

DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).201702050

干旱胁迫对冬播马铃薯现蕾期叶片叶绿素 荧光参数的影响*

尹智宇^{1#}, 韩德鹏^{1#}, 封永生², 翁大成¹, 许从恩¹, 肖关丽^{1**}

(1. 云南农业大学 农学与生物技术学院, 云南 昆明 650201;

2. 云南省元江县 农业技术推广站, 云南 元江 650033)

摘要:【目的】探明干旱胁迫对冬播马铃薯现蕾期叶绿素荧光参数的影响。【方法】以云南省主栽的马铃薯品种合作 88、丽薯 6 号、宣薯 2 号及会-2 为试验材料, 在冬播马铃薯现蕾期测定干旱胁迫和对照处理的各马铃薯品种的叶绿素荧光参数, 并对各叶绿素荧光指标变幅进行模糊隶属函数分析。【结果】冬播马铃薯在现蕾期干旱胁迫下, 4 个马铃薯品种的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a/b、电子传递效率 (ETR)、实际光化学量子产量 (F_v'/F_m')、光化学淬灭系数 (qP)、最大荧光 (F_m)、可变荧光 (F_v) 和最大光化学量子效率 (F_v'/F_m') 均较对照 (CK) 处理降低, 但初始荧光 (F_0)、非光化学淬灭系数 (qN) 较 CK 处理增加; 供试的 4 个马铃薯品种在干旱胁迫条件下, 与未经干旱处理的对照组 F_v'/F_m' 值均小于 F_v'/F_m' ; 4 个马铃薯品种抗旱性由强到弱依次是: 会-2>宣薯 2 号>合作 88>丽薯 6 号。【结论】现蕾期干旱胁迫对冬播马铃薯叶绿素荧光参数的影响因品种而异。

关键词: 干旱胁迫; 冬播马铃薯; 现蕾期; 叶绿素荧光参数

中图分类号: S 532. 034

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X (2018) 04-0605-06

Effects of Drought Stress on the Chlorophyll Fluorescence Parameters of Winter Sowing Potato Leaves at Squaring Stage

YIN Zhiyu¹, HANG Depeng¹, FENG Yongsheng², WENG Dacheng¹,

XU Congen¹, XIAO Guanli¹

(1. College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. Yuanjiang Agricultural Technology Extension Station, Yuanjiang 650033, China)

Abstract: [Purpose] To understand the effects of drought stress on the chlorophyll fluorescence parameters at the squaring stage of winter potatoes. [Method] Hezuo88, Lishu6, Xuanshu2 and Hui-2 planted in Yunnan Province were used as the experimental materials. The chlorophyll fluorescence parameters of every potato varieties were determined in winter sowing at squaring stage under drought stress and contrast treatment and the fuzzy membership function value of all chlorophyll fluorescence indexes change range were analyzed. [Result] Chlorophyll a, chlorophyll b, chlorophyll a/b, the electron transport rate (ETR), efficiency of open centers of PS II (F_v'/F_m'), photochemical quenching coefficient (qP), the maximum fluorescence (F_m), variable fluorescence (F_v) and max-

收稿日期: 2017-02-28

修回日期: 2017-11-07

网络出版时间: 2018-07-19

*基金项目: 云南省教育厅重大专项 (ZD2015006)。

作者简介: #对本文贡献等同, 为并列第一作者。尹智宇 (1992—), 女, 辽宁东港人, 在读硕士研究生, 主要从事马铃薯抗旱生理研究。E-mail: 455683638@qq.com; 韩德鹏 (1993—), 男, 四川达州人, 在读硕士研究生, 主要从事马铃薯抗旱生理研究。E-mail: 185938003@qq.com

**通信作者 Corresponding author: 肖关丽 (1972—), 女, 云南昭通人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事作物栽培生理研究。E-mail: glxiao9@163.com

网络出版地址: [http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201702050](http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201702050)

imal photochemical efficiency of PS II (F_v/F_m) of four potato varieties under drought stress at squaring stage in winter sowing were lower than contrast treatment (CK), but the initial fluorescence (F_0) and non-photochemical quenching coefficient (q_N) were increased. The F_v'/F_m' from the tested four potato varieties under drought stress condition was lower than that under no drought stress condition. Drought resistance rank of four potato cultivars was Hui-2>Xuanshu2>Hezuo88>Lishu6.

[**Conclusion**] The effects of drought stress at squaring stage on chlorophyll fluorescence parameters of potato in winter sowing were different from the varieties.

Keywords: drought stress; winter sowing potatoes; squaring stage; chlorophyll fluorescence parameter

马铃薯块茎营养丰富, 具有菜粮兼用, 适应性广, 产业链条长, 增产潜力大及生长周期短等特点, 是农民种植增收的主要作物之一^[1]。云南省各地通常以种植春马铃薯为主, 即 3 月播种, 当年 7—10 月收获, 春节期间 (2 月中旬至翌年 5 月中旬) 马铃薯鲜薯上市量很少, 无法满足市场供应。而冬马铃薯于 11 月播种, 翌年 2—5 月收获, 可作为冬春蔬菜错季上市, 在弥补市场空缺的同时还可增加农民收入。云南省具有马铃薯四季种植、周年收获的气候优势, 可大力发展冬马铃薯的种植^[2], 但云南属典型的季风气候, 冬季降水量稀少, 旱情频发, 干旱胁迫严重影响了马铃薯的正常生长发育和产量形成, 抑制了马铃薯产业的良性发展^[3]。所以, 针对云南省冬马铃薯产业发展中存在的干旱问题, 深入研究不同马铃薯品种的抗旱性, 探明不同品种对于干旱胁迫的响应机制显得尤为重要。

光合作用维持植株的生命活动, 是决定生产力高低的重要因素^[4]。干旱胁迫主要是通过降低植物的气孔导度, 使得碳同化速率降低, 不能充分利用吸收的光能, 过剩光能的增加会诱发光抑制和破坏光合机构, 表现为叶绿素含量的降低、光系统反应中心受损, 甚至光合结构功能失活或遭受破坏等^[5-6]。前人研究认为叶绿素荧光动力学对于干旱胁迫十分敏感, 以光合作用理论为基础, 能够快捷、灵敏、无损伤的评价干旱胁迫下, 不同马铃薯品种植株叶内光合机构的运转, 检测光能的吸收与利用^[7-8]。现蕾期是马铃薯植株地上地下部分同时生长的时期, 此时匍匐茎顶端膨大, 块茎开始形成, 是需水量最大的时期, 更是获得丰产的重要时期。为此, 本研究以云南省主栽的 4 个马铃薯品种于冬季播种进行盆栽干旱胁迫试验, 比较现蕾期干旱胁迫与对照条件下各马铃薯

品种叶绿素荧光参数的变幅差异, 明确水分亏缺对冬马铃薯现蕾期荧光特性的影响, 比较品种间的抗旱性, 为冬马铃薯的抗旱栽培及培育优质耐旱的冬马铃薯品种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选用云南省主栽的 4 个马铃薯品种: 合作 88 (晚熟 130 d)、丽薯 6 号 (中晚熟 112 d)、宣薯 2 号 (中晚熟 90 d) 及会-2 (中晚熟 100 d), 均由云南省曲靖市农业科学院提供。

1.2 试验设计

试验于 2015 年 11 月—2016 年 4 月在云南农业大学后山大棚内进行, 地理位置 N 25°18', E 102°35', 海拔 1 930 m, 冬季 (12—2 月) 无严寒, 日照充足, 光强在 800~1 200 lx。天晴少雨, 棚内平均气温 10 ℃, 极端低温 1 ℃, 平均湿度 51.6%。试验用盆选取规格一致的塑料盆, 高 27 cm, 上径 39 cm, 下径 20 cm。试验用土为山地红壤土, pH 值 5.7。每盆装土 10 kg, 施有机肥 (N+P₂O₅+K₂O, 有机质≥60%, 腐殖≥25%, pH=5.5~8) 50 g, 复合肥 [m(N):m(P):m(K)=3:1:1] 10 g, 作为基肥与土壤混匀后装盆。选取健康、大小一致的块茎作为种薯, 于 2015 年 11 月 7 日播种马铃薯。

设每品种每处理 3 盆。马铃薯植株现蕾期阶段开始控水, 于每日早 9:00 采用称重法补水控水并记录, 具体操作方法参考李旺霞等^[9]。干旱胁迫 3 盆为处理, 胁迫至叶片呈萎蔫状态, 土壤相对含水量为 20%~30% 时开始试验, 同期以正常浇水 3 盆为对照 (CK), 始终保持土壤湿润, 土壤相对含水量保持在 75%~85% (处理期间其他管理均一致)。选择晴朗无风天气 (2016 年 2 月 7 日),

取各马铃薯品种植株对照及处理倒 4 顶小叶, 先测定实时荧光, 再测定凌晨荧光, 次日清晨 8: 00 于棚内取样, 放进冰盒中带入实验室测定叶绿素含量, 试验过后将干旱胁迫处理的马铃薯植株正常供水至收获。

1.3 项目测定及方法

叶绿素含量采用浸提法^[10]测定, 3 次重复, 结果取平均值。

叶绿素荧光参数的测定使用 LI-6400XT 仪器所配备的 6400-64 荧光叶室进行测定, 测定前设定 1 000 lx 光强光诱导 30 min, 测定方法参考张永强等^[11]和张仁和等^[12]。取各马铃薯品种植株叶片的倒 4 顶小叶进行测定并标记, 9 次重复 (即随机测定各品种 3 株马铃薯的光合及荧光参数, 均 3 次读数, 求其平均值), 测定时避开主叶脉。实时荧光测定时间为 9: 00—12: 00, 测定干旱胁迫及对照处理的电子传递效率 (ETR)、实际光化学量子产量 (F_v'/F_m')、光化学猝灭系数 (qP)、非光化学猝灭系数 (qN)。凌晨荧光测定时间为凌晨 1: 00~3: 00, 测定前设定 0 lx 光强光诱导 30 min, 测定干旱胁迫及对照处理的最大荧光 (F_m)、最小初始荧光 (F_0)、可变荧光 (F_v)、最大光化学量子效率 (F_v/F_m)。测定后计算各指标变幅。

变幅 (%)=[(处理值-对照值)/对照值]×100
式中, 变幅>0 时, 为升幅; 变幅<0 时, 为降幅。

1.4 统计分析

试验数据使用 Excel 2003 进行整理, 再用 SPSS 17.0 对各项生理指标变幅进行单因素 (One-way ANOVA) 和最小显著差异法 (LSD) 分析, 最后通过计算各供试马铃薯品种叶绿素含量及荧光参数变幅的模糊隶属函数值^[13], 对 4 个马铃薯品种的抗旱性进行综合评价, 加权平均值越大, 该马铃薯品种抗旱性越强。

2 结果与分析

2.1 4 个马铃薯品种处理与对照的土壤含水量

由表 1 可知: 在干旱胁迫下, 4 个马铃薯品种的土壤相对含水量为 21.93%~23.60%, CK 的土壤相对含水量为 80.64%~81.95%, 分别将现蕾期干旱胁迫与对照处理 (正常供水) 的 4 个马铃薯品种的土壤相对含水量值进行方差分析, 干旱胁迫与 CK 处理的 4 个马铃薯品种的土壤相对含水量值差异均不显著, 说明 4 个马铃薯品种在干旱胁迫与 CK 处理的水分环境相同。焦志丽等^[14]研

究不同程度干旱胁迫对马铃薯植株幼苗的影响, 认为土壤含水量在 80% 的田间最大持水量时马铃薯植株长势最好, 土壤含水量在 60% 的田间最大持水量为轻度干旱胁迫, 土壤含水量在 40% 的田间最大持水量为中度干旱胁迫, 土壤含水量在 20% 的田间最大持水量为重度干旱胁迫, 因此认为本试验为重度的干旱胁迫。

表 1 4 个马铃薯品种的土壤含水量

Tab. 1 The soil water contents of four potato varieties

品种 varieties	土壤相对含水量/% relative soil water content	
	对照 CK	干旱处理 (DT) drought treatment
合作 88 Hezuo88	81.55	23.60
丽薯 6 号 Lishu6	80.64	23.01
宣薯 2 号 Xuanshu2	81.95	22.13
会-2 Hui-2	81.40	21.93

2.2 干旱胁迫对马铃薯叶绿素含量的影响

无论干旱胁迫还是 CK 处理 (正常浇水), 4 个马铃薯品种的叶绿素 a 含量均高于叶绿素 b 含量。在干旱胁迫下, 4 个马铃薯品种的叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量、叶绿素 a/b 分别低于 CK, 说明干旱胁迫抑制植株叶内叶绿素的合成, 所以叶绿素 a/b 的值小于 3:1。CK 处理叶绿素 a/b 的值比较接近 3:1, 而干旱胁迫处理后, 叶绿素 a/b 的比值小于 3:1, 说明干旱对叶绿素 a 和叶绿素 b 的影响不同。合作 88 与会-2 的叶绿素 a 含量降幅绝对值大于叶绿素 b, 丽薯 6 号与宣薯 2 号的叶绿素 a 含量降幅绝对值小于叶绿素 b, 说明不同马铃薯品种的叶绿素含量对干旱的响应不同。分别将 4 个马铃薯品种的叶绿素 a 含量、叶绿素 b 含量及叶绿素 a/b 的降幅进行方差分析, 丽薯 6 号的叶绿素 a 含量降幅绝对值高于合作 88, 丽薯 6 号与合作 88 的叶绿素 a 含量降幅绝对值显著高于宣薯 2 号与会-2, 宣薯 2 号的叶绿素 a 含量降幅绝对值高于会-2。丽薯 6 号的叶绿素 b 含量降幅绝对值显著高于合作 88, 宣薯 2 号次之, 会-2 的叶绿素 b 含量降幅绝对值最小。在干旱胁迫下, 叶绿素 a/b 的变幅差异不显著, 但会-2 的叶绿素 a/b 降幅绝对值最小。说明在干旱胁迫下, 会-2 能够维持较高的叶绿素含量水平, 丽薯 6 号植株叶内维持较低的叶绿素含量水平 (表 2)。

表 2 4 个马铃薯品种的叶绿素含量
Tab. 2 The chlorophyll contents of four potato varieties

品种 varieties	叶绿素 a 含量 chlorophyll a content			叶绿素 b 含量 chlorophyll b content			叶绿素 a/b chlorophyll a/b		
	CK/(mg·g ⁻¹)	DT/(mg·g ⁻¹)	CR/%	CK/(mg·g ⁻¹)	DT/(mg·g ⁻¹)	CR/%	CK/(mg·g ⁻¹)	DT/(mg·g ⁻¹)	CR/%
合作 88 Hezuo88	1.92 a	1.29 a	-32.83 b	0.77 a	0.55 a	-28.28 bc	2.51 a	2.36 a	-6.15 a
丽薯 6 号 Lishu6	1.40 a	0.89 a	-37.67 b	0.70 a	0.40 a	-43.89 c	2.30 a	1.91 a	-16.58 a
宣薯 2 号 Xuanshu2	1.65 a	1.42 a	-13.99 a	0.67 a	0.54 a	-19.34 ab	2.67 a	2.46 a	-7.46 a
会-2 Hui-2	1.44 a	1.30 a	-9.83 a	0.63 a	0.58 a	-8.28 a	2.30 a	2.24 a	-2.58 a

注: CR.变幅; 同列小写字母表示不同马铃薯品种于该指标中, 在干旱处理、对照处理及变幅中 0.05 水平的差异显著性; 下同。
Note: CR. change range; lowercase letters following data in the table denote different varieties in significant of difference at level 0.05 under drought treatment, contrast treatment and change range; the same as below.

2.3 干旱胁迫对光适应中马铃薯叶绿素荧光参数的影响

2.3.1 干旱胁迫对 4 个马铃薯品种 ETR 及 F_v'/F_m' 的影响

在干旱胁迫下, 4 个马铃薯品种的 ETR 值与 F_v'/F_m' 值分别低于 CK 处理, 说明干旱胁迫抑制电子传递水平, 使电子传递速率降低, 进而抑制实际光能的捕获效率, 但 4 个品种受影响的程度不同。分别将 4 个马铃薯品种的 ETR 与 F_v'/F_m'

降幅进行方差分析, 丽薯 6 号的 ETR 降幅绝对值显著高于合作 88 与宣薯 2 号, 合作 88 的 ETR 降幅绝对值高于宣薯 2 号, 会-2 的 ETR 降幅绝对值最小。丽薯 6 号的 F_v'/F_m' 降幅绝对值显著高于合作 88, 宣薯 2 号次之, 会-2 的 F_v'/F_m' 降幅绝对值最小。说明在干旱胁迫下, 会-2 能够维持较高的电子传递及实际光化学量子产量水平, 宣薯 2 号次之, 合作 88 再次, 丽薯 6 号植株叶内电子传递及实际光能捕获效率受干旱影响最严重 (表 3)。

表 3 4 个马铃薯品种光适应下测定的叶绿素荧光参数
Tab. 3 The chlorophyll fluorescence parameters of four potato varieties under light adaptation

品种 varieties	电子传递效率 ETR			实际光化学量子产量 F_v'/F_m'			光化学猝灭系数 qP			非光化学猝灭系数 qN		
	CK	DT	CR/%	CK	DT	CR/%	CK	DT	CR/%	CK	DT	CR/%
合作 88 Hezuo88	66.75 a	44.34 ab	-33.15 b	0.36 a	0.31 ab	-15.61 b	0.32 a	0.19 a	-40.09 ab	1.45 b	1.55 b	6.67 ab
丽薯 6 号 Lishu6	70.60 a	35.79 ab	-49.39 c	0.37 a	0.27 b	-26.43 c	0.38 a	0.17 a	-54.13 b	1.36 c	1.56 ab	14.76 a
宣薯 2 号 Xuanshu2	48.19 a	34.32 b	-28.67 b	0.38 a	0.33 a	-11.46 ab	0.27 a	0.18 a	-34.59 ab	1.48 b	1.56 b	5.41 b
会-2 Hui-2	81.78 a	73.67 a	-10.60 a	0.38 a	0.36 a	-5.94 a	0.27 a	0.22 a	-17.39 a	1.62 a	1.66 a	2.25 b

2.3.2 干旱胁迫对 4 个马铃薯品种 qP 及 qN 的影响

在干旱胁迫下, 4 个马铃薯品种的 qP 值较 CK 处理的 4 个马铃薯品种的 qP 值降低, 而 qN 较 CK 处理的 4 个马铃薯品种的 qN 值增加, 这是植株的一种自我保护机制, 但也是一种被动的内耗损的适应方式, 能够维持生存, 但不利于植株的生长。分别将 4 个马铃薯品种的 qP 降幅与 qN 升幅进行方差分析, 在干旱胁迫下, 丽薯 6 号的 qP 降幅绝对值显著高于合作 88 与宣薯 2 号, 合作 88 的 qP 降幅绝对值高于宣薯 2 号, 会-2 的 qP 降幅绝对值最小。在干旱胁迫下, 丽薯 6 号的 qN 升幅显著高于合作 88, 宣薯 2 号的 qN 升幅高于会-2。说明在干旱胁迫下, 会-2 的光系统 II 光合电子传递活性最大, 宣薯 2 号次之, 合作 88 再次, 丽薯 6 号的 PS II 反应中心的开放

程度较其他 3 个马铃薯品种低 (表 3)。

2.4 干旱胁迫对暗适应中马铃薯叶绿素荧光参数的影响

由表 4 可知: 在干旱胁迫下, 4 个马铃薯品种的 F_m 、 F_v 及 F_v'/F_m' 值均较 CK 降低, F_0 由于光反应中心受到不可逆的破坏而上升。将表 4 中的 F_v'/F_m' 与表 5 中的 F_v'/F_m' 值进行对比, 可以看出: 无论干旱胁迫还是正常浇水情况下, F_v'/F_m' 值均大于 F_v'/F_m' , 说明在光适应状态下, 非光化学过程得到活化。在干旱胁迫下, 分别将 4 个马铃薯品种 F_m 降幅与 F_0 的升幅进行方差分析, 品种间的 F_m 降幅与 F_0 升幅的差异均不显著, 说明这 2 个指标在干旱胁迫下较为保守、稳定。分别将 4 个马铃薯品种的 F_v 与 F_v'/F_m' 降幅进行方差分析, 在干旱胁迫下, 丽薯 6 号的 F_v 降幅绝对值显著

高于其他 3 个品种, 合作 88 次之, 宣薯 2 号再次, 会-2 的 F_v 降幅绝对值最小。丽薯 6 号的 F_v/F_m 降幅绝对值高于合作 88, 丽薯 6 号与合作 88 的 F_v/F_m 降幅绝对值显著高于宣薯 2 号和会-2, 会-2 的 F_v/F_m 降幅绝对值高于宣薯 2 号。说明在干旱胁迫下, 丽薯 6 号在光系统 II 中的电子

受体 QA 氧化还原水平最弱, 合作 88 次之, 宣薯 2 号再次, 会-2 在干旱胁迫中能够维持较高的电子受体 QA 氧化还原水平, 合作 88 与丽薯 6 号受光抑制影响最强, 光系统 II 反应中心内禀光能的转换效率最少, 宣薯 2 号与会-2 受光抑制影响较小。

表 4 4 个马铃薯品种暗适应下测定的叶绿素荧光参数
Tab. 4 The chlorophyll fluorescence parameters of four potato varieties under dark adaptation

品种 varieties	最大荧光 F_m			最小初始荧光 F_0			可变荧光 F_v			最大光化学量子效率 F_v/F_m		
	CK	DT	CR/%	CK	DT	CR/%	CK	DT	CR/%	CK	DT	CR/%
合作 88 Hezuo88	1 073.56 a	977.13 a	-8.99 a	184.80 a	219.40 a	18.25 a	858.20 a	785.93 a	-8.43 a	0.81 a	0.74 b	-9.42 b
丽薯 6 号 Lishu6	1 082.92 a	947.83 a	-12.57 a	170.95 a	211.53 a	24.45 a	894.83 a	717.12 a	-19.87 b	0.83 a	0.75 b	-9.97 b
宣薯 2 号 Xuanshu2	1 056.53 a	983.79 a	-6.88 a	188.95 a	201.54 a	6.67 a	858.23 a	793.60 a	-7.54 a	0.82 a	0.80 a	-2.83 a
会-2 Hui-2	1 030.04 a	1 014.40 a	-1.53 a	185.13 a	195.82 a	5.69 a	850.55 a	806.21 a	-5.22 a	0.82 a	0.79 a	-3.25 a

2.5 模糊隶属函数法对 4 个马铃薯品种进行抗旱性综合评价

为避免单一叶绿素荧光参数指标对 4 个马铃薯品种进行抗旱性鉴定评价的片面性, 利用模糊隶属函数进行综合评价较真实可靠, 根据表 5 所示, 4 个马铃薯品种抗旱性由强到弱依次是: 会-2>宣薯 2 号>合作 88>丽薯 6 号。

表 5 各马铃薯品种的隶属函数值
Tab. 5 Subordinate function values of four potato varieties

指标 indexes	合作 88 Hezuo88	丽薯 6 号 Lishu6	宣薯 2 号 Xuanshu2	会-2 Hui-2
叶绿素 a 含量 chlorophyll a	0.42	0.39	0.43	0.57
叶绿素 b 含量 chlorophyll b	0.41	0.54	0.63	0.56
叶绿素 a/b chlorophyll a/b	0.52	0.46	0.53	0.66
电子传递效率 ETR	0.49	0.37	0.46	0.51
实际光化学量子产量 F_v'/F_m'	0.50	0.47	0.58	0.56
光化学猝灭系数 qP	0.39	0.68	0.37	0.44
非光化学猝灭系数 qN	0.48	0.35	0.39	0.66
最大荧光 F_m	0.52	0.35	0.37	0.56
最小初始荧光 F_0	0.35	0.45	0.57	0.58
可变荧光 F_v	0.46	0.40	0.64	0.67
最大光化学量子效率 F_v/F_m	0.43	0.35	0.55	0.66
平均值 average value	0.45	0.44	0.50	0.58
抗旱序位 drought resistance sequence	3	4	2	1

3 讨论

光合作用是马铃薯植株对各种内外因子最敏感的生理过程之一, 叶绿素含量的测定是分析干旱胁迫下冬马铃薯植株叶片光合生理功能的重要手段。干旱胁迫使叶绿素合成受阻, 叶绿素含量降低, 与刘玲玲等^[15]的研究结果相一致。伍泽堂等^[16]认为: 干旱胁迫下氧自由基破坏叶绿素, 叶绿素 a 比叶绿素 b 要稳定; 詹妍妮等^[17]认为: 叶绿素 b 比叶绿素 a 对干旱胁迫敏感。在本试验中, 根据供试 4 个马铃薯品种叶绿素含量降幅数据显示: 丽薯 6 号与宣薯 2 号的叶绿素 a 降幅绝对值小于叶绿素 b, 合作 88 与会-2 的叶绿素 a 降幅绝对值大于叶绿素 b, 因此认为叶绿素 a 和叶绿素 b 对干旱敏感程度因品种而异, 与前人研究结果不一致。

光合作用是一个复杂的过程, 有光反应和暗反应两个阶段, 本研究中: 干旱胁迫使光系统 II 反应中心氧化受损而钝化, 伴随着 F_0 、 qN 上升, ETR、 F_v'/F_m' 、 qP 、 F_m 、 F_v 、 F_v/F_m 较对照下降, 这与前人对春马铃薯^[3, 18-19]的研究结果基本一致。因为水分亏缺抑制光系统 II 反应中心的能量化作用, 所以叶绿素荧光动力学对干旱胁迫十分敏感。KALAPOS 等^[20]研究认为, 在干旱胁迫下, F_v/F_m 和 F_v 的下降与 F_0 有关。在本试验中, F_v 的大小由 F_m 与 F_0 的差决定。在马铃薯叶内叶绿素荧光反应中, F_0 不参与光化学反应的光能辐射部分, 但 F_v 参与。对 4 个马铃薯供试品

种的 F_0 变幅进行方差分析时, 差异不显著, 品种间 F_0 变幅较稳定。由此认为在干旱胁迫下, 4 个马铃薯品种的 F_v 值降低与 F_m 降低有关, 与 F_0 无关。而 F_m 的降低可能是因为在干旱胁迫下, 植株的气孔慢慢闭合, 使得碳同化速率降低, 造成了对光能的利用效率降低了。干旱胁迫下的 F_v/F_m 值较对照处理降低, 则是 F_v 与 F_m 降低的综合结果, 说明干旱胁迫严重抑制光能的有效利用, 电子受体 QA 氧化还原受阻, 导致反应中心受到破坏^[21]。

干旱胁迫下, 4 个马铃薯品种间的叶绿素含量及叶绿素荧光参数的变幅不同, 原因可能是不同品种的光化学特征和光学特性不同, 对干旱胁迫的适应调节能力不同所致, 通常叶绿素含量及叶绿素荧光参数的降幅大小被用来鉴定植物抵御干旱的能力。在干旱胁迫下, 会-2 的多数指标均表现较小的变幅, 丽薯 6 号表现较大的变幅, 因此认为, 马铃薯对干旱的适应调节能力与品种的抗旱性有关, 变幅越大, 该品种抗旱性越弱。马铃薯耐旱性是多基因遗传控制的, 单一指标难以准确的评价不同品种间的耐旱性差异^[22]。所以由模糊隶属函数综合评价可知, 4 个马铃薯品种的抗旱性由强到弱依次是: 会-2>宣薯 2 号>合作 88>丽薯 6 号。

[参考文献]

- [1] 谢从华. 马铃薯产业的现状与发展[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2012(1): 1. DOI: [10.1039/c0sm01291b](#).
- [2] 金璟, 龙蔚, 张德亮, 等. 云南省冬早马铃薯产业发展探讨[J]. 农村经济与科技, 2014(3): 34.
- [3] 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. DOI: [10.3969/j.issn.1672-3635.2011.01.001](#).
- [4] 海梅荣, 陈勇, 周平, 等. 干旱胁迫对马铃薯品种生理特性的影响[J]. 中国马铃薯, 2014, 28(4): 199. DOI: [10.3969/j.issn.1672-3635.2014.04.004](#).
- [5] 冀天会, 张灿军, 杨子光, 等. 冬小麦叶绿素荧光参数与品种抗旱性的关系[J]. 麦类作物学报, 2005, 25(4): 64. DOI: [10.3969/j.issn.1009-1041.2005.04.014](#).
- [6] 张振平, 齐华, 杜妍妍, 等. 水分胁迫对玉米 P 群自交系沈 137 光合特性的影响[J]. 玉米科学, 2009, 17(2): 95.
- [7] 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. DOI: [10.3969/j.issn.1004-1524.2006.01.012](#).
- [8] MISRA A N, SRIVASTAVA A, STRASSER R J. Utilization of fast chlorophyll a fluorescence technique in assessing the salt/ion sensitivity of mung bean and *Brassica* seedlings[J]. Journal of Plant Physiology, 2001, 158(9): 1173. DOI: [10.1078/S0176-1617\(04\)70144-3](#).
- [9] 李旺霞, 陈彦云. 土壤水分及其测量方法的研究进展[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(10): 335. DOI: [10.3969/j.issn.1002-1302.2014.10.114](#).
- [10] 苏正淑, 张宪政. 几种测定植物叶绿素含量的方法比较[J]. 植物生理学通讯, 1989(5): 77.
- [11] 张永强, 毛学森, 孙宏勇, 等. 干旱胁迫对冬小麦叶绿素荧光的影响[J]. 中国生态农业学报, 2002, 10(4): 17.
- [12] 张仁和, 郑友军, 马国胜, 等. 干旱胁迫对玉米苗期叶片光合作用和保护酶的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(5): 1303.
- [13] 何雪银, 文仁来, 吴翠荣, 等. 模糊隶属函数法对玉米苗期抗旱性的分析[J]. 西南农业学报, 2008, 21(1): 52. DOI: [10.3969/j.issn.1001-4829.2008.01.012](#).
- [14] 焦志丽, 李勇, 吕典秋, 等. 不同程度干旱胁迫对马铃薯幼苗生长和生理特性的影响[J]. 中国马铃薯, 2011, 25(6): 329. DOI: [10.3969/j.issn.1672-3635.2011.06.003](#).
- [15] 刘玲玲, 李军, 李长辉, 等. 马铃薯可溶性蛋白、叶绿素及 ATP 含量变化与品种抗旱性关系的研究[J]. 中国马铃薯, 2004, 18(4): 201. DOI: [10.3969/j.issn.1672-3635.2004.04.003](#).
- [16] 伍泽堂. 超氧自由基与叶片衰老时叶绿素破坏的关系(简报)[J]. 植物生理学通讯, 1991(4): 277.
- [17] 詹妍妮, 郁松林, 陈培琴. 果树水分胁迫反应研究进展[J]. 中国农学通报, 2006, 22(4): 239. DOI: [10.3969/j.issn.1000-6850.2006.04.064](#).
- [18] BASU P S, SHARMA A, SUKUMARAN N P. Changes in net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in potato leaves induced by water stress[J]. Photosynthetica, 1998, 35(1): 13. DOI: [10.1023/A:1006801311105](#).
- [19] BASU P S, SHARMA A, GARG, et al. Tuber sink modifies photosynthetic response in potato under water stress[J]. Environmental and Experimental Botany, 1999, 42(1): 25. DOI: [10.1016/S0098-8472\(99\)00017-9](#).
- [20] KALAIPOS T, MÁZSA K. Juniper shade enables terricolous lichens and mosses to maintain high photochemical efficiency in a semiarid temperate sand grassland[J]. Photosynthetica, 2001, 39(2): 263. DOI: [10.1023/A:1013749108008](#).
- [21] 张秋英, 李发东, 高克昌, 等. 水分胁迫对冬小麦光合特性及产量的影响[J]. 西北植物学报, 2005, 25(6): 1184. DOI: [10.3321/j.issn:1000-4025.2005.06.022](#).
- [22] 王晨曦, 薛婷, 倪苏, 等. 马铃薯品种米拉无性变异系“Rsy17”的耐旱性评价[C]//中国作物学会马铃薯专业委员会 2013 年马铃薯大会论文集, 2013.

责任编辑: 何承刚