李凤民<sup>2</sup>, 张海波<sup>1</sup>

(1 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100;

2 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室 中国科学院 教育部水土保持与生态环境研究中心, 陕西 杨凌 712100)

**[摘要]** 采用不同种植方式,对长武135(A,新品种)和平凉40(B,较老的品种)2个冬小麦品种在拔节到成熟期进行了水分处理,用Image-PAM调制叶绿素荧光仪测定其荧光动力学参数。结果表明,单种方式下,抗旱性较弱、根系过大的B品种在水分胁迫下,其最大荧光产量( $F_m$ )、可变荧光( $F_v$ )、PSⅡ最大光化学量子产量( $F_v/F_m$ )、PSⅡ潜在活性( $F_v/F_o$ )、非光化学猝灭( $qN$ )和光化学猝灭( $qP$ )均显著下降,而A品种除 $qN$ 外,其余指标均无明显变化;干旱胁迫及混种方式下,抗旱性较强、根系相对较小的A品种则呈相反的变化,其 $F_m$ 、 $F_v$ 、 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$ 、 $qN$ 和 $qP$ 均显著下降。分析认为,在单种方式及早作条件下,根系过大品种的个体间竞争激烈,其群体抗旱性较差,而根系相对较小的A品种个体间竞争弱或无竞争,故群体的抗旱性较强;混种方式和旱作条件下,A品种受到B品种的水分竞争压力,导致干旱胁迫加剧。不同种植方式下,A品种水分利用效率明显较高。

**[关键词]** 水分胁迫;种植方式;冬小麦;叶绿素荧光参数;水分利用效率;光合速率

**[中图分类号]** S512.1<sup>+</sup>10.1; Q945.11 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-9387(2006)05-0083-05

叶绿素荧光仪具有检测方法简便、反应灵敏的特点,可以定量对植物进行无损伤、少干扰检测,经常被用于评价植物的光合机构功能及环境胁迫对其的影响<sup>[1]</sup>。20世纪80年代后,人们在搞清植物体内叶绿素荧光动力学与光合作用关系的基础上,发现叶绿素荧光参数对各种胁迫因子十分敏感,因而越来越多地将其作为鉴定植物抗逆性的理想指标<sup>[2]</sup>。目前,叶绿素荧光分析技术应用于植物光合作用及抗逆生理、作物增产潜力预测等方面的研究已取得了一定进展,并且愈来愈多的研究<sup>[3]</sup>证明,植物体内发出的叶绿素荧光信号包含了十分丰富的光合作用信息,其特性又极易随外界环境条件的变化而变化。有关干旱条件下小麦的生理及光合等方面的研究已有不少报道<sup>[4-8]</sup>,干旱条件下的光合作用信息可以通过叶绿素荧光参数的变化来反映<sup>[9-11]</sup>。

小麦花期至成熟期所用的时间仅占全生育期的12%左右,而耗水量却几乎占到全生育期耗水量的32%,因此其需水量较大。这个时期也是粒重增加的重要时期,籽粒中的干物质约有70%来自后期的光合产物,而开花期水分胁迫会加速叶片和浅层根系

的衰亡,从而降低植株的干物质生产能力。因此,研究花期不同耐旱性的小麦品种,在水分胁迫及不同种植方式下叶绿素荧光参数的变化及光合作用的调控机理,不仅可以为小麦干旱逆境下的生理响应机制研究,而且可以为抗旱品种的选育提供一定的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与设计

试验选用长武135(A品种,抗旱性相对较强)和平凉40(B品种,抗旱性相对较弱)2个小麦品种,采用盆栽试验,比较了种植方式和水分处理对2个小麦品种叶绿素荧光参数及水分利用效率的影响。试验用盆直径28cm,高30cm。所用土壤为塿土,其田间最大持水量为28.1%,土壤含全氮0.62g/kg,全磷1.45g/kg,有机质1.47g/kg,速效氮54.6g/kg,速效磷8.9g/kg。将土壤风干碾碎并过筛,每盆装土10.0kg,播种前每盆施尿素3.6g,磷肥16.0g,硫酸钾2.1g,一次性均匀拌入盆土中。试验设正常水分处理(W,土壤含水量为田间最大持水量

**[收稿日期]** 2005-11-30

**[基金项目]** 中国科学院“百人计划”项目

**[作者简介]** 巩擎柱(1975-),男,安徽太和人,在读硕士,主要从事植物水分与抗旱生理研究。

**[通讯作者]** 吕金印(1960-),男,陕西岐山人,教授,主要从事植物水分与抗旱生理研究。E-mail: Jinyinlu@163.com

的75%)和干旱处理(D,土壤含水量为田间最大持水量的50%)2种水平。采用称重法于拔节期开始控制水分,每天补足所消耗的水分。每种水分处理方式下又设单播和混播2种植方式,其中单播指每盆单独播种A品种或B品种各16株,混播指每盆相间播种A品种和B品种各8株。每一处理组合均播5盆,播种时间为2004-10-15。

### 1.2 叶绿素荧光参数的测定

测定时期为小麦整个花期,每隔2d测定1次,测定前将盆栽小麦移入室内过夜,于次日8:00~11:00闭光测定,每处理重复2次。叶绿素荧光参数的测定采用德国Walz公司制造的Imaging-PAM调制荧光仪进行。在测定时首先给一个经过充分暗适应的叶片照射检测光,经1~2min待荧光水平稳定后得到荧光参数 $F_o$ ;接着,给一个饱和脉冲光后关闭,得到荧光参数 $F_m$ ,由此可得荧光参数 $F_v/F_m$  ( $F_v = F_m - F_o$ ),即PS II最大光化学量子产量。其次,打开可以引起叶片光合作用的作用光,待叶片光合作用达到稳态后可得到荧光参数 $F_s$ ;再给一个饱和脉冲光后关闭,得到荧光参数 $F'_m$ ,由 $F_s$ 和 $F'_m$ 计算作用光存在时PS II的实际量子效率( $(F'_m - F_s)/F'_m$ )。关闭作用光,立即打开远红光,约5s后关闭,得到荧光参数 $F'_o$ ,于是可以计算荧光的光化学猝灭系数 $qP$ 和非光化学猝灭系数 $qN$ ,其中 $qP = (F'_m - F'_o)/(F'_m - F_o)$ , $qN = 1 - (F'_m - F'_o)/(F_m - F_o)$ 。

### 1.3 叶片净光合速率的测定

利用便携式光合仪LI-6400(LiCor公司,美国)于每天9:00~11:30,测定各处理4~5片小麦旗叶的净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $C_s$ )、蒸腾速率( $T_s$ ),并计算单叶水分利用效率(WUE)。

### 1.4 数据处理

所有数据均采用SPSS软件进行统计与分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同水分处理及不同种植方式下小麦花期 $F_m$ 、 $F_o$ 和 $F_v$ 的变化

$F_o$ 指已经暗适应的光合机构全部PS II中心都开放时的荧光强度, $F_o$ 荧光主要来自天线叶绿素a。 $F_m$ 为黑暗中最大荧光,指已经暗适应的光合机构全部PS II中心都关闭时的荧光强度,这时所有的非光化学过程均最小。

由表1可知,单种方式下,B品种的 $F_m$ 值在正常供水与干旱处理间具有显著差异,而A品种的 $F_m$ 值在2种水分处理间差异不显著。说明单种方式下,品种A在水分胁迫下 $F_m$ 值的变化较小,表明A品种PS II反应中心的电子传递并没有受到明显破坏。而在混种方式下,其分析结果恰好相反,品种A的 $F_m$ 值在正常供水与干旱处理间具有显著差异,而品种B则无显著差异。说明在混种方式下,品种B的水分竞争能力较A强,从而使A品种更易受到干旱胁迫,表明新品种A(抗旱性相对较强的品种)的PS II反应中心受到了一定程度的破坏。

表1 不同水分处理及不同种植方式下小麦花期 $F_m$ 、 $F_o$ 和 $F_v$ 值的变化

Table 1 Change of  $F_m$ ,  $F_o$ ,  $F_v$  under different planting models and different water treatments

种植方式 Planting method	处理方式 Treatment	$F_m$	$F_o$	$F_v$
A	W	0.528±0.010	0.098±0.001	0.430±0.011
	D	0.480±0.015	0.098±0.001	0.382±0.015
B	W	0.516±0.007	0.097±0.001	0.419±0.006
	D	0.445±0.009**	0.099±0.001	0.346±0.009**
AB-A	W	0.483±0.010	0.081±0.005	0.402±0.014
	D	0.432±0.004**	0.095±0.003	0.338±0.004*
AB-B	W	0.481±0.236	0.085±0.004	0.396±0.022
	D	0.480±0.006	0.095±0.005	0.385±0.010

注:AB-A指混种方式下的A品种,AB-B为混种方式下的B品种;\*表示0.05水平上的差异显著性,\*\*表示0.01水平上的差异显著性;表中的数字为“平均数±标准误”(n=15)。下表同。

Note:AB-A means A which mingled with B,AB-B means B which mingle with A;\* means difference at 0.05 level,\*\* means difference at 0.01 level. Figures in table were Mean±Std. Error (n=15). The Following tables are the same.

由表1还可以看出,在正常供水与干旱处理条件下,2种小麦在不同种植方式下的 $F_o$ 值均没有明显变化,只是干旱处理下 $F_o$ 值略有上升,但差异不显著。单种方式下,品种B的 $F_o$ 值在正常供水处理

与干旱处理间具有显著性差异,而品种A差异不显著。在混种方式下,品种A的 $F_o$ 在正常水分处理与干旱处理之间具有显著性差异,而品种B则无差异。说明单种方式下,品种A在干旱处理时仍然有

较高的光化学活性,而品种 B 光化学活性则明显下降;混种方式下,品种 A 的光化学活性在水分胁迫下明显降低,品种 B 则表现出相对较高的光化学活性。 $F_v$  值在干旱胁迫下下降的原因,主要是由于小麦的 PS II 光化学反应中心受到一定的不可逆破坏或可逆失活所致。

## 2.2 不同水分处理及不同种植方式下小麦 $F_v/F_m$ 和 $F_v/F_o$ 的变化

$F_v/F_m$  是 PS II 最大光化学量子产量,其大小反映了 PS II 反应中心内原初光能的转换效率(或称最大 PS II 的光能转换效率)。非胁迫条件下该参数的变化极小,不受物种和生长条件的影响,胁迫条件下该参数明显下降<sup>[12]</sup>。 $F_v/F_o$  则反映了 PS II 的潜在活性。这是光化学反应状况评价的 2 个重要参数<sup>[13]</sup>。

表 2 不同水分处理及不同种植方式下小麦  $F_v/F_m$  和  $F_v/F_o$  的变化

Table 2 Effect of  $F_v/F_m$ ,  $F_v/F_o$  under two planting models and different water treatments

种植方式 Planting method	处理方式 Treatment	$F_v/F_m$	$F_v/F_o$
A	W	0.815±0.005	4.405±0.149
	D	0.795±0.005	3.886±0.129
B	W	0.813±0.001	4.346±0.034
	D	0.778±0.005**	3.505±0.096**
AB-A	W	0.831±0.012	4.986±0.420
	D	0.781±0.006*	3.572±0.115*
AB-B	W	0.823±0.009	4.693±0.279
	D	0.801±0.013	4.075±0.319

从表 2 可以看出,单种方式下,B 品种在正常供水处理与干旱处理时的  $F_v/F_m$  和  $F_v/F_o$  均具有极显著差异,而 A 品种则差异不显著。说明在单种和水分胁迫方式下,A 品种仍然能保持较高的光能转化效率。而在混种方式下,A 品种的  $F_v/F_m$  和  $F_v/F_o$  在正常供水处理与干旱处理间差异显著,说明在水分胁迫条件下,由于 B 品种具有较强的水分竞争能力,从而加剧了 A 品种的水分胁迫,使得 A 品种最大 PS II 的光能转换效率和 PS II 的潜在活性及 PS II 原初反应过程受到较为强烈的抑制。表明水分胁迫可使小麦叶 PS II 活性中心受损,光合作用原初反应过程受抑制,这可能与水分胁迫使 PS II 捕光色素蛋白复合体(LHC II)的含量降低有关<sup>[14]</sup>。因此,在单种和水分胁迫方式下,A 品种较 B 品种具有更高的光能转化效率和 PS II 潜在活性,这可能是抗旱性较强的品系在干旱条件下能够获得较高产量的一个重要原因。而在混种和水分胁迫方式下,B 品种的水

分竞争能力较 A 品种强,能够保持较高的光能转化效率和 PS II 潜在活性。

## 2.3 不同水分处理及不同种植方式下小麦 $qP$ 和 $qN$ 的变化

光化学系数  $qP$  反映的是 PS II 天线色素吸收的光能用于光化学电子传递的份额,要保持较高的光化学猝灭就是要使 PS II 反应中心处于“开放”状态,所以光化学猝灭又在一定程度上反映了 PS II 反应中心的开放程度。 $qP$  愈大,QA<sup>-</sup>重新氧化形成 QA 的量愈大,即 PS II 的电子传递活性越大<sup>[15-16]</sup>。WANG Ke-feng 等<sup>[17]</sup>对小麦的研究表明,水分胁迫使得  $qP$  变小,证明 PS II 氧化侧和 PS II 反应中心间的电子流动受到抑制。非光化学猝灭系数  $qN$  反映的是 PS II 天线色素吸收的光能不能用于光合电子传递而以热的形式耗散掉的光能部分。当 PS II 反应中心天线色素吸收了过量的光能时,如不能及时地耗散,将对光合机构造成失活或破坏,所以非光化学猝灭是一种自我保护机制,对光合机构起一定的保护作用。非光化学能量耗散的提高,有助于耗散过剩的激发能,缓解环境对光合作用的影响和过剩光能对 PS II 反应中心的损伤<sup>[18]</sup>。

表 3 不同水分处理及不同种植方式下小麦  $qN$  和  $qP$  的变化  
Table 3 Change of  $qN$  and  $qP$  under planting models and different water treatments

种植方式 Planting method	处理方式 Treatment	$qN$	$qP$
A	W	0.518±0.011	0.649±0.004
	D	0.489±0.003*	0.639±0.002
B	W	0.555±0.003	0.671±0.003
	D	0.522±0.009**	0.633±0.003**
AB-A	W	0.502±0.008	0.660±0.007
	D	0.478±0.011*	0.637±0.003**
AB-B	W	0.555±0.012	0.671±0.004
	D	0.517±0.005**	0.660±0.004

从表 3 可以看出,在干旱处理条件下,2 个小麦品种在各种种植方式下的  $qN$ 、 $qP$  均有不同程度的降低,说明在正常水分供应情况下,PS II 中心所接收的多余激发能以热形式耗散,对光合机构的保护能力较水分胁迫下的强。表明在干旱处理条件下,光合机构的这种保护机制受到了一定程度的损伤,水分胁迫均使 2 种植方式下 2 个品种的  $qN$  显著性下降,其中单种方式下 B 品种的  $qN$  极显著下降。混种方式下,结合表 2 和表 3 的分析,品种 B 虽然没有受到严重的水分胁迫,但这种胁迫却足以使其  $qN$  值显著下降,同时也说明品种 B 在水分胁迫下,缓解环境对光合作用的影响及过剩光能对 PS II 反应中

心损伤的能力较弱。单种方式下的 A 品种和混种方式下的 B 品种,其在水分胁迫下的  $qP$  与正常水分处理相比较没有明显变化,而混种方式下品种 A 的  $qP$  却显著下降,说明 A 品种在同样的水分竞争中胁迫加剧。

#### 2.4 不同水分处理及种植方式下小麦 $P_n, C_i, T_r$ 和 WUE 的变化

由表 4 可以看出,在正常供水和干旱处理之间,除混种方式下的 B 品种外,其他种植方式下小麦的  $P_n$  和  $C_i$  均存在极显著差异;在干旱胁迫下各处理的  $T_r$  均极显著降低;单种方式下 A 品种在水分胁迫下仍然有较高的 WUE,而 B 品种的 WUE 则没有明显变化,表明 A 品种具有相对较强的抗旱性。

WUE 的变化主要决定于光合作用  $P_n$  和  $T_r$  的变化及植物对于干旱反应的差异性。在不同水分条件下,单叶 WUE 的高低主要与  $P_n$  的高低密切相关。从表 4 可以看出,不同种植方式下,干旱处理与正常供水处理相比,2 个小麦品种单叶水平的 WUE 均有不同程度的上升,其中品种 A 的 WUE 在 2 种植方式下均极显著提高,而品种 B 的 WUE 无显著差异。说明品种 B 受水分胁迫时单叶水平 WUE 低,而品种 A 在水分胁迫下的 WUE 高。由此可见,品种 A PS II 反应中心的胁迫耐性较强,其在于旱胁迫下仍能保持相对较高的净光合速率,这可能是该品种在于旱条件下能够获得较高产量的重要原因之一。

表 4 不同水分处理及不同种植方式下小麦  $P_n, C_i, T_r$  和 WUE 的变化

Table 5 Change of the  $P_n, C_i, T_r$  and WUE on varieties of wheat under different water treatments

种植方式 Planting method	处理方式 Treatment	$P_n$	$C_i$	$T_r$	WUE
A	W	15.93±0.197	0.145±0.003	3.20±0.050	4.98±0.032
	D	13.03±0.132**	0.120±0.002**	2.27±0.143**	6.06±0.321**
B	W	14.77±0.070	0.128±0.003	2.82±0.534	5.26±0.090
	D	12.97±0.075**	0.118±0.002**	2.46±0.112**	5.43±0.268
AB-A	W	15.61±0.165	0.140±0.001	3.19±0.024	4.90±0.064
	D	12.90±0.121**	0.108±0.001**	2.41±0.043**	5.40±0.151**
AB-B	W	14.50±0.364	0.123±0.002	3.13±0.023	4.65±0.151
	D	13.60±0.249	0.119±0.001	2.88±0.042**	4.73±0.111

### 3 讨论

水分胁迫对植物光合作用的影响是多方面的,不仅影响光合电子传递、光合磷酸化等过程,同时也引发了光合机构的损伤。正常情况下,光合机构吸收的光能可能有 3 个去向:一是用于推动光化学反应,引起反应中心的电荷分离及后来的电子传递和光合磷酸化,形成用于固定、还原二氧化碳的同化力(ATP 和 NADPH);二是转变成热散失;三是以荧光形式发射出来。这 3 种途径之间存在着此消彼长的相互竞争关系,即光合作用和热耗散的变化会引起荧光发射的相应变化。因此,可以通过对荧光的探测来探究光合作用和热耗散的情况<sup>[19-20]</sup>。另据研究<sup>[21]</sup>,水分亏缺会导致光合量子效率的降低。根据以上结论,利用叶绿素荧光动力学方法可以快速、灵敏、无损伤地探测水分胁迫对植物光合作用的影响<sup>[22]</sup>。

Donald<sup>[23-24]</sup>在“互利型植株”的基础上提出了小麦和大麦理想株型的概念,并在农学界产生了很大的影响。他们认为,互利型植株具有使作物群体成功的一些特性,而不是对个体的存活有利。互利型植株

的竞争能力较弱,因而其对相邻个体的影响很小,当与其他基因型个体混合种植时,其生长往往受到抑制,个体产量较低。但当大面积单一种植,且种植密度大得足以使植株充分利用环境资源时,这些互利型植株便会在整个种植面积内获得高产。

本研究结果表明,在单种及正常水分与干旱处理条件下,由于 A 品种属于互利型植株,个体之间的水分竞争能力较弱,其  $F_m, F_v, F_v/F_m$  和  $F_v/F_n$  值无显著差异,WUE 明显提高,表现出较高的光化学活性和水分利用效率,属于节水型品种,在群体抗旱性方面相对较 B 品种强;B 品种在有限的水分条件下将消耗更多的水资源用于自身的生产(如根系、茎干、叶等),属于耗水型品种,个体间的水分竞争能力较强,故群体抗旱性差<sup>[25]</sup>。在混种及正常水分与干旱处理条件下,由于 B 品种水分竞争能力较强,故其在同样的水分竞争压力下,可使品种 A 光合作用的光保护系统和修复过程受到抑制,光合机构受到不同程度的破坏,从而影响了品种 A 的生长发育。

虽然人们对作物逆境条件下的光合作用进行了大量的研究,如非生物逆境下不同热耗散途径之间的关系<sup>[26]</sup>、外源渗透调节物质对光合机构的保护作

用<sup>[27]</sup>、高低温胁迫对光合机构的影响等<sup>[28]</sup>,但由于问题的复杂性,光抑制的分子机理现在还不是很清楚。因此,多种能量耗散的分子机理及光合机构的光破坏防御仍将是今后研究的重点。

#### [参考文献]

- [1] Van kooten O, Snel J F H. The use of chlorophyll nomenclature in plant stress physiology[J]. *Photosynthesis Res.* 1990, 25: 147-150.
- [2] Zhao Hui-jie, Zou Qi, Yu Zheng-wen, et al. Chlorophyll fluorescence analysis technique and its application to photosynthesis of plant[J]. *Journal of Hennan Agricultural University*, 2000, 34(3): 248-251.
- [3] Chan Fen-jian, Li Hu-xiu, Mao Xun-jia, et al. Application of chlorophyll fluorescence dynamics to plant physiology in adverse circumstance[J]. *Economic Forest Researches*, 2002, 20(4): 14-18.
- [4] Cai Zhi-quan, Cao Kun-fang, Feng Yu-long, et al. Acclimation of foliar photosynthetic apparatus of three tropical woody species to growth irradiance[J]. *Chin J Appl Ecol*, 2003, 14(4): 493-496.
- [5] Deng Xin, Hu Zhi-ang, Wang Hong-xing, et al. Effects of dehydration and rehydration on photosynthesis of detached leaves of the resurrection plant *Boea hygrometrica*[J]. *Acta Bot Sin*, 2000, 42(3): 321-323.
- [6] Feng Jian-chan, Hu Xiu-li, Mao Xun-jia, et al. Application of chlorophyll fluorescence dynamics to plant physiology in adverse circumstance[J]. *Econ For Res*, 2002, 20(4): 14-18.
- [7] Guo Tian-cai, Feng Wei, Zhao Hui-jie, et al. Effects of water and nitrogen application on photosynthetic characteristics and yield of winter wheat in the late growing and developing period[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 2003, 23(9): 1512-1517.
- [8] Guo Xiao-rong, Cao Kun-fang, Xu Zai-fu. Response of photosynthesis and anti-oxidative enzymes in seedlings of three tropical forest tree species to different light environments[J]. *Chin J Appl Ecol*, 2004, 15(3): 377-381.
- [9] Krause G H, Weis F. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis[J]. *The basics Ann Rev Plant Mol Biol*, 1991, 42: 313-349.
- [10] Wu Chang-ai, Meng Qing-wei, Zou Qi, et al. Comparative study on the photo-oxidative response in different wheat cultivar leaves[J]. *Acta Agron Sin*, 2003, 29(3): 339-344.
- [11] Xu Da-quan, Zhang Yu-quan. Photo-inhibition of plant photosynthesis[J]. *Plant Physiolcomm*, 1992, 28(4): 237-243.
- [12] 许大全, 张玉全. 植物光合作用的光抑制[J]. *植物生理学通讯*, 1992, 28(4): 237-243.
- [13] 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.
- [14] Lu Cong-ming, Zhang Qi-de, Kuang Ting-yun, et al. The effects of water stress on distribution of excitation energy and efficiency of primary conversion of light energy of photo system II in wheat chloroplasts[J]. *Acta Biophysica Sinica*, 1995, 11(1): 82-86.
- [15] Van kooten O, Snel J F H. The use of chlorophyll nomenclature in plant stress physiology[J]. *Photosynth Res*, 1990, 25: 147-150.
- [16] Gentyb, Briantaisjim, Bakernr. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence[J]. *Biochem Biophys Acta*, 1989, 900: 87-92.
- [17] Wang Ke-feng, Xu Chun-hui, Zhao Fu-hong, et al. Effects of water stress on chlorophyll a fluorescence in wheat flag leaves[J]. *Acta Biophysica Sinica*, 1997, 132: 273-278.
- [18] Zhang Lei-ming, Shangguan Zhou-ping, Mao Ming-ce, et al. Effects of long-term application of nitrogen fertilizer on leaf chlorophyll fluorescence of up land winter wheat[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(5): 695-698.
- [19] Bradbury M, Baker N R. A quantitative determination of photochemical and non-photochemical quenching during the slow phase of chlorophyll fluorescence induction curve of bean leaves[J]. *Biochen Biophys Acta*, 1984, 765: 275-281.
- [20] Peterson R B, Sivak M N, Walker D A. Relationship between steady-state fluorescence yield and photosynthetic efficiency in spinach leaf tissue[J]. *Plant Physiol*, 1998, 88: 158-163.
- [21] Zhang Qiu-ying, Li Fa-dong, Liu Men-yu, et al. Chlorophyll a fluorescence parameters of flag leaf of the wheat and seed grouting under different water treatments[J]. *Acta Agriculturae Boreall-Sinica*, 2003, 18(1): 26-28.
- [22] Lu Cong-ming, Zhang Qi-de, Kuang Ting-yun, et al. Effects of water stress on chlorophyll fluorescence induction kinetics of wheat[J]. *Acta Biophysica Sinica*, 1993, 9(3): 453-457.
- [23] Donald C M. Competitive plants, communal plants and yield in wheat crops[C]//EVANSLT PEACOCKWJ. *Wheat science-today and tomorrow*. Cambridge University Press, 1981: 223-247.
- [24] Donald C M. The convergent evolution of annual seed crops in agriculture[J]. *Advances in Agronomy*, 1983, 36: 97-143.
- [25] 党承林. 植物群落的冗余结构——对生态系统稳定性的一种解释[J]. *生态学报*, 1999, 18(6): 665-671.
- [26] 许大全. 光系统 II 反应中心的可逆失活及其生理意义[J]. *植物生理学通讯*, 1999, 35: 273-276.
- [27] 许大全. 植物光合机构的光破坏防御[J]. *科学*, 2002, 54(1): 16-20.
- [28] 赵博生, 衣艳君, 刘家尧. 外源甜菜碱对干旱/盐胁迫下的小麦幼苗生长和光合功能的改善[J]. *植物学通报*, 2001, 18(3): 378-380.

(下转第 92 页)

tance achieved with 4—7 d delayed latent period and 82.9% suppression of average severity in tobacco plants treated with a solution of chito-oligosaccharides at a concentration of 50  $\mu\text{g}/\text{mL}$ . In ELISA-DSM assay chito-oligosaccharides were shown to be able to inhibit multiplication of viruses in infected plants. The OD value in inoculated leaves (10 d after inoculation) from chito-oligosaccharides treated plants was 0.400, which was equal to 23.0% of that from untreated control plants, and 0.190 in fresh leaves from treated plants, or 38.7% of that from untreated control plants on the same conditions. In local lesion assay the number of local lesions per half-leaf of *N. glutinosa* infected by TMV inoculum from detached leaves of tobacco treated with chito-oligosaccharides, was largely reduced. For example, in the assay with detached inoculated leaves (10 d after inoculation), the average number of local lesions was 9.25 in chito-oligosaccharides treatment, or 19.5% of that in untreated control, and in the assay with fresh leaves only 0.63 local lesions produced in chito-oligosaccharides treatment, equal to 25.0% of that in untreated control. The results obtained from two assays revealed that treatment with chito-oligosaccharides effectively inhibited TMV multiplication in tobacco. Besides, it was found that molecular weight of compounds did not influence the inhibitory effect contrast to treatments with chito-oligosaccharides (low molecular weight) or with chitosan (high molecular weight).

**Key words:** tobacco; chito-oligosaccharide; chitosan; systemic induced resistance; TMV; virus multiplication

(上接第 87 页)

Abstract ID: 1671-9387(2006)05-0083-EA

## Effect of water stress on chlorophyll fluorescence parameters and WUE of wheat under different planting models

GONG Qing-zhu<sup>1</sup>, Lü Jin-yin<sup>1</sup>, XU Bing-cheng<sup>2</sup>, LI Feng-min<sup>2</sup>, ZHANG Hai-bo<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> College of Life Science, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

<sup>2</sup> State Key Laboratory of Soil Erosion and Dry-land Farming, Institute of Soil Erosion and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The chlorophyll fluorescence kinetics parameters of two varieties of wheat (A, a new variety; and B, an old variety) that were dealt with water stress in single seeding and mixed seeding were measured in its anthesis by Imaging-PAM chlorophyll fluorometer in this study. The result showed that under water stress, the  $F_m$ ,  $F_v$ ,  $F_v/F_m$ ,  $F_v/F_o$ ,  $qN$  and  $qP$  of the B cultivars with weak drought-resistance and relative excessive roots were decreased dramatically, but there were no obvious changes in those parameters of A under the condition of single planting model. But under the condition of mixed planting model the parameters of cultivars with strong resistance and lesser roots decreased obviously contrary to B. The WUE (water utilization efficiency) of A increased obviously under two planting models. The result indicates that with water as dominant factor in the dry land, under the single planting model, the cultivar with excessive roots faces the drastic competition of inter-individual, so the drought-resistance of colony is relatively weak, whereas the cultivar with lesser roots have a relatively weak or even no competition of inter-individual and the drought-resistance of colony is strong. The stress is severe when the cultivar with lesser roots suffers the water competitive stress from the cultivar with excessive roots under mixed planting model. Therefore, it is our aim to choose and cultivate the cultivar with lesser roots and higher WUE in the future.

**Key words:** water stress; planting model winter wheat; chlorophyll Fluorescence; water utilization efficiency (WUE); photosynthesis