

# 干旱胁迫对不同品种谷子光合性能及叶绿素荧光动力学参数的影响

时丽冉<sup>1</sup>, 孙立永<sup>2</sup>, 李明哲<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>衡水学院生命科学系, 河北 衡水

<sup>2</sup>河北省协同创新中心, 河北 石家庄

<sup>3</sup>河北省农林科学院旱作农业研究所, 河北 衡水

Email: slr701212@163.com, \*13633185632@163.com

收稿日期: 2020年11月21日; 录用日期: 2020年12月7日; 发布日期: 2020年12月14日

## 摘要

为研究干旱对谷子叶绿素荧光参数的影响, 以4个品种谷子幼苗为研究材料, 采用盆栽控水的方法进行干旱胁迫, 处理30天后测定谷子幼苗的叶绿素含量、鲜重、叶绿素荧光动力学参数。结果表明, 干旱处理下谷子的鲜重、叶绿素含量均下降。初始荧光( $F_0$ )和非光化学淬灭系数(NPQ\_Lss)表现为上升, 而最大荧光( $F_m$ )、可变荧光 $F_v$ 、光系统II (PSII)潜在光化学效率( $F_v/F_0$ )、PS II最大光化学效率( $F_v/F_m$ )、以吸收光能为基础的光合性能指数 $PI_{ABS}$ 则表现为降低。4个品种变化幅度不同, 抗旱性强的品种NPQ\_Lss升高幅度大, 其它指标为抗旱性弱的品种变化幅度大。4个品种的抗旱性顺序为: 衡谷13号 > 冀谷19 > 豫谷18 > 衡谷18号。

## 关键词

谷子, 干旱胁迫, 干旱敏感系数, 叶绿素荧光参数

# Effects of Drought Stress on Chlorophyll Fluorescence Parameters of Different Varieties of Millet

Liran Shi<sup>1</sup>, Liyong Sun<sup>2</sup>, Mingzhe Li<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Life Science, Hengshui University, Hengshui Hebei

<sup>2</sup>Collaborative Innovation Center of Hebei Province, Shijiazhuang Hebei

\*通讯作者。

文章引用: 时丽冉, 孙立永, 李明哲. 干旱胁迫对不同品种谷子光合性能及叶绿素荧光动力学参数的影响[J]. 农业科学, 2020, 10(12): 1014-1019. DOI: 10.12677/hjas.2020.1012153

<sup>3</sup>Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Hengshui Hebei  
Email: slr701212@163.com, \*13633185632@163.com

Received: Nov. 21<sup>st</sup>, 2020; accepted: Dec. 7<sup>th</sup>, 2020; published: Dec. 14<sup>th</sup>, 2020

## Abstract

In order to study the effects of drought on the chlorophyll fluorescence parameters of millet, four varieties of millet seedlings were used as research materials. The drought stress was applied by potted water control method. The fresh weight, chlorophyll content and chlorophyll fluorescence kinetic parameters were determined after 30 days of treatment. The results showed that the fresh weight and chlorophyll content of millet decreased under drought treatment. The initial fluorescence ( $F_0$ ) and non-photochemical quenching coefficient (NPQ\_Lss) showed an increase, while the maximum fluorescence ( $F_m$ ), variable fluorescence ( $F_v$ ), photosystem II (PSII) potential photochemical efficiency ( $F_v/F_0$ ), PSII maximum photochemical efficiency ( $F_v/F_m$ ), the photosynthetic performance index PIABS based on absorbed light energy, showed a decrease. The variation range of the four varieties was different. The NPQ\_Lss of the drought-tolerant varieties increased greatly, and the other indicators showed a large variation of the varieties with weak drought resistance. The order of drought resistance of the four varieties is: Henggu 13 > Jigu 19 > Yugu 18 > Henggu 18.

## Keywords

Millet, Drought Stress, Drought Sensitivity Coefficient, Chlorophyll Fluorescence Parameters

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

干旱是造成作物减产的主要环境因子, 全球干旱、半干旱地区约占土地总面积的 36%, 占耕地面积的 43% [1]。据统计, 我国每年平均干旱受灾面积达  $2 \times 10^7 \text{ hm}^2$ , 损失粮食占因灾减产量的 50% [2]。深入探究农作物对于干旱的生理响应规律以及内在抗旱原理, 科学选育适合半干旱地区种植的优良农作物品种, 对于水资源的合理利用和农业的可持续发展有着重要的意义。

谷子(*Setaria italica* L.)是起源于中国的传统粮食作物, 具有营养丰富、耐旱, 耐贫瘠的特质和潜力[3]。我国谷子栽培面积最大, 产量最高, 约占世界谷子 90%以上。谷子因具有适应干旱、半干旱地区气候和生态环境的机制, 被认为是一种极具研究价值的抗旱种质[4]。近年来, 研究干旱对谷子影响的报道主要集中在农艺形状、生理生化指标、光合生理、抗旱性鉴定指标的筛选等方面[5]-[10], 在光合生理的研究领域也主要集中在光合速率、气孔导度、蒸腾速率等方面的研究, 而缺少叶绿素荧光参数与谷子抗旱之间关系的报道, 因此, 本研究通过分析不同谷子品种在缺水状态下叶绿素诱导荧光动力学主要参数的变化, 旨在探讨水分胁迫对谷子光合作用光反应阶段的影响, 为干旱半干旱地区谷子育种和抗旱机理研究提供依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 实验材料

供试品种为“衡谷 13 号”、“衡谷 18 号”、“豫谷 18”、“冀谷 19”，均为粮用常规品种，适宜在河北、山东、河南两作区夏播及丘陵山地春播种植。其中“衡谷 13 号”、“衡谷 18 号”为河北省农林科学院旱作所育成品种，“豫谷 18”为安阳市农科院培育品种，“冀谷 19”为河北省农林科学院谷子研究所育成品种。

### 2.2. 实验方法

将种子均匀种植在装满湿润蛭石的塑料盆内(高 30 厘米,直径 25 厘米),待幼苗长至 1 叶 1 心时间苗,每盆保留 20 株,均匀分布,苗距 3~5 cm, 1/4 Hoagland 营养液定量浇灌。5 叶 1 心时开始控水处理,对照浇灌 1/2 Hoagland 营养液,为保证水分的供应,每 5 天每盆浇灌 1/2 Hoagland 营养液 500 ml,干旱处理水分减半,每 5 天浇灌完全 Hoagland 营养液 250 ml,以保证营养成分的一致。每个处理 3 次重复。培养条件为温度 20℃~25℃,自然光照。30 天后,干旱处理与对照生长出现明显差异,进行指标测定。

### 2.3. 指标测定方法

用 SPAD-502 (日本)叶绿素测定仪测定谷子倒 2 叶片的叶绿素含量,每个叶片取上、中、下 3 个不同部位(避开叶脉),取平均值,每个处理测定 10 个叶片。

用 FP100 (捷克)手持式叶绿素荧光仪测量倒 2 叶片快速叶绿素荧光诱导动力学相关参数,测定前暗处理叶片中间部位 15 分钟(避开叶脉),每个处理测定 10 株。

将 20 棵谷子苗用电子天平称量鲜重,计算干旱敏感系数。

干旱敏感系数 = (对照鲜重 - 干旱处理鲜重)/对照鲜重。

利用 Excel 2013 处理数据并绘制相应图表,用 SPSS19.0 软件进行差异显著性分析。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 干旱胁迫对不同品种谷子叶绿素含量、鲜重和干旱敏感系数的影响

干旱缺水首先造成植物叶绿素合成受阻、生长减缓。表 1 表明,干旱处理 30 天后谷子叶绿素含量降低,衡谷 13 号降低幅度最小,为 6.2%,衡谷 18 号最高,降低幅度达 18.2%。分亏缺导致 4 个品种谷子鲜重降低均达到了显著水平,衡谷 13 号降低幅度最小。根据鲜重计算出的干旱敏感系数表明,衡谷 13 号对干旱最不敏感,衡谷 18 号最敏感,干旱敏感系数最高,冀谷 19 和豫谷 18 处于中间水平。

**Table 1.** Comparison of chlorophyll content, fresh weight and drought sensitivity coefficient of different varieties of millet under drought stress

**表 1.** 干旱胁迫下不同品种谷子叶绿素含量、鲜重、干旱敏感系数的比较

品种	叶绿素含量(SPAD)			鲜重(g)			干旱敏感系数
	对照	干旱处理	变化率(%)	对照	干旱处理	变化率(%)	
衡谷 13 号	30.7 ± 1.21a	28.8 ± 0.97ab	-6.2	2.31 ± 0.107a	1.74 ± 0.102b	-24.38	0.244
衡谷 18 号	27.0 ± 1.75a	22.1 ± 1.05b	-18.2	2.434 ± 0.218a	1.09 ± 0.889b	-55.05	0.550
冀谷 19	29.3 ± 2.30a	26.5 ± 1.92b	-9.6	1.85 ± 0.086a	1.26 ± 0.326b	-32.13	0.321
豫谷 18	29.4 ± 1.46a	25.56 ± 0.86b	-13.1	2.10 ± 0.147a	1.36 ± 0.065b	-35.33	0.354

注: 同一行数据后的不同小写字母表示品种内处理间差异在 0.05 水平上显著, 下同。

### 3.2. 干旱胁迫对不同品种谷子基础荧光参数的影响

$F_o$  为叶片暗适应后的初始荧光, 是 PSII 反应中心处于完全开放时的荧光产量, 代表不参与 PSII 光化学反应的光能辐射部分。 $F_m$  为最大荧光, 是 PSII 反应中心完全关闭时的荧光产量, 它能反映 PSII 电子传递链的状态[11]。 $F_v$  为可变荧光, 与 PSII 原初电子受体的氧化还原状态有关[12]。干旱处理下谷子荧光参数  $F_o$ 、 $F_m$  和  $F_v$  的变化如表 2 所示。4 个品种的谷子初始荧光  $F_o$  均表现为增大, 衡谷 18 号增加最多, 比对照增加了 15.45%, 衡谷 13 号增加了 4.98%, 冀谷 19 和豫谷 18 分别增加了 6.23%、10.07%。最大荧光  $F_m$  均表现为下降, 衡谷 18 号下降了 6.11%, 其它 3 个品种下降幅度没有达到显著水平。可变荧光  $F_v$  均表现为降低, 4 个品种降低幅度分别为: 衡谷 13 号 4.80%、衡谷 18 号 11.54%、冀谷 19 6.55%、豫谷 18 7.15%。

**Table 2.** Effects of drought stress on basic fluorescence parameters of different millet varieties

**表 2.** 干旱胁迫对不同品种谷子基础荧光参数的影响

品种	$F_o$			$F_m$			$F_v$		
	对照	干旱处理	变化率(%)	对照	干旱处理	变化率(%)	对照	干旱处理	变化率(%)
衡谷 13 号	7444 ± 205b	7815 ± 387a	4.98	38681 ± 590a	37552 ± 337a	-2.92	31237 ± 709a	29737 ± 616b	-4.80
衡谷 18 号	7873 ± 321b	9089 ± 302a	15.45	39066 ± 705a	36681 ± 502 b	-6.11	31193 ± 882a	27592 ± 557b	-11.54
冀谷 19	7733 ± 253b	8215 ± 294a	6.23	36905 ± 853a	35476 ± 390a	-3.87	29172 ± 573a	27261 ± 389b	-6.55
豫谷 18	7858 ± 309b	8649 ± 326a	10.07	35928 ± 515a	34713 ± 448a	-3.38	28070 ± 661a	26064 ± 538b	-7.15

### 3.3. 干旱胁迫下不同品种谷子光化学性能指标的变化

从表 3 可以看出, PSII 反应中心最大光能转换率  $F_v/F_m$ 、PSII 反应中心潜在活性指标  $F_v/F_o$ 、以及以吸收光能为基础的光合性能指数  $PI_{ABS}$  均表现为降低, 其中  $F_v/F_m$  除衡谷 18 号外变化均不显著, 降低最多的衡谷 18 号也只有 5.76%。 $F_v/F_o$  降低较为明显, 降低幅度从大到小依次为衡谷 18 号(23.37%)、衡谷 13 号降低最少(9.32%),  $PI_{ABS}$  的降低也达到了显著水平, 降低幅度分别为: 衡谷 18 号(20.56%)、豫谷 18 (16.16%)、冀谷 19 (12.77%)、衡谷 13 号(7.47%)。

**Table 3.** Effects of drought stress on the photochemical performance indexes of different millet varieties

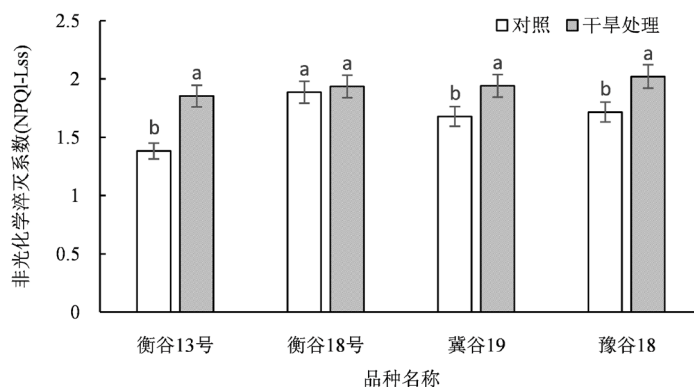
**表 3.** 干旱胁迫对不同品种谷子光化学性能指标的影响

品种	$F_v/F_m$			$F_v/F_o$			$PI_{ABS}$		
	对照	干旱处理	变化率(%)	对照	干旱处理	变化率(%)	对照	干旱处理	变化率(%)
衡谷 13 号	0.808 ± 0.036a	0.792 ± 0.019a	-1.98	4.196 ± 0.133a	3.805 ± 0.226b	-9.32	1.794 ± 0.056a	1.660 ± 0.029b	-7.47
衡谷 18 号	0.798 ± 0.028a	0.752 ± 0.025b	-5.76	3.962 ± 0.106 a	3.036 ± 0.190b	-23.37	1.73 ± 0.076a	1.379 ± 0.035b	-20.56
冀谷 19	0.790 ± 0.033a	0.768 ± 0.047a	-2.78	3.772 ± 0.062a	3.318 ± 0.251b	-12.04	1.785 ± 0.030a	1.557 ± 0.051b	-12.77
豫谷 18	0.781 ± 0.041a	0.751 ± 0.039a	-3.84	3.572 ± 0.177a	3.014 ± 0.155b	-15.62	1.634 ± 0.047a	1.370 ± 0.029b	-16.16

### 3.4. 干旱胁迫下不同品种谷子非光化学淬灭(NPQ)的变化

非光化学淬灭(NPQ)反映了 PSII 反应中心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,其热耗散能力可用非光化学淬灭系数(NPQ<sub>LSS</sub>)表示[13]。干旱胁迫下,4个品种谷子NPQ<sub>LSS</sub>均显著增大(见图1),说明在干旱胁迫下,谷子可通过增加热耗散避免过剩光能引起的光合器官损伤。4个品种中衡谷13号NPQ<sub>LSS</sub>增加幅度最大,比对照提高了34.15%,衡谷18号增加最少,只有2.65%。



**Figure 1.** The effect of drought stress on non-photochemical quenching of different millet varieties

**图 1.** 干旱胁迫对不同品种谷子非光化学淬灭的影响

#### 4. 讨论

水分亏缺对植物光合作用的影响是多方面的,首先是原初反应阶段PSII的电子传递,严重时会引起光合机构的损伤。利用叶绿素荧光动力学方法可以快速、灵敏、无损伤探测水分胁迫对植物光合作用的影响[14]。

本实验通过30天控水处理使谷子受到干旱胁迫,4个品种的谷子叶绿素含量下降、鲜重降低,从干旱敏感系数分析,4个品种抗旱性有明显差异,其中衡谷13号敏感系数最低,为抗旱品种。

叶绿素含量的降低导致光能的吸收和传递效率降低,荧光强度也随之发生变化。叶绿素荧光主要是由PSII中的色素分子在原初反应阶段产生。4个品种谷子叶绿素荧光参数的变化中, $F_o$ 表现为升高, $F_m$ 表现为降低但变化不显著,因此造成 $F_v$ 的下降。这一变化规律与前人对糜子[15]、玉米[16]的研究一致, $F_o$ 的增加可能是植物叶片PSII反应中心出现可逆的失活或出现不易逆转的破坏,也可能是植物叶片类囊体膜受到损伤[11]。

反映光化学性能指标的 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$ 、PIABS 3个参数中, $F_v/F_m$ 虽然有所下降,但变化不如 $F_v/F_o$ 和PIABS显著,虽然 $F_v/F_m$ 是目前使用频率最高的一个叶绿素荧光参数,但本实验表明,在干旱缺水试验中 $F_v/F_m$ 并不是一个理想的评价指标。本实验中 $F_v/F_o$ 和PIABS在干旱胁迫后变化显著,尤其是PIABS对干旱胁迫更敏感,不仅反映PSII反应中心对吸收光能的捕获效率,还反映了PSII有活性反应中心的数目以及电子在PSII和PSI之间传递的能力[12]。前人对小麦[17]、桑树[18]的研究也证明了这一观点。

非光化学淬灭(NPQ)是一种自我保护机制,PSII反应中心通过提高非辐射性热耗散消耗PSII吸收的不能利用的过剩光能,从而保护PSII反应中心免受破坏或损伤[19]。关于非光化学淬灭与抗旱性强弱之间的关系有不同的观点,韩瑞宏对苜蓿的研究[20]和杨小青对小麦的研究[21]认为抗旱性强的品种非光化学淬灭升高幅度大,PSII反应中心的开放程度高,电子传递与热耗散能力比抗旱性弱的品种强,避免了过剩光能对光合机构造成的损伤。而有些研究者[15][16][22]则持相反观点。这可能和物种有关,也可能是因为干旱胁迫强度与时间不同造成的。我们的实验表明抗旱性越强的谷子品种NPQ增加越多。

综上所述,抗旱性不同的谷子在受到水分胁迫后 PSII 的活性降低,叶绿素荧光参数  $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v$ 、 $F_v/F_m$ 、 $F_v/F_o$ 、PIABS 均受到影响,抗旱性强的品种变化幅度小,而非光化学淬灭(NPQ)则表现为抗旱性强的品种变化幅度最大。其中  $F_o$ 、 $F_m$ 、 $F_v$ 、 $F_v/F_o$ 、PIABS、NPQ 的变化规律与谷子的抗旱性存在着密切的关系,为谷子抗旱节水机制研究提供了依据。

## 基金项目

国家谷子高粱产业技术体系(CARS-06-13.5-B3);河北省种植业农艺节水关键技术研发与技术包集成(18227004D)。

## 参考文献

- [1] 赵璞,李梦,及增发,等.植物干旱响应生理对策研究进展[J].中国农学通报,2006,32(15):86-92.
- [2] 刘佳,仪慧兰,郭二虎,等.不同时期谷子对干旱胁迫的响应[J].山西大学学报(自然科学版),2015,38(1):160-164.
- [3] 刁现民.中国谷子产业与产业技术体系[M].北京:中国农业科学技术出版社,2011:20-30.
- [4] 田伯红,张立新,宋淑贤.谷子新品种在旱作农业中的地位[J].中国种业,2000(4):17-18.
- [5] 王永丽,王珏,杜金哲,等.不同时期干旱胁迫对谷子农艺性状的影响[J].华北农学报,2012,27(6):125-129.
- [6] 张文英,智慧,柳斌辉.谷子全生育期抗旱性鉴定及抗旱指标筛选[J].植物遗传资源学报,2010,11(5):560-565.
- [7] 孟庆立,关周博,冯佰利,等.谷子抗旱相关性状的主成分与模糊聚类分析[J].中国农业科学,2009,42(8):2667-2675.
- [8] 张锦鹏,王茅雁,白云凤,等.谷子品种抗旱性的苗期快速鉴定[J].植物遗传资源学报,2005,6(1):59-62.
- [9] 王燕,吴桂丽,牛瑞明,等.谷子种子萌发对模拟干旱胁迫的响应及其耐旱性综合评价[J].种子,2013,32(5):4-7.
- [10] 张文英,智慧,刁现民,等.干旱胁迫对谷子孕穗期光合特性的影响[J].河北农业科学,2011,15(6):7-11.
- [11] 陈建明,俞晓平,程家安.叶绿素荧光动力学及其在植物抗逆生理研究中的应用[J].浙江农业学报,2006,18(1):51-55.
- [12] 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.
- [13] 杨玉珍,陈刚,彭方仁.干旱胁迫对不同种源香椿主要叶绿素荧光参数的影响[J].东北林业大学学报,2010,38(7):49-51.
- [14] 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.
- [15] 冯晓敏,张永清.水分胁迫对糜子植株苗期生长和光合特性的影响[J].作物学报,2012,38(8):1513-1521.
- [16] 何文铸,张彪,王培,等.利用叶绿素含量及荧光动力学参数评价青贮玉米耐旱关键指标研究[J].干旱地区农业研究,2013,31(3):31-38.
- [17] 原佳乐,马超,冯雅岚,等.不同抗旱性小麦快速叶绿素荧光诱导动力学曲线对干旱及复水的响应[J].植物生理学报,2018,54(6):1119-1129.
- [18] 滕志远,张会慧,代欣,等.干旱对桑树叶片光系统 II 活性的影响[J].浙江农业学报,2016,2(1):1-8.
- [19] 史胜青,袁玉欣,杨敏生,等.水分胁迫对 4 种苗木叶绿素荧光的光化学淬灭和非光化学淬灭的影响[J].林业科学,2004,40(1):168-173.
- [20] 韩瑞宏,卢欣石,高桂娟,等.紫花苜蓿(Medicagosativa)对干旱胁迫的光合生理响应[J].生态学报,2007,27(12):5229-5237.
- [21] 杨晓青,张岁歧,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(5):812-816.
- [22] 刘志梅,蒋文伟,杨广远,等.干旱胁迫对 3 种金银花叶绿素荧光参数的影响[J].浙江农林大学学报,2012,29(4):533-539.