

干旱胁迫对马铃薯叶片超微结构及生理指标的影响

张丽莉^{1,2}, 石 瑛², 祁 雪², 王庆祥¹, 崔 琳²

(1. 沈阳农业大学, 辽宁 沈阳 110866; 2. 东北农业大学, 黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要: 选用不耐旱品种‘费乌瑞它’、耐旱性较强品种‘东农 308’和耐旱品种‘晋薯 2 号’的脱毒试管苗为材料, 利用含有 20% PEG-6000 的 MS 液体培养基进行水分胁迫处理, 研究干旱胁迫对马铃薯叶片细胞超微结构和生理指标的影响。结果表明: 叶绿体对干旱胁迫反应最为敏感且受损伤最重, 胁迫后叶绿体外形肿胀变圆, 片层开始松散, 间隙增大, 甚至出现孔洞。线粒体次之, 外膜破坏, 嵴减少。对细胞核的影响相对较小。‘费乌瑞它’超微结构损伤最严重, ‘东农 308’次之, ‘晋薯 2 号’伤害最轻。超微结构发生变化的同时, 各项生理指标也随之改变。3 个品种丙二醛(MDA)含量升高 48.89%~243.27%, 并且都达到极显著水平; 过氧化物酶(POD)活性升高 2.06%~32.98%, ‘费乌瑞它’和‘晋薯 2 号’分别达到极显著和显著水平; 不同品种的超氧化物歧化酶(SOD)活性和叶绿素含量变化趋势不一致。上述指标中, 丙二醛含量和叶绿体超微结构变化显著, 并能较好地表现出不同品种之间抗旱性的差异。

关键词: 干旱胁迫; 马铃薯; 叶片细胞; 品种抗旱性; 超微结构; 生理指标

中图分类号: S311 **文献标志码:** A

Effects of drought stress on the ultrastructure and physiological indexes of leaf cells in three potato varieties

ZHANG Li-li^{1,2}, SHI Ying², QI Xue², WANG Qing-xiang¹, CUI Lin²

(1. College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866, China;

2. College of Agronomy, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

Abstract: To clarify the effects of drought stress on potato leaf subcellular structure and physiological indexes, plantlets of three potato varieties with different drought-resistance capabilities were selected as materials to be cultured in MS liquid medium with 20% PEG-6000. Favorita was sensitive to drought, Dongnong 308 possessed relatively stronger drought tolerance, and Jinshu 2 was a drought-tolerant variety. The results showed that the most serious damage by drought stress occurred in chloroplast, and then mitochondria, while damage on nucleus was not obvious. Chloroplast morphology turned to be wavelike or swollen. Chloroplast lamellae became loosened, and the interspaces between lamellar structures became large, exhibiting some holes sometimes. The membrane of mitochondria was disrupted, and the cristae was partially degraded. Ultrastructure of Favorita was damaged most seriously, followed by Dongnong 308, and Jinshu 2 was the least. With the changes in ultrastructure after drought stress, the physiological indexes also displayed changes. The contents of malondialdehyde (MDA) in plantlets of three varieties under in vitro stress were increased by 48.89%~243.27%, significantly different from the control with water treatment. The activities of peroxidase (POD) ascended by 2.06%~32.98%. Favorita and Jinshu 2 reached highly significant and significant levels, respectively. The superoxide dismutase (SOD) activities and chlorophyll contents in all three varieties displayed varying trends. In summary, after drought stress, the contents of MDA and the chloroplast ultrastructure of plantlets in vitro were changed significantly, reflecting variances in drought resistance capabilities of different varieties.

收稿日期: 2014-03-15

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-10)

作者简介: 张丽莉(1976—), 女, 黑龙江人, 硕士研究生, 研究方向为马铃薯高产栽培与逆境调控分子生物学。E-mail: zhanglizw@163.com。

通信作者: 王庆祥(1956—), 男, 博士, 教授, 主要从事作物栽培及作物生理学研究。E-mail: zhaopcau@yahoo.com.cn。

Keywords: potato; drought stress; ultrastructure of mesophyll cells; drought resistance of varieties; physiological indexes

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L) 为全球第四大栽培作物^[1], 种植马铃薯的国家达到 150 多个^[2]。中国的马铃薯种植面积和总产量居世界之首, 其主产区多分布在降雨量少的干旱或半干旱地区, 而马铃薯属于典型的温带气候作物, 对水分的亏缺十分敏感^[3]。随着地球变暖和环境不断恶化, 水资源日益短缺, 干旱严重威胁着马铃薯生产。

干旱是限制植物生长发育和作物产量的最主要因素之一, 每年导致作物减产 50% 以上^[4]。因此, 人们对干旱胁迫下植物的生理响应、抗旱形态结构以及分子调控进行了深入的研究, 发现干旱胁迫不仅能使抗氧化酶系统紊乱^[5-7]、光合作用降低^[8-10]、代谢途径破坏^[11]; 也会改变组织器官的超微结构^[12-13], 而且超微结构的损伤程度与植物的耐旱性相关^[14]。并在不同作物上发现了多个抗旱基因, 如渗透调节基因、抗氧化剂及分子伴侣。多年来, 人们对干旱胁迫下马铃薯的形态结构、生理特性研究较多^[15-16], 而对于超微结构的影响尚未涉及。为此, 本文以 3 个抗旱性不同的马铃薯品种为材料, 对干旱胁迫下马铃薯叶肉细胞超微结构的变化进行了观察, 并对相应生理指标进行了测定, 旨在探讨不同品种的抗旱结构和生理差异, 为建立马铃薯抗旱评价体系及抗旱品种的选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

实验材料为马铃薯品种费乌瑞它 (抗旱性一般)、东农 308 (抗旱性较强) 和晋薯 2 号 (抗旱性强) 液体培养 20 d 的脱毒试管苗, 株高 8 cm 左右, 具有 6~7 片叶, 由东北农业大学马铃薯研究所提供。

1.2 方法

1.2.1 基础苗培养 将培养 20 d 的马铃薯脱毒试管苗去除顶芽和基部茎段, 剪成带有 2 片叶的长茎段, 每瓶 10 个茎段成簇轻轻悬浮在少量培养基上 (100 mL 培养瓶中装 20 mL 液体 MS 培养基), 每份材料的对照和处理至少接种 15 瓶。实验设置 3 次重复。培养条件为温度 (25 ± 2) °C、光强 160 ~ 240 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、光照 16 h · d⁻¹, 浅层静止培养 18 d 后, 处理组材料在超净工作台中, 将剩余的液体培养基倒出, 加入含有 20% PEG - 6000 的 MS 液体培养基, 继续培养 3 d 后取材制备电镜切片和测定相应生理指标。

1.2.2 测定方法 每个品种每个处理剪取整株试管苗混合, 用于各项生理指标的测定, 各项生理指标值均为鲜重条件下测定值。

叶绿素含量测定: 采用乙醇 - 丙酮混合液法^[17]。

丙二醛的测定: 采用硫代巴比妥酸法^[18]。

SOD 的测定: 采用氮蓝四唑法^[19]。

POD 的测定: 采用愈创木酚法^[20]。

1.2.3 电镜样品的制备与观察 选取试管苗上部展开的第 2、3 片叶, 将所取的叶片切成 1 mm × 3 mm 的长方形, 放入 2.5%、pH 6.7 的戊二醛中, 于 4°C 固定 24 h → pH 6.8 磷酸缓冲液冲洗 3 次 → 2% 四氧化锇固定 1.5 h → pH 7.2 磷酸缓冲液冲洗 3 次 → 50%、70%、90%、100% 乙醇逐级脱水 → 100% 乙醇与 100% 丙酮 (1:1) 过渡, 在 4°C 下进行 → 加 100% 丙酮置于室温中 5 min → 环氧树脂 812 渗透、包埋 → 置于恒温箱内聚合 → ULPRACUT - EXINXIN 型超薄切片机切片 → 醋酸双氧铀和柠檬酸铅溶液 25°C 染色, H - 7650 型透射电子显微镜观察、拍照。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对马铃薯叶片超微结构的影响

在正常的生长条件下, 费乌瑞它、东农 308 和晋薯 2 号的细胞饱满, 质壁贴合紧密, 细胞膜清晰。叶绿体为梭形或椭圆形, 外形规则, 被膜结构清晰, 基粒片层沿叶绿体长轴方向排列并紧贴于细胞膜上, 基粒和基质类囊体膜结构清晰; 基粒排列整齐, 叶绿体内含有少量淀粉粒。线粒体的内、外膜及嵴清晰可见, 分布在叶绿体周围。细胞核饱满、核仁、核膜完整清晰 (见图 1)。

在干旱胁迫下, 3 个品种的细胞结构发生不同程度的改变, 细胞皱缩, 质壁分离, 细胞膜、叶绿体膜、线粒膜不同程度破损。干旱胁迫对叶绿体损伤最重, 线粒体次之, 细胞核相对较小 (如图 2 所示)。叶绿体肿胀变圆, 片层开始松散, 片层之间的间隔增大。费乌瑞它的叶绿体损伤最严重, 片层结构完全消失, 并出现较大空隙; 东农 308 的次之, 叶绿体片层结构消失, 但未见空隙; 晋薯 2 号受害最轻, 虽然部分片层紊乱, 但还可以看见基粒。线粒体外膜膨胀变形, 难以辨认出内、外膜之间的界限, 线粒体嵴均减少或者不明显。细胞核轻微皱缩, 但核仁变化不明显 (见图 3)。

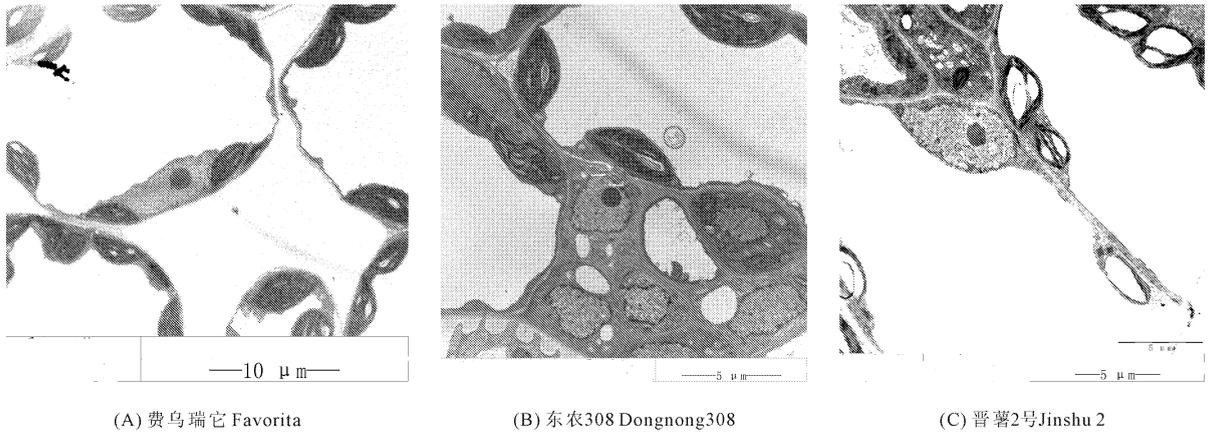


图 1 正常生长的 3 个马铃薯品种叶肉细胞的超微结构

Fig.1 Ultrastructure of mesophyll cells of three potato varieties under well-watered conditions

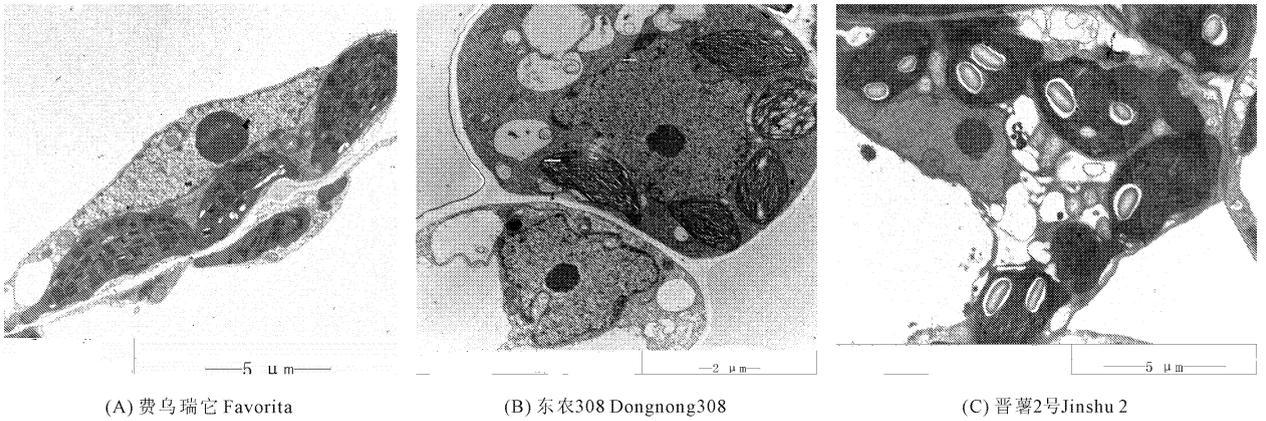


图 2 干旱胁迫条件下 3 个马铃薯品种叶肉细胞的细胞核、线粒体、叶绿体结构

Fig.2 Nucleus, mitochondria and chloroplast of mesophyll cells of three potato varieties under water stress conditions

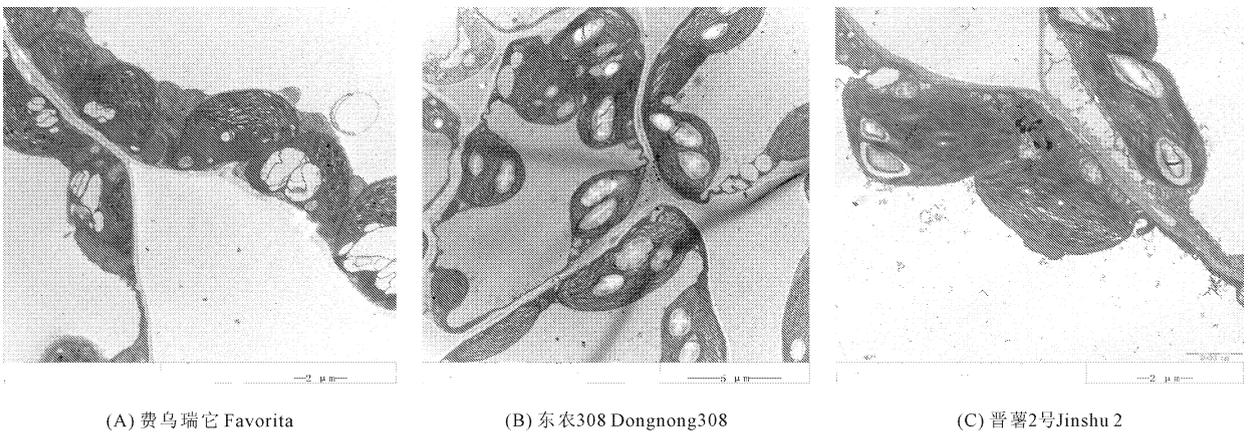


图 3 干旱胁迫条件下 3 个马铃薯品种叶肉细胞的叶绿体、线粒体结构

Fig.3 Chloroplast and mitochondria of mesophyll cells of three potato varieties under water stress conditions

2.2 干旱胁迫对马铃薯试管苗叶绿素的影响

叶绿素是绿色植物进行光合作用的物质基础,由叶绿素 a 和叶绿素 b 组成,叶绿素含量的高低和变化规律是衡量叶片生理活性变化规律的重要指标之一。由图 4 可以看出,干旱胁迫后,费乌瑞它和晋

薯 2 号的叶片叶绿素含量有所降低,分别下降 12.95% 和 7.75%,而东农 308 却比对照升高 0.31%。三个品种与对照相比,差异不显著。三个品种的叶绿素 a 含量变化与总叶绿素含量变化规律一致,而三个品种的叶绿素 b 含量均低于对照水平,

下降幅度最大的为晋薯 2 号,下降幅度为 42.71%, 达到显著水平(见表 1)。

表 1 干旱胁迫对叶片叶绿素 a 和叶绿素 b 含量的影响

Table 1 Effects of drought stress on the chlorophyll a and b contents

处理 Treatment	叶绿素 a 含量/(mg·g ⁻¹) Chlorophyll - a content			叶绿素 b/(mg·g ⁻¹) Chlorophyll - b content		
	费乌瑞它 Favorita	东农 308 Dongnong308	晋薯 2 号 Jinshu 2	费乌瑞它 Favorita	东农 308 Dongnong308	晋薯 2 号 Jinshu 2
对照 CK	1.6166 ± 0.14a	1.8052 ± 0.06a	2.0708 ± 0.03a	0.7736 ± 0.03a	0.7921 ± 0.05a	0.7268 ± 0.03a
干旱处理 Drought stress	1.3816 ± 0.05a	1.8179 ± 0.03a	1.9627 ± 0.05b	0.6991 ± 0.03a	0.7874 ± 0.09a	0.4164 ± 0.03b
降低幅度 Decline percent	14.54%	-0.70%	5.22%	9.63%	0.59%	42.71%

注:同列相小写字母相同表示差异不显著($P \leq 0.05$)

Note: The same small letters in the same column meant no significant difference at 0.05 levels.

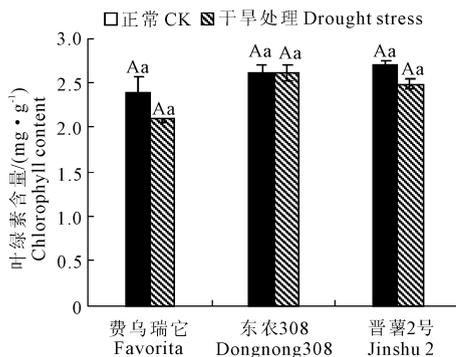


图 4 干旱胁迫对马铃薯试管苗叶绿素含量的影响

Fig.4 Effects of drought stress on chlorophyll contents of potato plantlets in vitro

注:同组不同大、小写字母分别表示差异极显著($P \leq 0.01$)和显著($P \leq 0.05$)。下同

Note: Different capital and small letters in the same column meant significant differences at 0.01 and 0.05 levels, respectively, and hereinafter.

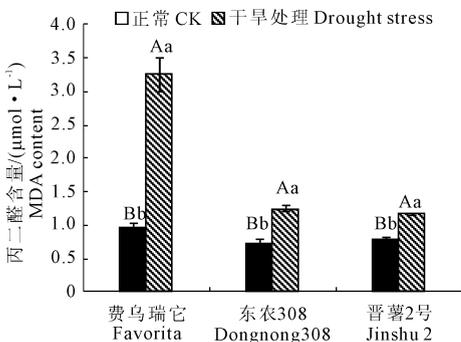


图 5 干旱胁迫对马铃薯试管苗丙二醛含量的影响

Fig.5 Effects of drought stress on MDA contents of potato plantlets in vitro

2.3 干旱胁迫对马铃薯试管苗丙二醛的影响

当植物遭受逆境时,质膜的透性增大,并积累较高的活性氧,在活性氧的攻击下产生较多的丙二醛,进而表现出较高的膜脂过氧化水平,造成膜的伤害。如图 5 所示,在干旱胁迫后,三个品种的丙二醛含量

大幅度增加,与对照相比都达到了极显著水平,升高幅度最大的为费乌瑞它,上升了 243.27%;变化幅度最小的为晋薯 2 号,上升了 48.89%。

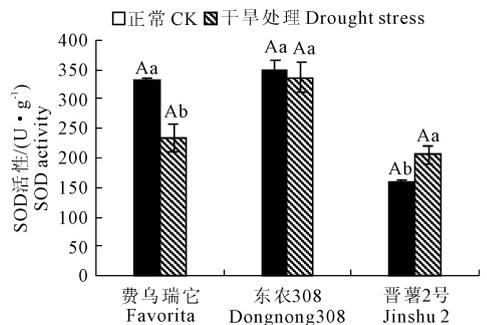


图 6 干旱胁迫对马铃薯试管苗 SOD 活性的影响

Fig.6 Effects of drought stress on the activities of SOD of potato plantlets in vitro

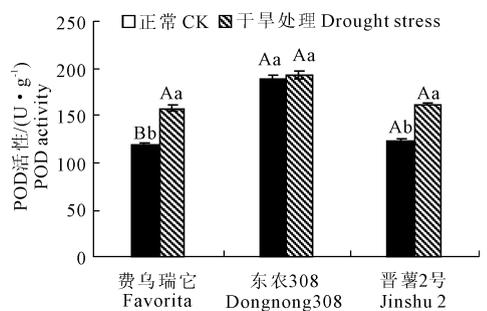


图 7 干旱胁迫对马铃薯试管苗 POD 活性的影响

Fig.7 Effects of drought stress on the activities of POD of potato plantlets in vitro

2.4 干旱胁迫对马铃薯试管苗超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

SOD 是植物抗氧化系统的第一道防线,可以清除细胞中多余的活性氧,使体内活性氧维持在一个低水平上,从而防御活性氧引起的膜质过氧化及其它伤害过程,提高自身的抗逆性。由图 6 可见,干旱胁迫后,费乌瑞它和东农 308 的 SOD 活性降低,分

别下降了 29.84% 和 4.08%, 晋薯 2 号的 SOD 活比对照提高了 30.47%。说明在干旱胁迫下, 晋薯 2 号耐旱能力较强。

2.5 干旱胁迫对马铃薯试管苗过氧化物酶(POD)活性的影响

POD 也是植物保护酶类之一, 与 SOD 协同作用来防御活性氧毒害。它普遍存在于植物体内, 活性较高, 并与光合作用、呼吸作用、生长素的氧化有密切关系。从图 7 中可以看出, 三个品种马铃薯试管苗的 POD 活性在干旱胁迫条件下均上升, 上升幅度由大到小的顺序为费乌瑞它、晋薯 2 号和东农 308, 活性分别提高了 32.98%、31.96% 和 2.06%。与对照相比费乌瑞它和晋薯 2 号差异分别达到极显著和显著水平。

3 讨论

马铃薯为无性繁殖作物, 无论是生产单位还是科研机构都会用脱毒试管苗对马铃薯资源进行保存。以马铃薯脱毒试管苗为材料的实验体系, 不仅可以避免病虫害及不良环境的干扰, 而且可以缩短实验周期, 省时、省力、高效。本实验以 3 个抗旱能力不同的马铃薯品种脱毒试管苗为实验材料, 来研究水分胁迫对马铃薯不同耐旱品种叶片超微结构和相应的生理指标的影响, 可以筛选出抗旱资源评价的有效指标, 为马铃薯抗旱评价体系建立提供参考。

处于干旱条件下, 细胞内质膜受到损伤时活性氧的产生和清除代谢平衡遭到破坏, 超氧阴离子($O_2^{\cdot-}$)过多积累造成细胞膜脂过氧化和膜蛋白聚合, 从而损伤植物的超微结构^[21], 最终对植物体造成伤害^[22]。植物可以通过提高保护酶的活性来防御和清除自由基, 进而保护细胞免受伤害。MDA 是膜脂氧化的最终产物, 其含量的高低在一定程度上反映了不同马铃薯品种对水分胁迫的敏感程度^[23], 本实验中, 水分胁迫后 3 个品种 MDA 含量都有所增加, 与对照相比都达到极显著水平, 抗旱品种晋薯 2 号变化最小, 膜系统受到损伤轻; 抗旱性低的品种费乌瑞它增加的幅度最大, 膜系统受到的损伤最严重。干旱胁迫后, SOD、POD 活性有增加趋势^[24], 但随着干旱胁迫时间的延长, 叶片细胞保护酶活性不同程度地下降^[25]。本研究中, 胁迫后 3 个品种的 POD 活性升高, 与他人的研究结果一致。费乌瑞它和东农 308 的 SOD 酶活有所降低, 可能取样时已经超过酶活性的阈值而有所下降; 而晋薯 2 号的活性增加, 也表明了其抗旱能力强。细胞色素系统遭到破坏, 导致叶绿素含量降低^[26]。费乌瑞它和

晋薯 2 号的叶片叶绿素含量有所降低。

干旱胁迫后, 不同基因型品种细胞超微结构的损伤程度存在显著差异, 表现品种间耐旱性的差异^[27]。叶片细胞中叶绿体和线粒体是对干旱胁迫比较敏感的两个细胞器^[28-29], 并且它们的受损程度与抗旱性强弱相对应, 即抗旱性强的品种细胞器受伤害较轻, 抗旱性弱的品种细胞器受伤害较重^[30]。叶绿体外形、其基粒和基质类囊体膜结构、基粒的排列和线粒体膜及嵴的完整性, 可以考虑作为耐旱性强弱的形态结构指标^[31]。本实验中, 干旱胁迫对 3 个品种的细胞结构造成不同程度的损伤, 细胞皱缩, 质壁分离, 各细胞器的膜不同程度破损。对体叶绿体损伤最重, 线粒体次之, 细胞核相对较小。在脱毒试管苗叶肉细胞中, 叶绿体含量丰富、体积大, 胁迫后片层结构、排列方式变化差异较明显, 且与品种的抗旱性强弱相对应, 虽然线粒体变化也比较明显, 但其体积小, 不便于观察。因此, 叶绿体的损伤程度能较好得表现不同品种抗旱性的差异。

干旱胁迫后, 丙二醛含量和叶绿体超微结构变化显著, 并能较好地表现出不同品种之间抗旱性的差异。因此, 在对材料进行抗旱评价或体系筛选时, 选择抗旱指标时可以优先考虑丙二醛含量和叶绿体超微结构变化。

参考文献:

- [1] Vasquez-Robinet C, Mane S P, Ulanov A V, et al. Physiological and molecular adaptations to drought in Andean Potato genotypes[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2008, 59(8):2109-2123.
- [2] 庞芳兰. 发达国家马铃薯种薯产业的发展及其启示[C]//陈伊里, 屈冬玉. 马铃薯产业—更快更高更强. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学出版社, 2008, 16-19.
- [3] 白雅梅. 马铃薯的需水特性及水分胁迫对其生理特性的影响[J]. *马铃薯杂志*, 1990, 13(2): 120.
- [4] 唐益苗, 赵昌平, 高世庆, 等. 植物抗旱相关基因研究进展[J]. *麦类作物学报*, 2009, 29(1): 166-173.
- [5] Chaves M M, Pereira J S, Maroco J P. Understanding plant response to drought from genes to the whole plant[J]. *Funct Plant Biol*, 2003, 89:239-264.
- [6] Olmos E, Sánchez-Blanco M J, Ferrández T, et al. Subcellular effects of drought stress in *Rosmarinus officinalis*[J]. *Plant Biol*, 2007, 9(1), 77-84.
- [7] 夏红明, 赵培方, 刘家勇, 等. 干旱胁迫对甘蔗保护酶活性等生理指标的影响[J]. *西南农业学报*, 2013, 28(5): 1824-1829.
- [8] 张仁和, 薛吉全, 浦军, 等. 干旱胁迫对玉米苗期植株生长和光合特性的影响[J]. *作物学报*, 2011, 37(3): 521-528.
- [9] 邓丽娟, 沈红香, 姚允聪. 观赏海棠品种对土壤干旱胁迫的响应差异[J]. *林业科学*, 2011, 47(3): 25-32.
- [10] 王成媛, 赵磊, 王伯伦, 等. 干旱胁迫对水稻生育性状与生理

- 指标的影响[J].农学学报,2014,4(1):4-14.
- [11] 周宇飞,王德权,陆樟镛,等.干旱胁迫对持绿性高粱叶片渗透调节及叶绿体超微结构的影响[J].应用生态学报,2013,24(9):2545-2550.
- [12] 郭素枝,张明辉,邓传远,等.干旱胁迫对茉莉3个品种叶片光合特性和超微结构的影响[J].热带亚热带植物学报,2013,21(2):123-129.
- [13] 徐当会,王军平,张仁赉,等.干旱和复水过程中荒漠植物红砂叶片和枝条超微结构的变化[J].兰州大学学报(自然科学版),2013,49(1):70-75.
- [14] 王程栋,王树声,胡庆辉.干旱胁迫对烤烟叶肉细胞超微结构的影响[J].中国农学通报,2012,28(07):104-108.
- [15] 李建武,王 蒂,雷武生.干旱胁迫对马铃薯叶片膜保护酶系统的影响[J].江苏农业科学,2007,9(3):100-103.
- [16] 抗艳红,龚学臣,赵海超,等.不同生育时期干旱胁迫对马铃薯生理生化指标的影响[J].中国农学通报,2011,27(15):97-101.
- [17] 张宪政.植物叶绿素含量测定—丙酮乙醇混合液法[J].辽宁农业科学,1986,(3):26-28.
- [18] 李合生,孙 群.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:105-109.
- [19] 李仲光.在单一提取系统中同时测定五种植物抗氧化酶[J].云南师范大学学报,2002,22(6):44-47.
- [20] 陈建勋,王晓峰.植物生理学实验指导[M].广州:华南理工大学出版社,2002:119-122.
- [21] 陈少瑜,郎南军,贾利强,等.干旱胁迫对坡柳等抗旱树种幼苗膜脂过氧化及保护酶活性的影响[J].植物研究,2006,26(1):88-92.
- [22] Smimoff N. The role of active oxygen in response of plants to water deficit and desiccation[J]. New Phytol, 1993,125(1):27-58.
- [23] 李建武,王 蒂,司怀军,等.水分胁迫下马铃薯试管苗的生理响应[J].甘肃农业大学学报,2005,40(3):319-323.
- [24] 林永英.水分胁迫对青冈叶片活性氧的伤害[J].福建林业大学学报,2002,22(1):1-3.
- [25] 王振镒,郭蔼光,罗淑萍.水分胁迫对玉米 SOD 和 POD 活力及同工酶的影响[J].西北农业大学学报,1989,17(1):45-49.
- [26] Shaterian J, Waterer D R, de Jong H, et al. Methodologies and traits for evaluating the salt tolerance in diploid potato clones[J]. Am J Pot Res, 2008, 85:93-100.
- [27] 白志英,李存东,屈 平,等.干旱胁迫对小麦中国春 - Synthetic 6x 代换系叶片超微结构的影响[J].电子显微学报,2009,28(1):68-73.
- [28] 郁 慧,刘中亮,胡宏亮,等.干旱胁迫对 5 种植物叶绿体和线粒体超微结构的影响[J].植物研究,2011,31(2):152-158.
- [29] 吴建慧,崔艳桃,赵倩竹.干旱胁迫下 4 种委陵菜属植物叶片的超微结构[J].草业科学,2013,29(11):1724-1730.
- [30] 任丽花,黄敏敏,江枝和,等.干旱胁迫对圆叶决明叶片超微结构的影响[J].中国草地学报,2008,30(1):230-234.
- [31] 陈健辉,李荣华,郭培国,等.干旱胁迫对不同耐旱性大麦品种叶片超微结构的影响[J].植物学报,2011,46(1):28-36.

(上接第 25 页)

- [6] 高小丽,刘淑英,王 平,等.西北半干旱地区有机无机肥配施对胡麻养分吸收及产量构成的影响[J].西北农业学报,2010,19(2):106-110.
- [7] 沈建楠,刘 娟,李春霞.不同磷肥施用量对胡麻生育性状及产量的影响[J].现代农业科技,2013,21:14,18.
- [8] 谢亚萍,闫志利,李爱荣,等.施磷量对胡麻干物质积累及磷素利用效率的影响[J].核农学报,2013,27(10):1580-1587.
- [9] 李成虎.氮肥不同施用量对胡麻产量的影响[J].农业科技与信息,2010,21:41-42.
- [10] 高鸿飞.氮肥不同施用量对胡麻产量的影响[J].宁夏农林科技,2010,(6):36,66.
- [11] 王玉富,粟建光.亚麻种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [12] 李文珍.旱地胡麻配方施肥试验[J].甘肃农业科技,2011,(2):39-40.
- [13] 索全义,郝虎林,索风兰,等.磷钾化肥对胡麻产量形成的影响[J].内蒙古农业科技,2002,(土肥专辑):18-19.
- [14] 蒲武杰.山旱地胡麻氮磷肥配合效应研究[J].陕西农业科学,1999,(5):13-15.
- [15] Graciano C, Guamt J J, Goya J F. Impact of nitrogen and phosphorus fertilization on drought responses in eucalyptus grandis seedlings [J]. Forest Ecology and Management, 2005,212(1):40-49.
- [16] 蔺海明,纪 瑛,王 斌,等.生荒地氮磷配施对苦参苗生长和苦参总碱含量的影响[J].草业学报,2010,19(3):102-109.
- [17] 魏景云,高炳德,索全义,等.应用目标产量法对胡麻配方施肥的研究[J].内蒙古农业科技,1998,(6):4-8.
- [18] 梁淑珍,姚晏如,汪仲敏.旱地胡麻专用肥氮磷优化组合方案研究[J].甘肃科技,1995,(3):13-14.
- [19] 松生满,田 丰.不同二铵施用量对胡麻产量的影响[J].青海农林科技,2007,(4):14-16.