

# 地面覆盖对苹果生育后期叶片叶绿素 荧光动力学参数的影响

张 坤, 孙文泰, 马 明

(甘肃省农业科学院林果花卉研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 在黄土高原陇东旱地果园, 比较了不同覆盖模式对苹果生育后期叶片叶绿素荧光动力学参数的影响, 结果表明: 叶绿素荧光诱导动力学曲线中的J相(2 ms)的相对可变荧光显著上升, 在I相(30 ms)荧光强度趋于一致; 不同处理在300  $\mu$ s左右的特征位点处, 叶绿素荧光产量较清耕显著降低, 出现明显K点; CK的 $\Delta W_{oj}$ 、 $\Delta W_{ok}$ 值分别在K、L位点升高。综合分析认为, 果园覆沙延长叶片在生育后期维持高水平的光合性能或延迟叶片衰老时间, 覆膜与覆草处理叶片光合性能水平比清耕高, 但显著低于覆沙处理。

**关键词:** 旱地苹果园; 地面覆盖; 生育后期; 叶绿素荧光动力学参数

**中图分类号:** S661.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2016)07-0007-05

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-1463.2016.07.002

## Effect of Ground-cover on Chlorophyll Fluorescence Kinetics of Apple Leaves at Late Growth Stage

ZHANG Kun, SUN Wentai, MA Ming

(Institute of Fruit and Floriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** The soil water thermal environment would different under different ground covers, to improve soil water thermal environment may influence the normal leaf senescence which delay nutrient re-flux, and reduce fruit quality. This study conducted in LongDong dry land orchards of the loess plateau, the chlorophyll fluorescence kinetics parameters of leaves under different covers are compared to support improvement and selection of ground-cover technology. The result shows that the relative variable fluorescence at J phase(2 ms) increased significantly, and at I phase (30 ms) which became consistent. At 300  $\mu$ s sites, point of K appeared clearly and chlorophyll fluorescence yield decreased than CK significantly of the different treatments. The  $\Delta W_{oj}$ ,  $\Delta W_{ok}$  values of CK are higher in K and L sites than other treatments. So, sand-cover treatment delayed leaf senescence or maintained the highest photosynthetic performance level during late growth stage, Although the photosynthetic performance level of grass-cover and film-mulch treatments higher than CK, but they are much lower than sand-cover treatment.

**Key words:** Dry land orchard; Ground-cover; Late growth stage; Chlorophyll fluorescence kinetics parameters

黄土高原陇东地区是苹果生产优势生态区, 但境内 80%以上果园无灌溉条件, 季节性干旱频发成为果树生长和果品生产的主要限制因素<sup>[1]</sup>。在陇东旱地果园, 自古有采用地面覆盖保墒措施进行抗旱栽培的传统, 如覆沙、覆秸秆等。不同地面覆盖对土壤水热环境影响较大, 土壤水热环境可影响叶片正常衰老、养分回流、果实品质。2007年“垄膜保墒集雨, 小沟集水”技术研发成功, 并得到大面积应用, 至2014年累计推广面积超过33万  $\text{hm}^2$ , 显示出良好的保墒集雨效果, 有效解

决陇东旱地果园的季节性干旱问题<sup>[2]</sup>。我们系统地研究“垄膜保墒集雨, 小沟集水”技术下土壤水热效应表明: 土壤水、热环境的改善可使叶片衰老延缓, 枝条停止生长延迟, 养分回流过程滞后, 树体茎流速率增大, 果实产量显著增加, 但果实品质略有下降<sup>[1]</sup>, 而且影响树体的抗寒性<sup>[3]</sup>。基于此, 我们在苹果树生育后期, 比较旱地果园几种常用覆盖模式下的叶片叶绿素荧光动力学参数, 以及对生育后期叶片光性能的影响, 以期为科学选择与改进地面覆盖技术提供参考。

收稿日期: 2016-03-01

基金项目: 甘肃省农业科学院青年基金项目(2015GAAS27); 甘肃省青年科技基金计划(1308RJYA074); 国家现代农业(苹果)产业技术体系项目(CARS-28); 农业部园艺作物生物学与种质创制重点实验室项目(10218020)

作者简介: 张 坤(1980—), 男, 山东高密人, 助理研究员, 主要从事果树栽培研究工作。E-mail: zhangkunchinaa@126.com。

通信作者: 马 明(1965—), 男, 甘肃秦安人, 研究员, 主要从事果树栽培研究工作。E-mail: maming65118@163.com。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于甘肃省静宁县威戎镇新华村(35°35.867' N, 105° 79.198' E), 属典型旱地雨养区。土壤为黄绵土, pH 7.6~8.6, 海拔 1 600 m, 年均降水量 450 mm 左右, 年均日照时数 2 238 h, 无霜期 159 d, 年平均气温 7.1 ℃。

指示苹果品种为长富 2 号, 树体为 12 年生, 砧木为山定子, 株行距 3 m×4 m。苹果园无灌溉条件, 采用垄膜保墒集雨, 小沟集水抗旱栽培技术, 采用长梢修剪技术, 苹果树长势中庸, 多年平均产量 52 500~60 000 kg/hm<sup>2</sup>, 产值 30 万元/hm<sup>2</sup> 左右。

### 1.2 方法

1.2.1 试验设计 设置清耕、覆草、覆膜(垄膜保墒集雨, 小沟集水模式)与覆沙 4 个处理。清耕为 CK; 覆草为全园覆麦草 33 750 kg/hm<sup>2</sup>; 周年采用垄膜保墒集雨, 小沟集水(简称覆膜)<sup>[1]</sup>, 其示意图如图 1; 覆沙为地面覆河沙厚 5 cm, 各处理连续覆盖 3 a。选取树冠大小相似、生长一致的健壮树体, 单株为 1 小区, 随机排列, 5 次重复, 各覆盖处理间设置保护行。除覆盖不同外, 其他管理措施一致。

1.2.2 土壤环境监测 土壤含水率、土壤温度采用路格温度、湿度记录仪, 持续监测土壤 20、40、60 cm 深度土壤含水率与温度变化, 取其均值进行分析。土壤容重采用环刀法, 每 20 cm 深度测定 1 次, 分 5 层, 测至深 1 m 处, 取均值进行分析。土壤孔隙度根据土壤容重和比重计算而得。公式

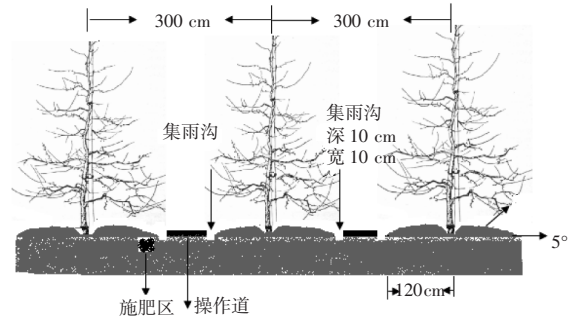


图 1 起垄覆膜小沟集雨田间示意

为: 土壤孔隙度=(1-容重/比重)×100。其中土壤颗粒与同体积水(4 ℃)重量的比重称为土壤比重。每 20 cm 深度测定 1 次, 分 5 层, 测至深 1 m 处, 取平均值进行分析。

1.2.3 叶片叶绿素荧光动力学参数的测定 随机选取 3 株, 每株树选树冠外围南侧同一高度的 3 个一年生新梢, 每个新梢选取中部功能叶 1 片用于测量, 每个处理 3 次重复, 共测定 9 个叶片。选择 10 月 26 日(采果期间)晴天 10:00 时进行测定, 叶片经叶夹暗适应 20 min 后, 使用英国 Hansatech 公司生产的连续激发式荧光仪 Handy PEA 测定叶绿素荧光动力学参数, 荧光参数表示的生物学意义见表 1。

1.2.4 叶绿素含量测定 参考冯一峰方法, 取新鲜叶片剪碎混匀, 准确称取 0.1 g, 置于 20 mL 乙醇与丙酮体积比为 1:1 的提取液中浸提, 采用 UV-2550 紫外可见分光光度计, 分别于 663、645、470 nm 波长下比色测定吸光度值, 计算叶绿素含量<sup>[4]</sup>。

表 1 JIP-test快速叶绿素荧光诱导动力学曲线(O-J-I-P)的参数

| 荧光参数   | 生物学意义  |
|--|--|
| $F_0 \cong F_{50\mu s}$ 或 $\cong F_{20\mu s}$  | 当所有反应中心完全开放时的荧光, 即暗适应后的最小荧光强度                                      |
| $F_m = FP$   | 当所有反应中心完全关闭时的荧光, 即暗适应后的最大荧光强度                                      |
| $F_v = F_t - F_0$  | 在 t 时的可变荧光强度   |
| $F_j = F_{2ms}$  | 在 O-J-I-P 荧光诱导曲线 J 点处(2 ms)的荧光强度                                   |
| $F_i = F_{30ms}$   | 在 O-J-I-P 荧光诱导曲线 J 点处(30 ms)的荧光强度                                  |
| $Plabs \cong (RC/ABS) \cdot [\varphi P_0 / (1 - \varphi P_0)] \cdot [\psi_0 / (1 - \psi_0)]$ | 以吸收光能为基础的性能指数  |
| $F_v / F_m = (F_m - F_0) / F_m$  | PSII 最大光化学量子产量   |
| $\psi_0 \cong E_{T_0} / TR_0 = (1 - V_j)$  | 反应中心捕获的激子中用来推动电子传递到电子传递链中超过 QA 的其它电子受体的激子占用来推动 QA 还原激子的比率(在 t=0 时) |
| $V_t = (F_t - F_0) / (F_m - F_0)$  | 在 t 时的相对可变荧光强度   |
| $\Delta V_t = V_{t \text{ 处理}} - V_{t \text{ 对照}}$   | 相对可变荧光的差值  |
| $W_k = (F_t - F_0) / (F_j - F_0)$  | K 点相对可变荧光  |
| $W_{oj} = (F_t - F_0) / (F_j - F_0)$   | 可变荧光 $F_v$ 占 $F_j - F_0$ 振幅的比例                                     |
| $\Delta W_{oj} = W_{oj \text{ 处理}} - W_{oj \text{ 对照}}$                                      | 以对照为标准的差值  |
| $W_{ok} = (F_t - F_0) / (F_{300\mu s} - F_0)$  | 可变荧光 $F_v$ 占 $F_{300\mu s} - F_0$ 振幅的比例                            |
| $\Delta W_{ok} = W_{ok \text{ 处理}} - W_{ok \text{ 对照}}$                                      | 以对照为标准的差值  |

1.2.5 数据分析 采用 SPSS 12.0 统计软件对数据进行方差与差异显著性分析, EXCEL 2003 软件进行数据处理及绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同覆盖下的土壤环境状况

对土壤环境进行周年检测, 取 10 月 26 日数值分析比较, 包括不同处理 0~100 cm 深度土壤平均含水量、土壤容重、土壤孔隙度和 0~30 cm 土壤温度, 见表 2。发现覆草处理土壤含水率显著升高, 增幅为 8.62%, 显示出良好保墒作用, 土壤容重降低 8.39%, 而土壤孔隙度升高 12.6%, 土壤环境明显改善, 但地温较 CK 降低 6.52%, 这是由于覆盖麦草反射能力强所致<sup>[5]</sup>; 覆膜土壤含水率和土壤容重与 CK 无显著差异, 其土壤孔隙度显著升高 6.22%, 土壤平均温度为各处理最高, 较 CK 提高 12.32%; 覆沙处理土壤含水率、土壤容重、土壤温度与 CK 比无显著差异, 但土壤孔隙度升高 6.04%。

表 2 土壤环境状况

|    | 土壤含水率<br>/% | 土壤容重<br>/(g/cm <sup>3</sup> ) | 土壤孔隙度<br>/% | 土壤温度<br>/°C |
|----|-------------|-------------------------------|-------------|-------------|
| 清耕 | 18.22 b     | 1.43 a                        | 44.22 b     | 13.8 b      |
| 覆草 | 19.79 a     | 1.31 b                        | 49.79 a     | 12.9 c      |
| 覆膜 | 18.77 b     | 1.38 ab                       | 46.97 a     | 15.5 a      |
| 覆沙 | 19.04 ab    | 1.36 ab                       | 46.89 a     | 13.9 b      |

### 2.2 不同覆盖下生育后期果树叶片叶绿素含量

3 种地面覆盖均延缓叶绿素分解, 其中覆沙处理的叶绿素 a 含量较 CK 提高 7.89%, 覆草与覆膜间无显著差异, 均较 CK 提高 6.14%; 覆膜处理叶绿素 b 含量较 CK 显著升高 18.60%, 较覆草及覆沙处理分别高 8.51% 和 6.25%; 但覆膜处理叶绿素

a/b 值较 CK 显著降低 11.81%, 而其他处理间无显著差异(表 3)。

表 3 不同覆盖生育后期果树叶片叶绿素含量

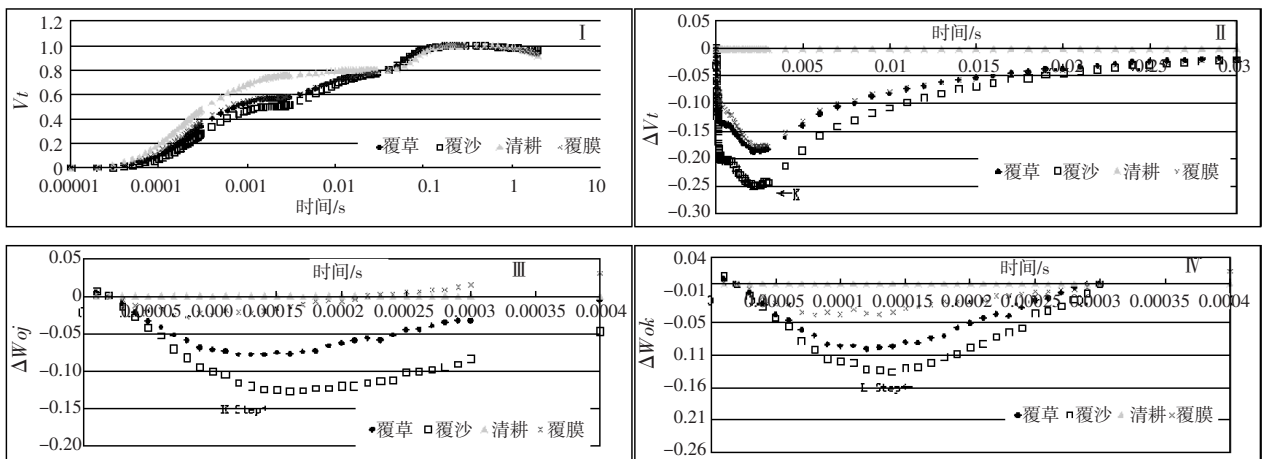
| 处理 | 叶绿素 a<br>/(mg/g) | 叶绿素 b<br>/(mg/g) | 叶绿素 a/b |
|----|------------------|------------------|---------|
| 覆草 | 1.21 a           | 0.47 b           | 2.57 a  |
| 覆沙 | 1.23 a           | 0.48 b           | 2.56 a  |
| 清耕 | 1.14 b           | 0.43 b           | 2.65 a  |
| 覆膜 | 1.21 a           | 0.51 a           | 2.37 b  |

### 2.3 不同覆盖下生育后期叶片叶绿素荧光动力学参数

从表 4 可以看出, 10:00 时光照条件良好。覆膜处理  $F_o$  值较 CK 降低 24.78%, 其他处理与 CK 无显著差异; 覆草、覆沙下  $F_m$  值显著提高, 分别较 CK 升高 39.09%、44.94%, 而覆膜下的  $F_m$  值与 CK 无显著差异; 植物在逆境条件下, 容易发生光抑制, 光抑制时,  $F_v/F_m$  值明显下降<sup>[6]</sup>, 而 3 种覆盖处理  $F_v/F_m$  值在 0.8 左右, 且处理间无显著差异, 但 CK 较其它处理显著下降 12% 左右;  $\psi_o$  为反应中心捕获的激子, 用来推动电子传递到电子传递链中, 超过 QA 的其他电子受体的激子, 占用来推动 QA 还原激子的比率, CK 的  $\psi_o$  值较其它处理显著下降 40% 以上, 覆草、覆沙、覆膜处理间无显著差异; 以吸收光能为基础的性能指数  $Plabs$  在不同处理间差异很大, 其中覆沙处理  $Plabs$

表 4 不同覆盖下生育后期叶片荧光参数比较

|    | $F_o$ | $F_m$  | $F_v/F_m$ | $\psi_o$ | $Plabs$ |
|----|-------|--------|-----------|----------|---------|
| 覆草 | 413 a | 2021 a | 0.7956 a  | 0.4160 a | 1.045 b |
| 覆沙 | 411 a | 2106 a | 0.8048 a  | 0.4826 a | 1.594 a |
| 清耕 | 444 a | 1453 b | 0.6944 b  | 0.2428 b | 0.231 c |
| 覆膜 | 331 b | 1589 b | 0.7917 a  | 0.4069 a | 0.912 b |



I. 标准化后的相对可变荧光; II. 相对可变荧光的差值; III.  $\Delta W_{oj}$ ; IV.  $\Delta W_{ok}$ 。

图 2 不同地面覆盖下叶片快速叶绿素荧光诱导动力学曲线

abs 值最高, 为 CK 的 6.90 倍, 覆膜、覆草间无显著差异, 但显著较 CK 高 4.52 倍、3.95 倍。

用 ( $F_m - F_o$ ) 将已取得的快速叶绿素荧光诱导动力学曲线标准化, 得到其相对可变荧光 ( $V_t$ ) 诱导动力学曲线, 如图 2-I, CK 叶绿素荧光诱导动力学曲线中的 J 相 (2 ms) 的相对可变荧光显著上升, 分别较覆草、覆沙、覆膜处理升高 31.96%、49.00%、29.97%, 反映了 PS II 反应中心受体侧 QA- 瞬时大量积累<sup>[7]</sup>, 但不同处理 I 相 (30 ms) 荧光强度趋于一致, 其值在 0.78 左右; 比较相对可变荧光 ( $V_t$ ) 的差值 ( $\Delta V_t$ ), 如图 2-II, 发现不同处理在 300  $\mu\text{s}$  左右的特征位点处, 叶绿素荧光产量较 CK 显著降低, 出现明显 K 点, 覆沙、覆草、覆膜分别较 CK 降低 0.20、0.14 和 0.10, 显示在果树生育后期, 不同处理叶片 PSII 的电子供体侧和受体侧受到的伤害程度不同, 但均小于 CK, 其中覆沙处理叶片受伤害程度最轻; 由图 2-III、IV, 显示的是以对照的荧光值为基准, 在果树生育后期得到的  $\Delta W_{oj}$ 、 $\Delta W_{ok}$  曲线, 不同处理在 150  $\mu\text{s}$ –200  $\mu\text{s}$  均出现明显 K 位点负向增长, 其中覆沙、覆草、覆膜处理分别较 CK 降低 0.124、0.075 和 0.016; 100 ~ 200  $\mu\text{s}$  处的 L 位点也呈现负向升高, 与 K 点变化趋势一致, 其降低的幅度表现为覆沙 > 覆草 > 覆膜。

### 3 小结与讨论

不同覆盖材料对土壤水、热环境的影响有很大差异, 前期研究发现覆沙、覆黑地膜能显著提高地温, 覆草能明显降低地温, 但 3 种覆盖处理均显著提高土壤水分含率, 树体茎液流活动增强, 果树产量显著增加<sup>[8]</sup>。在甘肃陇东季节性干旱主要集中在春、夏季, 如果在果树生育后期持续改善土壤水热环境, 可能延长树体营养生长, 减少叶片养分的回流, 导致果实品质降低<sup>[8]</sup>。光合作用是果树一切生长的源泉, 叶绿素荧光是研究叶片光合作用的探针, 当环境条件变化时, 叶绿素荧光动力学曲线的变化可以反映环境因子对植物的影响<sup>[9]</sup>。如在沈阳研究发现, 10 月 30 日寒富苹果叶片 PS II 的基本结构和功能受到严重破坏, 11 月 9 日其基本结构被瓦解, 功能已丧失<sup>[10]</sup>。可见运用荧光手段能从更深层次揭示叶片衰老机制, 为评价叶片衰老进程提供依据。

叶片衰老过程中, 快速叶绿素荧光诱导动力学曲线的初始荧光上升, 最大荧光下降, 表明天

线色素和中心色素破坏较轻, 主要延缓 PS II 活性的下降<sup>[11-12]</sup>, 所以 3 种覆盖下叶片 PS II 活性均高于 CK。快速叶绿素荧光诱导动力学曲线从 O 点到 P 点的荧光变化过程, 反映 PS II 原初光化学反应、光合机构的结构和状态变化, 其下降阶段反映了光合碳代谢的变化<sup>[13]</sup>。当 PS II 的供体侧受逆境伤害, 在极短的时间内 (在 J 点之前) 叶绿素荧光产量上升, 水裂解系统被抑制和 QA 之前受体侧的部分被抑制造成在 300  $\mu\text{s}$  处出现 K 点, 所以 K 点值越大, 放氧复合体受到的伤害越严重, 此值的升高可以作为判断 OEC 受到伤害的指标<sup>[14]</sup>, 覆沙处理 K 点值最小, 表明其叶片放氧复合体受到的伤害最轻。放氧复合体受到伤害而导致水光解受抑都会使  $F_m$  下降<sup>[15]</sup>, 因此覆膜、覆草较覆沙处理叶片受到的伤害重, 比较处理间的叶绿素并无明显差异,  $F_m$  的下降可能是放氧复合体失活引起。在 PS II 受体侧, 3 个覆盖处理  $\psi_o$  值较 CK 显著升高, 表明其 PS II 受体侧电子传递环境均优于 CK。在 PS II 反应中心, 叶片的最大光化学效率 ( $F_v/F_m$ ) 上升, 但是性能指数 ( $PI_{abs}$ ) 在不同处理间更明显, 表明  $PI_{abs}$  比  $F_v/F_m$  能更灵敏地反映不同处理叶片光合机构的变化, 从试验结果看, 覆沙下叶片光性能指数最高。此外本研究中 CK 的  $\Delta W_{oj}$ 、 $\Delta W_{ok}$  值分别在 K、L 位点升高, 表明 OEC 的结构及功能发生改变, 导致 PS II 受体侧电子传递能力相对下降, 也证明覆沙下叶片 PS II 受体侧电子传递能力最强, 其叶片光性能最佳, 覆草、覆膜次之。

比较不同覆盖下, 果树生育后期叶片叶绿素荧光动力学参数, 我们认为果园覆沙可延长叶片在生育后期维持高水平的光性能或延迟叶片衰老时间, 覆膜与覆草处理叶片光性能水平比清耕高, 但显著低于覆沙处理。因此, 在生产中应多选用覆膜或覆草。

### 参考文献

- [1] 张坤, 王发林, 刘小勇, 等. 旱地果园起垄覆膜集雨措施对树体水分利用的影响[J]. 灌溉排水学报, 2011(3): 68-71.
- [2] 张坤, 刘小勇, 尹晓宁, 等. 地表覆盖对陇东旱地苹果园水分平衡的影响[J]. 甘肃农业科技, 2010(8): 6-10.
- [3] 赵德英, 吕德国, 刘国成, 等. 不同土壤管理制度对‘寒富’苹果树体养分回流的影响[J]. 东北林业大学学报, 2009(4): 18-21.
- [4] 冯一峰, 王艳, 唐都, 等. 红枣叶片叶绿素提取方法的比较[J]. 中国酿造, 2014(6): 50-53.

# 冬小麦新品种陇育5号选育报告

姜 华<sup>1</sup>, 孟建军<sup>2</sup>, 施万喜<sup>2</sup>, 刘自成<sup>2</sup>, 杨 琥<sup>2</sup>, 张 成<sup>2</sup>

(1. 甘肃省宁县农业技术推广中心, 甘肃 宁县 745200; 2. 陇东学院农林科技学院, 甘肃 西峰 745000)

**摘要:** 陇育5号冬小麦新品种是以西峰20号作母本, 庆农4号作父本进行有性杂交, 系谱法选育而成。在2012—2014年的国家北部冬麦区旱地组区域试验中, 2 a平均折合产量4 779.0 kg/hm<sup>2</sup>, 较对照品种长6878增产7.0%。该品种全生育期269~275 d, 株型紧凑, 结实性好, 抗旱、抗寒, 适宜在甘肃陇东、定西及宁夏固原、山西长治及晋城等地推广种植。

**关键词:** 冬小麦; 新品种; 选育; 推广

**中图分类号:** S512.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-1463(2016)07-0011-03

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-1463.2016.07.003

冬小麦是甘肃省主栽粮食作物之一, 在粮食安全上具有十分重要的意义。陇东地区是甘肃省冬小麦主产区, 常年播种面积约25万~30万hm<sup>2</sup>, 占全省冬小麦总播种面积1/2, 总产量也约占全省冬小麦产量的1/2, 其生产状况对全省经济发展影响较大<sup>[1]</sup>。陇东地处西北黄土高原沟壑区, 属我国冬小麦的北部边缘地带, 地形、地貌、自然生态条件最为复杂, 低温冻害、干旱少雨、红

黄矮病经常发生, 特别是干旱导致冬小麦产量低而不稳。随着人口增加, 经济发展以及全球气候变暖, 干旱缺水的趋势将会持续加重。为实现作物高效用水目标, 需要挖掘作物抗旱性和水分利用效率的最大潜力。遗传改良、生理调控和群体适应是3个主要增产途径, 其中培育抗旱节水新品种是一条主要途径<sup>[2-5]</sup>。因此, 不断选育适应该区种植的抗逆性强, 特别是抗旱、丰产、稳产的

**收稿日期:** 2016-05-06

**作者简介:** 姜 华(1969—), 男, 甘肃宁县人, 农艺师, 主要从事农业技术推广工作。联系电话: (0)13884173892。

- [5] 郑华斌, 彭少兵, 唐启源, 等. 免耕与秸秆覆盖对土壤特性、玉米生长发育及产量的影响[J]. 作物研究, 2007, S1: 634-638.
- [6] 秦立琴, 张悦丽, 郭 峰, 等. 强光下高温与干旱胁迫对花生光系统的伤害机制[J]. 生态学报, 2011(7): 1835-1843.
- [7] STRASSER B J, STRASSER R J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: the JIP-test[J]. Dordrecht: Kluwer Academic Press. 1995, 5: 977-980.
- [8] 张 坤, 王发林, 刘小勇, 等. 地面覆盖对果园土壤水热分布和果实品质的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 11: 125-130.
- [9] 常美花, 曹熙敏, 张 琼, 等. 温室桃、杏品质低下的主要原因及其调控措施[J]. 江苏农业科学, 2006(3): 110-112.
- [10] 李 晓, 冯 伟, 曾晓春. 叶绿素荧光分析技术及应用进展[J]. 西北植物学报, 2006, 10: 2186-2196.
- [11] 李芳东, 吕德国, 杜国栋, 等. 清耕栽培苹果叶片衰老过程中PS II荧光诱导动力学特性的研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2013(6): 27-31.
- [12] A H KINGSTON SMITH, H THOMAS, C H FOYER. Chlorophyll a fluorescence, enzyme and antioxidant analyses provide evidence for the operation of alternative electron sinks during leaf senescence in a stay-green mutant of *Festuca pratensis*[J]. Plant, Cell&Environment. 1997, 20(11): 1323-1337.
- [13] 李永铸, 张惠英. 低温胁迫对 *Acacia holosericea* PS II 反应中心的影响[J]. 西北林学院学报, 2002(1): 8-10.
- [14] 王静静, 陈 辉, 李宗波. 小蠹虫危害对秦岭华山松叶绿素荧光动力学参数的影响[J]. 西北林学院学报, 2011(1): 35-38.
- [15] VASILIJ GOLTSEV, MARIA GURMANOVA, MARGARITA KOUZMANOVA, et al. Analysis of dark drops, dark-Induced changes in chlorophyll fluorescence during the recording of the OJIP[D]. Photosynthesis Research for Food, 2013: 179-183.
- [16] 孙宪芝, 郑成淑, 王秀峰. 高温胁迫对切花菊‘神马’光合作用与叶绿素荧光的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 10: 2149-2154.

(本文责编: 陈 珩)