

中图分类号: S532 文献标识码: B 文章编号: 1672-3635(2013)04-0203-05

干旱和复水对马铃薯叶绿素荧光参数的影响

卢福顺, 石 瑛, 王凤义

(东北农业大学, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:以‘东农311’和‘克新13号’为试验材料,采用盆栽控水的方式,在抗旱棚内研究马铃薯叶片叶绿素荧光参数受干旱和复水的影响。结果表明:干旱下,叶绿素荧光参数Fv/Fm、Fv/Fo、Y(II)和qP持续下降,Y(NPQ)、NPQ表现为不断增加;在处理的第15d和第23d,‘克新13号’的叶绿素荧光指标变化幅度大于‘东农311’,在复水后‘东农311’的恢复程度大于‘克新13号’。‘东农311’的叶绿素荧光参数比‘克新13号’更适应干旱胁迫。

关键词:马铃薯;干旱和复水;叶绿素荧光

Effects of Drought and Rewatering on Chlorophyll Fluorescence Parameters in Leaves of potato (*Solanum tuberosum* L.)

LU Fushun, SHI Ying, WANG Fengyi

(Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: Two potato cultivars 'Dongnong 311' and 'Kexin 13' were used to study the relationship of drought tolerance and chlorophyll fluorescence parameters during water stress and rewatering of potato plants in a rain-proof shed. Chlorophyll fluorescence parameters Fv/Fm, Fv/Fo, Y(II) and qP decreased continuously; while Y(NPQ) and NPQ continuously increased under drought conditions. 'Kexin 13' changed in chlorophyll fluorescence parameters greater than 'Dongnong 311' after 15 days and 23 days of drought. The degree of recovery of 'Dongnong 311' was better than 'Kexin 13' after rewatering. 'Dongnong 311' has a stronger adaptability to drought environment than 'Kexin 13' does.

Key Words: potato; drought and rewatering; chlorophyll fluorescence

水分胁迫对植物光合作用存在着多方面的影响,如光合电子传递,光合磷酸化,还有光合机构的损伤等。利用叶绿素荧光动力学方法能够快速、灵敏、无损伤地探测水分胁迫对植物光合作用的影响^[1]。叶绿素荧光应用很广泛,能够估计光合系统II(PSII)的变化、电子传递量和CO₂同化等^[2]。目前,国内关于叶绿素荧光与作物抗旱性关系的研究中,水稻^[3]、玉米^[4]、大豆^[5]、小麦^[6]、甘蔗^[7]和甘薯^[8]等作物中均已证实水分胁迫的程度和叶绿素荧光参数的变化存在相关性,可以用于抗旱性的鉴定参考,但研究多基于不同干旱水平与不同处理时间对叶绿素荧光的影响,基于持续自

然干旱对叶绿素荧光的影响研究较少。

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)是对水分高度敏感的植物^[9],严重限制了马铃薯的生产^[10]。在农业生产中,马铃薯常在受到水分胁迫后需要复水处理,在水分胁迫并复水的过程中,马铃薯叶片的叶绿素荧光的变化趋势研究国内鲜有报道。本研究通过测定干旱和复水后马铃薯叶片叶绿素荧光参数的动态变化,为抗逆育种和水分生理研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试马铃薯品种为东北农业大学新选育的‘东农

收稿日期:2003-06-14

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-10)。

作者简介:卢福顺(1986-),男,硕士研究生,作物遗传育种专业。

*通信作者(Corresponding author):石瑛,副研究员,从事马铃薯遗传育种及栽培技术研究,E-mail: yshi@neau.edu.cn。

311’，黑龙江省主栽品种‘克新 13 号’，试验用种薯均为原原种。

1.2 试验方法

1.2.1 试验方法与处理

试验于 2012 年在东北农业大学香坊植物类实验实习基地马铃薯抗旱棚内进行。采用盆栽试验，用盆规格为高 27 cm、内径 29 cm，每盆装淋溶黑钙土 10 kg。5 月 12 日播种，每盆播种 50 g 左右整薯 1 粒。播种后正常供水，在现蕾期开始停止供水，进行自然干旱处理。根据干旱持续时间的长短设置两个处理，分别为干旱 15 d 后开始复水、干旱 23 d 后开始复水。

第一种处理分别在干旱后第 1，5，9，13 和 15 d 测定叶片叶绿素荧光参数，测定 5 次；第 15 d 复水后每隔 1 d 测定 1 次叶绿素荧光参数，测定 3 次。第二种处理分别在干旱后第 1，5，9，13，17，21 和 23 d 测定叶片叶绿素荧光参数，测定 7 次；第 23 d 复水后每隔 1 d 测定 1 次叶绿素荧光参数，测定 3 次。对照为正常供水，保持土壤相对含水量在 75%~80%之间。每个处理测定 4 次重复。

1.2.2 叶绿素荧光参数的测定

在现蕾期选取长势良好植株的第 4 片复叶测量叶绿素荧光诱导曲线，所有叶绿素荧光参数使用调制式叶绿素荧光仪 JUNIOR-PAM(Walz, Germany)测定，读数使用仪器软件 Wincontrol-3 内置的 Induc curve 程序完成，测定使用的光强为 190 Par，其他设置为软件默认，测定前叶片暗处理 30 min。

Fv/Fm 是 PSII 最大光化学量子产量，反映 PSII 反应中心最大的光能转换率^[11,12]，反映了植物潜在的最大光合能力^[13]。

Fv/Fo 是 PSII 的潜在活性^[11,12]。

Y(II)是 PSII 中光化学能量转化有效量子产量^[4]。

Y(NPQ)是 PSII 调节性能量耗散的量子产额^[4]。

NPQ 是非光化学猝灭系数，反映在 PSII 中反应中心对天线色素吸收的过量光能后，将过剩的光能以热量形式耗散的能量比例^[15,16]。

qP 是光化学猝灭系数，指 PSII 中天线色素吸收光能后，将光能用于光合作用电子传递的份额，反映 PSII 反应中心的开放程度的指标^[15,16]。

1.3 数据处理

使用 Office Excel 2010 进行数据处理和图表制作，方差分析使用 DPS 7.05 数据处理系统进行。

2 结果与分析

2.1 干旱和复水对马铃薯叶片 Fv/Fm 和 Fv/Fo 的影响

由图 1 可知，试验开始前测得‘克新 13 号’的最大光化学量子产量(Fv/Fm)要大于‘东农 311’，并且存在着品种间的显著性差异($P < 0.05$)；随着持续干旱处理时间的不断增加，土壤相对含水量不断下降，Fv/Fm 不断下降。从第 9 d 开始，‘东农 311’和‘克新 13 号’的叶片 Fv/Fm 值与对照存在极显著性差异($P < 0.01$)，在第 15 d 时，‘克新 13 号’的 Fv/Fm 显著($P < 0.05$)低于‘东农 311’，相对于对照分别下降了 6.10%和 4.29%；第 15 d 后复水，‘东农 311’恢复迅速，并且较‘克新 13 号’更接近对照水平。当持续干旱延长时，‘克新 13 号’的下降幅度一直大于‘东农 311’；在第 23 d 时，相对于对照‘东农 311’和‘克新 13 号’的下降幅度分别为 7.24%和 8.11%；复

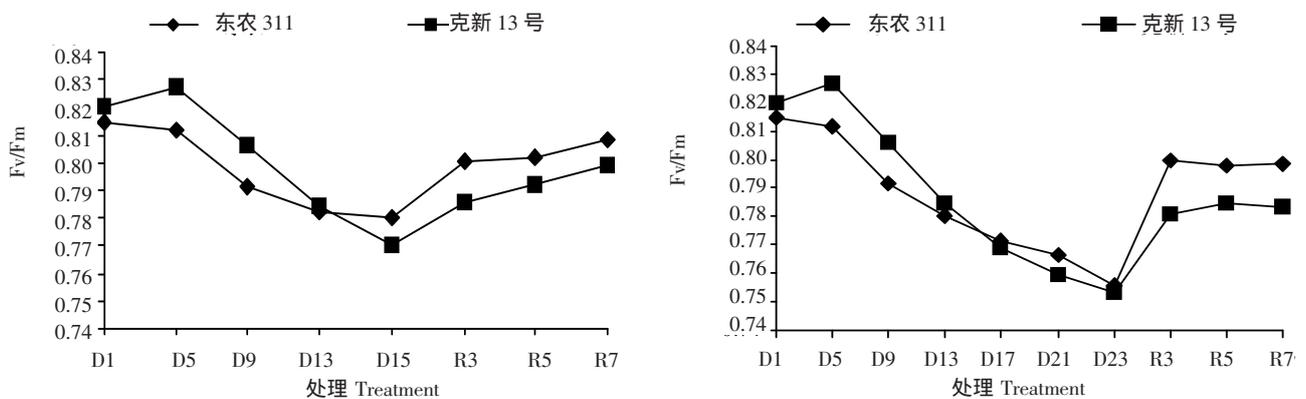


图 1 干旱和复水对 Fv/Fm 的影响
Figure 1 Effects of drought and rewatering on Fv/Fm

水后, ‘东农 311’ 的恢复程度大于 ‘克新 13 号’, 更接近正常水平。

由图 2 可知道, 试验开始前 PSII 的潜在活性 (F_v/F_o) 表现为 ‘克新 13 号’ 大于 ‘东农 311’, 并且品种间存在着显著差异 ($P < 0.05$); 伴随着持续干旱处理时间的不断增加, 土壤相对含水量不断下降, F_v/F_o 不断下降。从第 9 d 开始, ‘东农 311’ 和 ‘克新 13 号’ 叶片 F_v/F_o 值与对照存在极显著性差异 ($P < 0.01$)。随着胁迫程度的增强, 在第 15 d, ‘克新 13

号’ 的 F_v/F_o 显著 ($P < 0.05$) 低于 ‘东农 311’, 相对于对照分别下降了 31.01% 和 21.20%; 第 15 d 后复水, ‘东农 311’ 恢复迅速, 并且较 ‘克新 13 号’ 更接近对照水平; 当处理时间继续延长时, ‘克新 13 号’ 的下降幅度一直大于 ‘东农 311’; 在第 23 d 时, 相对于对照 ‘东农 311’ 和 ‘克新 13 号’ 的下降幅度分别为 34.53% 和 38.70%; 复水后, ‘东农 311’ 的恢复程度好于 ‘克新 13 号’, 两者都表现的比较平稳, ‘东农 311’ 出现下降趋势, 但较 ‘克新 13 号’ 更接近对照水平。

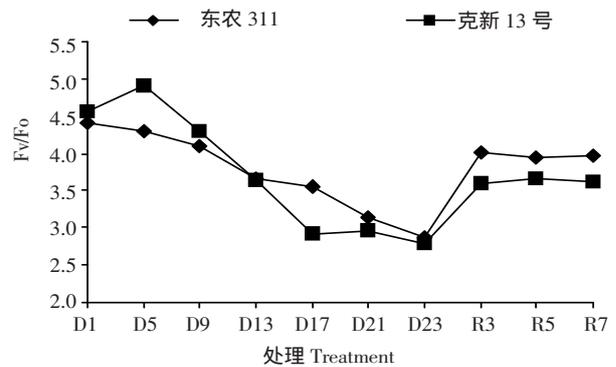
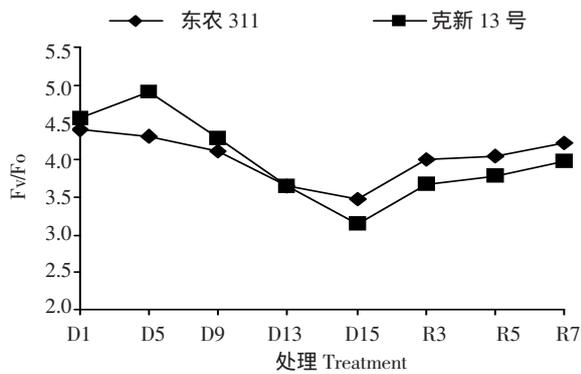


图 2 干旱和复水对 F_v/F_o 的影响

Figure 2 Effects of drought and rewatering on F_v/F_o

2.2 干旱和复水对不同马铃薯叶片 Y(II) 和 Y(NPQ) 的影响

由图 3 可知, PSII 中光化学能量转化的有效量子产量 Y(II) 在试验开始前 ‘东农 311’ 和 ‘克新 13 号’ 之间没有显著性差异, 随着持续干旱处理时间的增加, 在第 9 d ‘克新 13 号’ 相对对照达极显著差异 ($P < 0.01$); ‘克新 13 号’ 的下降幅度大于 ‘东农 311’, 并且两者之间存在极显著差异 ($P < 0.01$)。从第 13 d 开始, ‘东农 311’ 的下降幅度大于 ‘克新 13 号’。随着

处理时间的延长, 干旱对 ‘东农 311’ 的影响大于 ‘克新 13 号’; 复水后 ‘东农 311’ 的恢复速度和程度要好于 ‘克新 13 号’。干旱时间继续延长, ‘东农 311’ 和 ‘克新 13 号’ 的 Y(II) 继续降低, 在干旱第 23 d 时, 品种之间没有显著的差异; 复水后, ‘东农 311’ 的恢复程度好于 ‘克新 13 号’, 更接近对照水平。

如图 4, PSII 调节性能量耗散的量子产额 Y(NPQ) 在试验开始前, ‘东农 311’ 和 ‘克新 13 号’ 之间没有显著性差异; 随着持续干旱处理时间的增加,

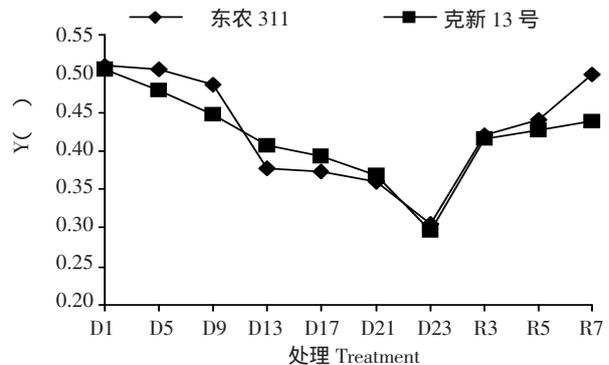
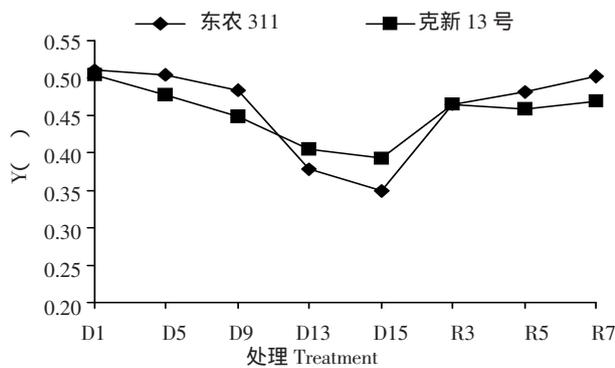


图 3 干旱和复水对 Y(II) 的影响

Figure 3 Effects of drought and rewatering on Y(II)

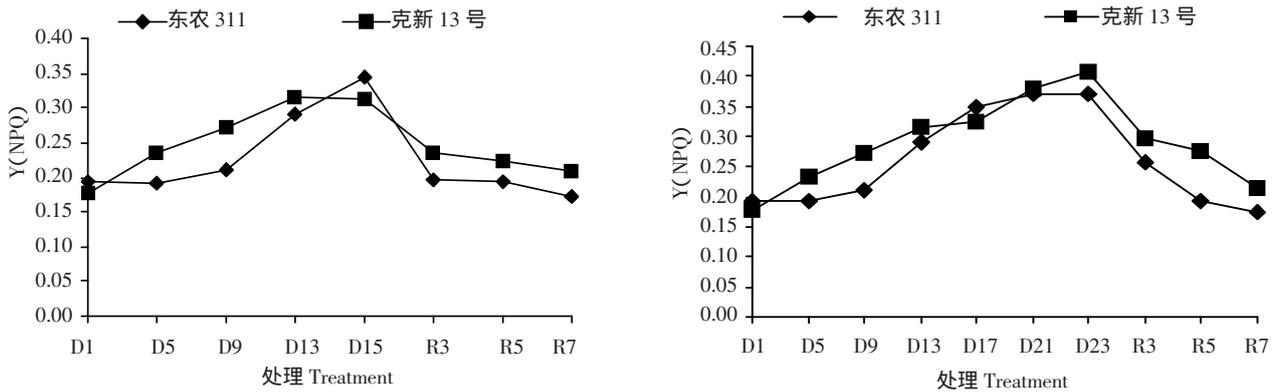


图4 干旱和复水对 Y(NPQ)的影响

Figure 4 Effects of drought and rewatering on Y(NPQ)

第5 d, ‘克新 13 号’在 Y(NPQ)上的相对于对照达到极显著差异($P < 0.01$), 增加量远大于‘东农 311’, 两者之间存在极显著差异($P < 0.01$); 在第15 d, ‘东农311’的 Y(NPQ)大于‘克新 13 号’; 复水后, ‘东农311’下降的幅度大于‘克新 13 号’。随着干旱程度的继续增加, 第23 d时, ‘克新 13 号’的增加幅度远大于‘东农 311’($P < 0.01$); 复水后, ‘东农 311’

的恢复程度好于‘克新 13 号’, 更接近对照水平。

2.3 干旱和复水对马铃薯叶片 NPQ 和 qP 的影响

如图5, 非光化学猝灭系数(NPQ)在试验开始前, ‘东农 311’和‘克新 13 号’之间存在显著性差异($P < 0.05$), 且‘东农 311’大于‘克新 13 号’; 随着持续干旱处理时间的增加, 第5 d, ‘克新 13 号’相对于对照达到极显著差异($P < 0.01$), ‘克新 13 号’在

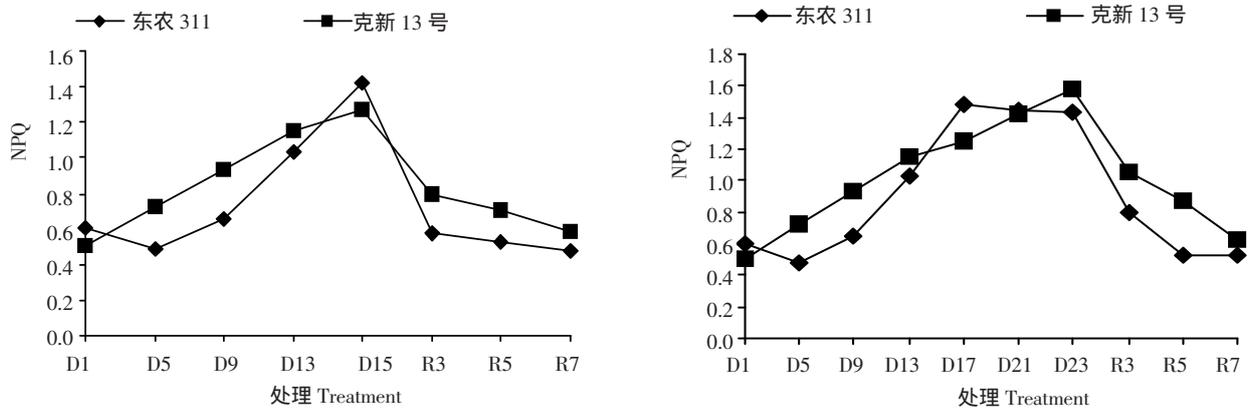


图5 干旱和复水对 NPQ 的影响

Figure 5 Effects of drought and rewatering on NPQ

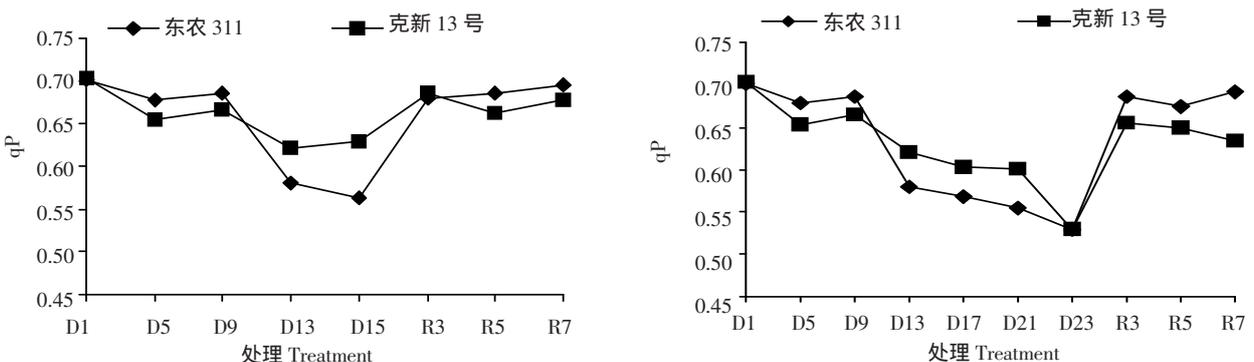


图6 干旱和复水对 qP 的影响

Figure 6 Effects of drought and rewatering on qP

NPQ 上的增加量远大于‘东农 311’, 说明过剩的光能‘克新 13 号’较多; 在第 15 d, ‘东农 311’的 NPQ 显著($P < 0.05$)大于‘克新 13 号’, 复水后, ‘东农 311’下降的幅度大于‘克新 13 号’。随着干旱程度的持续增加, 第 23 d 时, ‘克新 13 号’的增加幅度远大于‘东农 311’; 复水后, ‘东农 311’的恢复程度好于‘克新 13 号’, 更接近对照水平。

如图 6, 光化学猝灭系数(qP)在试验处理开始前, ‘东农 311’和‘克新 13 号’之间没有显著性差异, 随着处理时间的增加, ‘克新 13 号’的下降幅度极显著($P < 0.01$)大于‘东农 311’; 从第 13 d 开始, ‘东农 311’的下降幅度极显著($P < 0.01$)大于‘克新 13 号’, 复水后‘东农 311’恢复幅度好于‘克新 13 号’; 随着处理时间的继续增加, 在第 23 d 时, ‘东农 311’和‘克新 13 号’下降到同一水平, 复水后, ‘东农 311’恢复程度好于‘克新 13 号’, 更接近对照水平。

3 讨 论

本试验的结果表明, 随着干旱处理时间的增加, 土壤相对含水量的下降, 叶绿素荧光参数 F_v/F_m 、 F_v/F_o 、 $Y(II)$ 和 qP 表现出不断下降过程, 随着干旱程度的不断增加, 下降幅度逐渐增大; 叶绿素荧光参数 $Y(NPQ)$ 、NPQ 表现出不断增加的过程, 同样, 随着干旱程度的不断增加, 增加幅度不断增大。‘东农 311’ F_v/F_m 和 F_v/F_o 在干旱处理初期表现出下降幅度大于‘克新 13 号’, 但随着干旱程度增加, ‘克新 13 号’的下降幅度大于‘东农 311’。两个品种的 F_v/F_m 和 F_v/F_o 对持续干旱的适应性上, 初期‘克新 13 号’的变化幅度小于‘东农 311’, 后期‘东农 311’好于‘克新 13 号’, 并且恢复程度上‘东农 311’好于‘克新 13 号’。两个品种的 $Y(II)$ 、 $Y(NPQ)$ 和 NPQ 在对持续干旱的适应性上, 初期‘东农 311’的变化幅度小于‘克新 13 号’, 后期克新 13 号的变化幅度小于‘东农 311’, 并且在恢复程度上表现为‘东农 311’好于‘克新 13 号’。

试验用的 2 个品种在持续干旱的条件下, 土壤相对含水量下降和处理时间的增加, 在严重干旱的

条件下‘东农 311’要比‘克新 13 号’表现更好; 同时, ‘东农 311’在复水后恢复速度和程度上好于‘克新 13 号’, 说明其光合系统 II 受到的伤害和胁迫后自我恢复的能力好于‘克新 13 号’。

[参 考 文 献]

- [1] 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.
- [2] Baker N R. Chlorophyll fluorescence: a probe of photosynthesis in vivo [J]. Annual Review of Plant Biology, 2008, 59: 89-113.
- [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] 张仁和, 马国胜, 柴海, 等. 干旱胁迫对玉米苗期叶绿素荧光参数的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(6): 170-176.
- [5] 孙海峰, 战勇, 林海容, 等. 花期干旱对不同基因型大豆叶绿素荧光特性的影响[J]. 大豆科学, 2008, 27(1): 56-60.
- [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(5): 812-816.
- [7] 罗俊, 张木清, 林彦铨, 等. 甘蔗苗期叶绿素荧光参数与抗旱性关系研究[J]. 中国农业科学, 2004, 37(11): 1718-1721.
- [8] 张云华, 王荣富, 阮龙, 等. 水分胁迫对甘薯叶绿素荧光和光合特性的影响[J]. 植物生理科学, 2005, 21(8): 208-210.
- [9] Sukumaran N P, Ezekiel R, Perumal N K. Response of net photosynthetic rate and stomatal conductance to water deficit in different potato cultivars [J]. Photosynthetica, 1989, 23: 664-666.
- [10] 徐建飞, 刘杰, 卞春松, 等. 马铃薯资源抗旱性鉴定和筛选[J]. 中国马铃薯, 2011, 25(1): 1-6.
- [11] 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.
- [12] 陈建明, 余晓平, 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.
- [13] Sarijeva G, Knapp M, Lichtenthaler H K. Differences in photosynthetic activity, chlorophyll and carotenoid levels, and in chlorophyll fluorescence parameters in green sun and shade leaves of Ginkgo and Fagus [J]. Journal of Plant Physiology, 2007, 164(7): 950-955.
- [14] Klughammer C, Schreiber U. Complementary PSII quantum yields calculated from simple fluorescence parameters measured by PAM fluorometry and the Saturation Pulse method [J]. PAM Application Notes, 2008(1): 27-35.
- [15] 钱永强, 周晓星, 韩蕾, 等. Cd²⁺胁迫对银芽柳 PSII 叶绿素荧光光响应曲线的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(20): 6134-6142.
- [16] 韩炜, 徐新文, 李利, 等. 白榆(*Ulmus pumila* L.)光驯化后的快速光曲线变化特征[J]. 干旱区研究, 2010, 27(5): 738-744.