

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2023)02-0110-08

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2023.02.002

干旱胁迫条件下马铃薯品种的抗旱性评价

王娟^{1,2}, 刘全亮¹, 水建兵², 史丽萍¹, 冯梅¹, 李珍妮¹, 连小峰¹, 陈小丽^{1*}

(1. 定西市农业科学研究院, 甘肃 定西 743000; 2. 甘肃定西百泉马铃薯有限公司, 甘肃 定西 743000)

摘要: 马铃薯的抗旱性鉴定可以通过干旱胁迫下的抗旱系数及生理生化指标变化的差异来确定。研究测定5个马铃薯品种在干旱胁迫条件下的抗旱系数及生理生化指标。与正常供水处理相比, 干旱胁迫处理下5个品种的茎粗、株高和根长均降低, 平均减幅分别为22.70%、17.42%、36.78%。各品种的叶片含水量均降低, ‘定薯3号’减幅最小, ‘定薯1号’减幅最大。干旱胁迫处理下各品种的离体叶片失水率和根含水率有增加也有减小, 叶片含水量和离体叶片失水率均以‘青薯9号’最高, 根含水率则以‘陇薯10号’最高。各品种的抗旱系数在0.875 4~0.940 9, 均属于高抗品种。干旱胁迫处理后, 各品种较正常供水处理脯氨酸含量均增加, ‘青薯9号’增幅高达203.72%。各品种丙二醛含量均增加, ‘青薯9号’增幅最小, 为3.03%。各品种可溶性蛋白含量均增加。在新品种选育亲本选配及推广过程中, 可结合各品种的抗旱特性以及生理指标进行鉴别应用。

关键词: 马铃薯; 干旱胁迫; 抗旱系数; 脯氨酸; 丙二醛; 可溶性蛋白

Evaluation of Drought Resistance of Potato Varieties Under Drought Stress

WANG Juan^{1,2}, LIU Quanliang¹, SHUI Jianbing², SHI Liping¹, FENG Mei¹, LI Zhenni¹, LIAN Xiaofeng¹, CHEN Xiaoli^{1*}

(1. Dingxi Academy of Agricultural Sciences, Dingxi, Gansu 743000, China;

2. Gansu Dingxi Baiquan Potato Co., Ltd., Dingxi, Gansu 743000, China)

Abstract: The drought resistance of potato can be determined by the differences of drought resistance coefficient, physiological and biochemical indexes under drought stress. In this study, the drought resistance coefficient, physiological and biochemical indexes of five potato varieties under drought stress were determined. Compared with normal watering, stem diameter, plant height and root length of five varieties under drought stress decreased by 22.70%, 17.42% and 36.78%, respectively. Leaf water content of all varieties under drought stress decreased, with decrease of 'Dingshu 3' being the smallest, and 'Dingshu 1' being the largest. No obvious change pattern was found for detached leaf water loss rate and root water content in tested varieties under drought stress. The leaf water content and water loss rate of detached leaves were the highest in 'Qingshu 9', and the root water content was the highest in 'Longshu 10'. The drought resistance coefficient of all varieties ranged from 0.875 4 to 0.940 9, which belongs to high resistance varieties. After drought stress treatment, the proline content of all varieties increased compared with normal water

收稿日期: 2023-03-15

基金项目: 甘肃省技术创新引导计划(22CX3GJ014); 甘肃省科技计划民生科技专项(21CX6NJ199); 甘肃省科技计划重大专项(21ZD11NJ003)。

作者简介: 王娟(1980-), 女, 硕士, 研究员, 主要从事马铃薯遗传育种及脱毒种薯繁育研究。

*通信作者(Corresponding author): 陈小丽, 农艺师, 从事农业技术推广工作, E-mail: 18215676@qq.com。

supply treatment, among which 'Qingshu 9' increased by as much as 203.72%. The content of malondialdehyde in all varieties increased, and 'Qingshu 9' had the smallest increase of 3.03%. The soluble protein content of all varieties increased. When selecting parents and promoting new varieties, the drought-resistance characteristics and physiological indexes of the tested varieties could be combined for consideration.

Key Words: potato; drought stress; drought resistance coefficient; proline; malondialdehyde; soluble protein

干旱是影响农业生产的重要因素之一, 在中国西部地区, 干旱一直是制约农业生产的最主要因素之一, 对农作物的生长造成了严重的影响。干旱胁迫对于植物的影响是一个十分复杂的生理生化过程, 影响了许多生物大分子和小分子。当大气相对湿度过低或土壤水分匮乏, 就会对植株造成干旱危害, 而植物抵抗干旱危害的能力则称为抗旱性。抗旱性是植物对旱害的一种适应, 通过生理生化的适应变化减少干旱对植物所产生的危害, 通常农作物的抗旱性主要表现在形态与生理两方面^[1]。马铃薯作为典型的温带气候作物, 在不同的生长发育阶段均对干旱胁迫非常敏感^[2,3], 而中国马铃薯的主要种植省区都或多或少存在干旱问题^[4]。干旱使这些地区马铃薯的产量损失超过了其总产量的30%^[5]。国内对马铃薯抗旱性评价方法研究较多^[6-9], 最常用的是以产量为衡量指标的抗旱性评价方法, 通常以抗旱系数和抗旱指数来进行抗旱性评价, 这种方法直接结合产量因素, 便于抗旱育种目标的实施^[10]。目前马铃薯的抗旱性鉴定, 主要是利用干旱胁迫下马铃薯生理生化指标变化的差异来确定, 这些指标与多种抗旱机制直接相关^[11,12]。已有研究表明, 脯氨酸、丙二醛、根系活力等与抗旱性的关系明确, 适合作为抗旱性鉴定指标^[13-16]。在生理生化指标上, 以苗期生理生化指标为主的隶属函数法分析^[8,12], 叶片的光合强度、水势、脯氨酸、丙二醛、可溶性糖、可溶性蛋白质含量、酶等也是衡量作物抗旱性的重要指标。利用产量评价农作物的抗旱能力, 其结果一向具有较高的准确性, 但同时也存在耗时较长的缺点。

本试验选取了甘肃省马铃薯主产区定西市本土选育的马铃薯品种‘定薯1号’‘定薯3号’‘定薯4号’, 引进推广的主栽品种‘陇薯10号’‘青薯9

号’, 共5个品种, 通过测定其在正常供水和干旱胁迫条件下抗旱系数及各项生理生化指标, 明确其抗旱能力, 揭示抗旱机理, 为当地马铃薯品种的抗旱性鉴定以及育种种质资源鉴定、创制利用以及种薯扩繁提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

参试品种为‘定薯1号’‘定薯3号’‘定薯4号’‘青薯9号’‘陇薯10号’, 均由定西市农业科学研究院供种。

1.2 试验地点

试验在定西市农业科学研究院马铃薯脱毒种薯快繁中心温室中进行。供试土壤为黄绵土, 最大田间持水量为23%。

1.3 试验方法

试验用圆形花盆栽培, 肥料按照每100 kg干土(水分含量为16.1%), 加5 kg有机肥(有机质含量 $\geq 45\%$)、0.5 kg过磷酸钙($P_2O_5 \geq 12\%$)、0.1 kg硫酸钾镁肥($K_2O \geq 24\%$, $Mg \geq 6\%$), 充分拌匀。盆底装鹅卵石, 上铺滤纸与土隔离。

种薯全部采用重量为10~12 g的原原种种植。试验设置正常供水、干旱胁迫2种处理, 每个处理种植5盆。正常供水处理水量保持盆土最大持水量的 $(75 \pm 5)\%$; 干旱胁迫处理保持盆土最大持水量的 $(35 \pm 5)\%$ 。水分控制从马铃薯现蕾期开始, 每天用土壤水分测定仪进行测定补水, 保持盆土相对含水量变化幅度在5%以内。试验于2019年2月18日种植, 3月15日出苗, 7月15日收获。

1.4 测定指标

(1) 抗旱系数测定

抗旱系数(Drought resistance coefficient, DRC)=

干旱处理平均单株块茎重/正常供水处理平均单株块茎重。在盛花期测定株高、茎粗和根长, 3次重复。株高用卷尺测定, 茎粗用游标卡尺测定, 根长用直尺测定。收获后测定单株块茎数, 单株块茎产量和块茎比重^[17]。抗旱系数的计算参考武新娟^[18]的方法。

抗旱级别: 不抗(抗旱系数扩展值0.000 1~0.250 0)、低抗(抗旱系数扩展值0.250 1~0.500 0)、中抗(抗旱系数扩展值0.500 1~0.750 0)、高抗(抗旱系数扩展值0.750 1~1.000 0), 采用抗旱等级评价对参试品种进行抗旱性鉴定^[19-22]。

(2) 含水量测定

土壤含水量: 于出苗期、现蕾期、盛花期、收获期利用土壤水分测定仪测定土壤含水量(托普土壤水分测定仪TZS, 浙江)。每个重复随机选取3个位点, 将测定仪探头插入土壤中, 分别读取3个数值, 3个数值的平均值即为该盆土壤当时含水量。正常供水的处理土壤相对含水量保持在60%~70%, 干旱处理的土壤相对含水量保持在30%~40%。

叶片含水量: 叶片相对含水量(Relative water content, RWC)参照李合生等^[23]和邹琦^[24]的方法。盛花期用重量法测定, 3次重复。取鲜叶片称重, 放在105℃下烘30 min, 再在85℃条件下烘5.5 h(此时叶片重量已经恒重)后再称干重。叶片含水量(%) = (鲜重 - 干重)/鲜重 × 100。

离体叶片失水率: 参考卢福顺^[25]的方法。不同品种于盛花期随机选取5枚叶片, 电子天平精确称量叶片鲜重量(FW), 将叶片置于室内, 在空气中缓慢脱水, 每隔2 h称重1次(W), 共称4次, 24 h后再次称量后在75℃下烘干至恒重, 称量干重量(DW)。离体叶片失水率(%) = (FW - W)/(FW - DW) × 100。

根含水率: 将根系与地上部分从连接处剪断, 利用电子天平称量根鲜重量。根系105℃杀青30 min后, 80℃烘干至恒重, 称量根干重量。根含水率(%) = (根鲜重量 - 根干重量)/根干重量 × 100。

(3) 产量指标测定

在植株成熟期测定单株产量。

(4) 脯氨酸、丙二醛、可溶性蛋白含量测定

按白宝璋和汤学军^[26]的方法测定供试品种叶片脯氨酸含量; 按李合生等^[23]的方法测定供试品种叶片丙二醛含量; 按照刘祖祺和张石城^[27]的方法测定可溶性蛋白含量。

1.5 数据处理

试验数据使用Excel 2017进行统计汇总, 并使用SPSS 19.0对各处理数据进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对马铃薯茎粗、株高、根长的影响

与正常供水处理相比, 干旱胁迫处理下各品种的茎粗、株高和根长均降低。茎粗方面5个品种平均减幅为22.70%; ‘定薯1号’‘定薯3号’‘定薯4号’‘陇薯10号’和‘青薯9号’茎粗减幅分别为35.51%、28.58%、14.88%、12.07%和22.45%, 说明干旱胁迫对‘定薯1号’茎粗影响较大, 对‘陇薯10号’的影响小。株高方面5个品种平均减幅为17.42%; ‘定薯1号’‘定薯3号’‘定薯4号’‘陇薯10号’和‘青薯9号’减幅分别为20.42%、12.72%、22.11%、17.84%和14.00%, 说明干旱胁迫对‘定薯4号’株高影响较大, 对‘定薯3号’‘青薯9号’的影响小。根长方面5个品种平均减幅为36.78%; ‘定薯1号’‘定薯3号’‘定薯4号’‘陇薯10号’和‘青薯9号’减幅分别为8.30%、40.44%、33.33%、62.23%和39.60%, 说明干旱胁迫对‘陇薯10号’的根长影响较大, 对‘定薯1号’的影响小。正常供水条件下, ‘青薯9号’茎粗最粗, 达到15.50 mm, 显著高于其他品种; 株高以‘青薯9号’最高, 达59.3 cm, 显著高于其他品种(‘陇薯10号’除外); 根长‘定薯3号’最长。干旱胁迫处理下, ‘青薯9号’茎粗仍然最粗, 达到12.02 mm, 显著高于‘定薯1号’‘定薯3号’和‘定薯4号’; 株高‘青薯9号’最高, 达到51.0 cm, 显著高于其他品种; 根长‘定薯1号’最长, 显著高于‘定薯4号’‘陇薯10号’和‘青薯9号’(表1)。

2.2 干旱胁迫对马铃薯叶片含水量、离体叶片失水率、根含水率的影响

与正常供水相比, 干旱胁迫处理下各品种的叶片含水量均降低, 平均减幅为3.99%。‘定薯1

号‘定薯3号’‘定薯4号’‘陇薯10号’和‘青薯9号’减幅分别为8.42%、0.15%、5.40%、5.44%和0.55%，‘定薯3号’减幅最小，说明干旱胁迫对其叶片含水量影响较小；‘定薯1号’减幅最大，说明其叶片含水量受干旱胁迫影响大；其次为‘定薯4号’和‘陇薯10号’。与正常供水相比，干旱胁迫处理下各品种的离体叶片失水率有增加也有降低，其中‘定薯1号’‘定薯3号’和‘定薯4号’均增加，增量分别为3.17个百分点、6.23个百分点和0.85个百分点；‘陇薯10号’和‘青薯9号’均降低，分别降低0.51个百分点和4.63个百分点。与

正常供水相比，干旱胁迫处理下各品种的根含水率有增加也有降低，其中‘定薯1号’‘定薯3号’分别降低11.02%和0.84%；‘定薯4号’‘陇薯10号’和‘青薯9号’分别增加14.05%、11.69%和1.56%。正常供水下，各品种的叶片含水量以‘定薯4号’最高，达75.9%；其次为‘陇薯10号’和‘青薯9号’，分别为73.5%和73.1%。根含水率‘定薯1号’最高，但各品种间无显著差异。干旱胁迫处理下，各品种的叶片含水量以‘青薯9号’最高，离体叶片失水率也以‘青薯9号’最高，根含水率则以‘陇薯10号’最高(表2)。

表1 干旱胁迫对马铃薯茎粗、株高、根长的影响

Table 1 Effects of drought stress on stem diameter, plant height and root length of potato

品种 Variety	正常供水(CK) Normal watering			干旱胁迫 Drought stress		
	茎粗(mm) Stem diameter	株高(cm) Plant height	根长(cm) Root length	茎粗(mm) Stem diameter	株高(cm) Plant height	根长(cm) Root length
定薯1号 Dingshu 1	12.56 b	37.7 b	22.17 bc	8.10 c	30.0 c	20.33 a
定薯3号 Dingshu 3	11.58 b	39.3 b	28.83 a	8.27 c	34.3 c	17.17 ab
定薯4号 Dingshu 4	11.49 b	40.7 b	16.50 c	9.78 bc	31.7 c	11.00 c
陇薯10号 Longshu 10	13.17 b	52.7 a	28.67 a	11.58 ab	43.3 b	10.83 c
青薯9号 Qingshu 9	15.50 a	59.3 a	25.00 ab	12.02 a	51.0 a	15.10 b

注：同列品种平均值后标注不同小写字母表示在0.05水平上差异显著，采用新复极差测验法。下同。

Note: Variety (line) means followed by different lowercase letter(s) in the same column are significantly different at 0.05 level of probability as tested using Duncan's multiple range test method. The same below.

表2 干旱胁迫对马铃薯叶片含水量、离体叶片失水率、根含水率的影响

Table 2 Effects of drought stress on leaf water content, detached leaf water loss rate and root water content

品种 Variety	正常供水(CK) Normal watering			干旱胁迫 Drought stress		
	叶片含水量(%) Leaf water content	离体叶片失水率(%) Detached leaf water loss rate	根含水率(%) Root water content	叶片含水量(%) Leaf water content	离体叶片失水率(%) Detached leaf water loss rate	根含水率(%) Root water content
定薯1号 Dingshu 1	70.1 b	7.19 c	21.27 a	64.2 d	10.36 bc	18.93 b
定薯3号 Dingshu 3	67.9 b	6.79 c	17.90 a	67.8 c	13.02 ab	17.75 b
定薯4号 Dingshu 4	75.9 a	7.26 c	17.94 a	71.8 ab	8.11 c	20.46 ab
陇薯10号 Longshu 10	73.5 a	12.31 b	20.87 a	69.5 bc	11.80 b	23.31 a
青薯9号 Qingshu 9	73.1 a	20.07 a	19.22 a	72.7 a	15.44 a	19.52 b

2.3 干旱胁迫对马铃薯抗旱系数的影响

正常供水和干旱胁迫处理下，各品种的单株产

量顺序均为‘青薯9号’>‘陇薯10号’>‘定薯3号’>‘定薯1号’>‘定薯4号’。正常供水处理下‘青薯9

号’单株产量最高, 达到858.5 g, 显著高于其他品种; ‘定薯4号’产量最低, 为330.0 g。干旱胁迫处理下, ‘青薯9号’单株产量最高, 达到807.8 g, ‘定薯4号’产量最低, 为288.9 g。干旱胁迫处理较正常供水平均减少了38.2 g, 平均减幅为8.54%。‘定薯1号’‘定薯3号’‘定薯4号’‘陇薯10

号’和‘青薯9号’减幅分别为9.86%、8.33%、12.46%、6.17%和5.91%, 减幅最大的是‘定薯4号’、最少的是‘青薯9号’, 说明干旱对‘青薯9号’的产量影响最小, 而对‘定薯4号’的影响较大。5个品种的抗旱系数在0.875 4~0.940 9, 均属于高抗, 各品种间无显著差异(表3)。

表3 干旱胁迫对马铃薯抗旱系数的影响

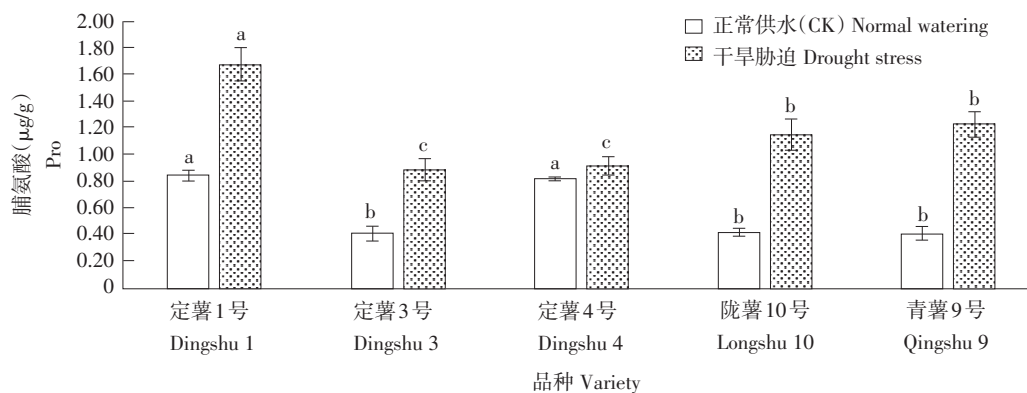
Table 3 Effects of drought stress on potato drought resistance coefficient

品种 Variety	单株产量(g) Yield per plant		抗旱系数 Drought resistance coefficient	抗旱级别 Drought resistance level
	正常供水(CK) Normal watering	干旱胁迫 Drought stress		
定薯1号 Dingshu 1	351.1 d	316.5 d	0.901 4 a	高抗
定薯3号 Dingshu 3	424.4 c	389.0 c	0.916 7 a	高抗
定薯4号 Dingshu 4	330.0 d	288.9 d	0.875 4 a	高抗
陇薯10号 Longshu 10	470.9 b	441.8 b	0.938 3 a	高抗
青薯9号 Qingshu 9	858.5 a	807.8 a	0.940 9 a	高抗

2.4 干旱胁迫对马铃薯脯氨酸(Pro)含量的影响

经过干旱胁迫处理后, 5个品种较正常供水处理脯氨酸含量均增加, 平均增加0.59 $\mu\text{g/g}$, 增幅122.61%。正常供水处理下, 各品种脯氨酸含量在0.40~0.84 $\mu\text{g/g}$, ‘定薯1号’和‘定薯4号’脯氨酸含量显著高于其他品种。干旱胁迫处理各品种脯氨酸含量在0.88~1.68 $\mu\text{g/g}$, ‘定薯1号’脯氨

酸含量显著高于其他品种, 其次为‘青薯9号’和‘陇薯10号’, 分别为1.23和1.15 $\mu\text{g/g}$ 。相比正常供水处理, 各品种脯氨酸增幅在12.50%~203.72%, 其中‘青薯9号’‘陇薯10号’‘定薯3号’‘定薯1号’增幅分别达203.72%、179.27%、118.18%和99.40%; ‘定薯4号’增幅仅为12.50%。‘青薯9号’在参试品种中抗旱能力最强(图1)。



注: 误差线代表标准偏差。品种处理平均值上不同小写字母表示正常供水和干旱胁迫处理下0.05水平上差异显著性, 采用新复极差测验法。下同。

Note: Error bar represents standard deviation. The different lowercase letter(s) over variety treatment means significant difference among varieties at the level of 0.05 under normal watering and drought stress as tested using Duncan's multiple range test method. The same below.

图1 不同处理马铃薯品种叶片脯氨酸含量

Figure 1 Proline content in leaves of potato varieties under different treatments

2.5 干旱胁迫对马铃薯丙二醛(MDA)含量的影响

经过干旱胁迫处理后, 参试马铃薯品种较正常供水处理丙二醛含量均增加, 平均增加0.042 $\mu\text{mol/g}$, 增幅为21.9%。正常供水处理下, 各品种丙二醛含量在0.171~0.257 $\mu\text{mol/g}$, ‘定薯1号’‘青薯9号’‘陇薯10号’丙二醛含量显著高于‘定薯3号’, 但‘定薯1号’‘青薯9号’‘陇薯10号’之间无显著差异, ‘定薯4号’和‘定薯3号’之间无显著差异。干旱胁迫处理下, 各品种丙二醛含量在0.238~0.290 $\mu\text{mol/g}$, ‘定薯1号’含量最高, 显著高于其他品种。各品种干旱胁迫处理比正常供水处理的丙二醛含量增加了3.03%~42.36%, ‘定薯4号’增幅最大, 其次为‘定薯3号’‘定薯1号’‘陇薯10号’, ‘青薯9号’增幅最小, 仅为3.03%, 说明‘青薯9

号’抗旱能力强(图2)。

2.6 干旱胁迫对马铃薯可溶性蛋白含量的影响

经过干旱胁迫处理后, 参试马铃薯品种较正常供水处理可溶性蛋白含量均增加, 平均增加23.91 mg/g, 增幅为51.3%。正常供水处理下, 各品种可溶性蛋白含量在40.00~57.37 mg/g, ‘定薯3号’和‘定薯1号’可溶性蛋白含量较高, 显著高于‘陇薯10号’‘青薯9号’。干旱胁迫处理下, 各品种可溶性蛋白含量在53.38~86.53 mg/g, ‘定薯3号’含量最高, 除与‘定薯4号’差异不显著外, 与其他品种差异均显著。干旱胁迫处理比正常供水处理可溶性蛋白含量增加了25.11%~73.99%, ‘青薯9号’增幅最大, 其次为‘定薯4号’‘定薯3号’‘陇薯10号’‘定薯1号’(图3)。

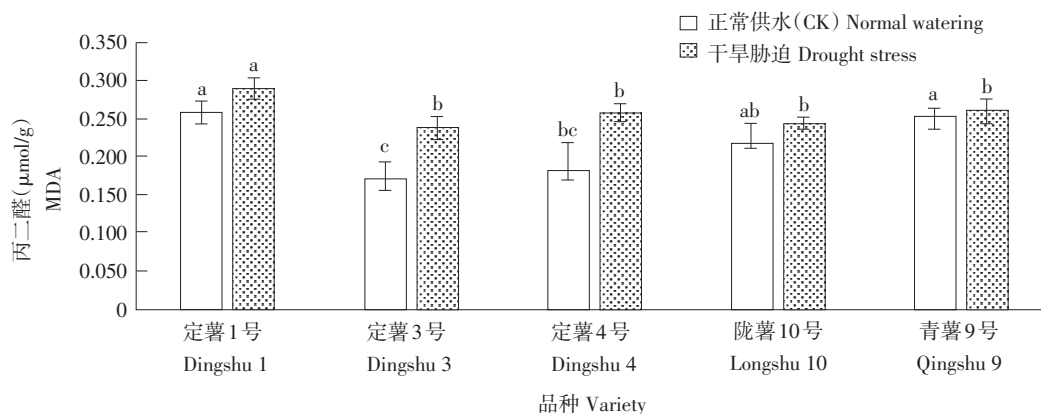


图2 不同处理马铃薯品种叶片丙二醛含量

Figure 2 MDA content in leaves of potato varieties under different treatments

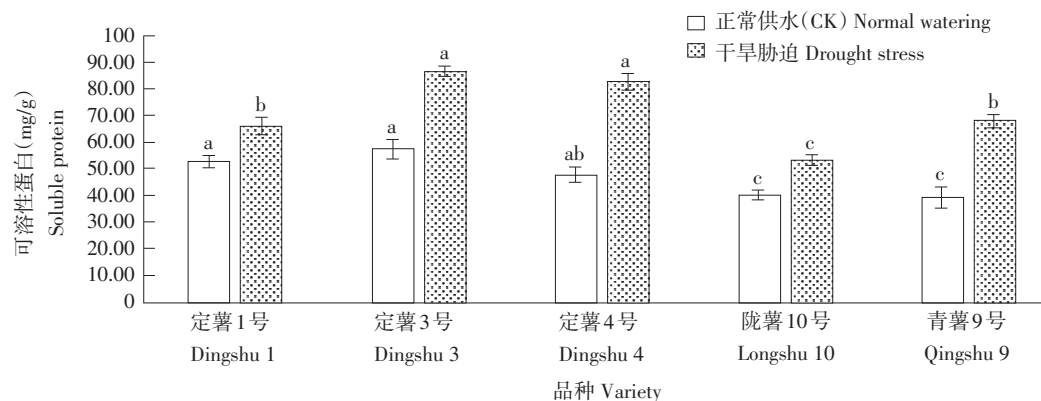


图3 不同处理马铃薯品种叶片可溶性蛋白含量

Figure 3 Soluble protein content in leaves of potato varieties under different treatments

3 讨 论

与正常供水处理相比, 干旱胁迫处理下各品种的茎粗、株高和根长均减小, 干旱胁迫对‘定薯1号’茎粗影响较大, 对‘陇薯10号’的影响小。干旱胁迫对‘定薯4号’株高影响较大, 对‘定薯3号’‘青薯9号’的影响小。干旱胁迫对‘陇薯10号’的根长影响较大, 对‘定薯1号’的影响小。正常供水条件下, ‘青薯9号’茎粗最粗, 株高最高, 根长以‘定薯3号’最长; 干旱胁迫处理下, ‘青薯9号’茎粗最粗、株高最高, 根长‘定薯1号’最长。与正常供水相比, 干旱胁迫处理下各品种的叶片含水量均减小, ‘定薯3号’减幅最小, 说明干旱胁迫对其叶片含水量影响较小; ‘定薯1号’减幅最大, 说明其叶片含水量受干旱胁迫影响大。干旱胁迫处理下, 各品种的离体叶片失水率有增加也有减小, 根含水率有增加也有减小。干旱胁迫处理下, 各品种的叶片含水量以‘青薯9号’最高, 离体叶片失水率也以‘青薯9号’最高, 根含水率则以‘陇薯10号’最高。

各品种的抗旱系数在0.875 4~0.940 9, 均属于高抗, 各品种间无显著差异。植物叶片的脯氨酸含量在受到水分胁迫时十分敏感, 积累量越大其抗旱能力越强。丙二醛(MDA)是植物抗逆性的表现指标之一, 是膜质的过氧化行为产物, 其含量的多少代表着抗逆性的强弱。MDA含量是间接测定膜脂过氧化程度以及植物抗逆性的重要指标, MDA含量越大, 膜脂过氧化程度越大, 膜系统受损程度越严重, 抗旱能力越弱。

在干旱条件下, 不同品种马铃薯叶片中可溶性蛋白含量均比对照有不同程度的增加, 增加幅度与品种抗旱性密切相关, 即抗旱性强的品种比抗旱性弱的品种增加的多^[23]。干旱胁迫处理后, 各品种较正常供水处理脯氨酸含量均增加, ‘青薯9号’增幅最大。经过干旱胁迫处理后, 参试马铃薯品种较正常供水处理丙二醛含量均增加, ‘青薯9号’增幅最小。经过干旱胁迫处理后, 参试马铃薯品种较正常供水处理可溶性蛋白含量均增加, ‘青薯9号’增幅最大。

因此, 参试品种均属于高抗品种, 在新品种选育亲本选配及推广过程中, 可结合各品种的抗旱特性以及生理指标进行鉴别应用。

[参 考 文 献]

- [1] 聂石辉. 大麦抗旱的生理生化机理研究及种质资源抗旱性评价 [D]. 石河子: 石河子大学, 2012.
- [2] Deblonde P M K, Haverkort A J, Ledent J F. Responses of early and late potato cultivars to moderate drought conditions: agronomic parameters and carbon isotope discrimination [J]. *European Journal of Agronomy*, 1999, 11(2): 91–105.
- [3] Bélanger G, Walsh J R, Richards J E, *et al.* Tuber growth and biomass partitioning of two potato cultivars grown under different N fertilization rates with and without irrigation [J]. *American Journal of Potato Research*, 2001, 78(2): 109–117.
- [4] 屈冬玉, 谢开云. 加速综合配套抗旱技术研究促进我国马铃薯产业健康发展 [C]//陈伊里, 屈冬玉. 马铃薯产业与水资源高效利用. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2012: 3–10.
- [5] Schafleitner R. Growing more potatoes with less water [J]. *Tropical Plant Biology*, 2009, 2(3/4): 111–121.
- [6] 樊民夫, 李久昌, 杨明君, 等. 马铃薯抗旱品种的筛选与评价 (一) [J]. *马铃薯杂志*, 1992, 6(3): 153–155.
- [7] 杨海鹰, 张彦平, 李来用, 等. CIP抗旱马铃薯资源的模糊综合评判 [J]. *马铃薯杂志*, 1993, 7(2): 84–89.
- [8] 王燕, 贾智麟, 任冬雪, 等. 隶属函数法评价马铃薯高代品系材料的抗旱性 [J]. *种子*, 2017, 36(6): 72–75.
- [9] 王戬超, 郭妙. 马铃薯抗旱性研究进展 [J]. *山西农业科学*, 2017, 45(11): 1890–1893, 1899.
- [10] 范敏, 金黎平, 刘庆昌, 等. 抗旱机理及其相关研究进展 [J]. *中国马铃薯*, 2006, 20(2): 101–107.
- [11] 李建武. 水分胁迫对马铃薯生理生化特性的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2005.
- [12] 王谧. 马铃薯抗旱指标研究及抗旱性鉴定 [D]. 西宁: 青海大学, 2014.
- [13] 抗艳红, 龚学臣, 田再民, 等. 聚乙二醇处理马铃薯脱毒试管苗的生理反应 [J]. *江苏农业科学*, 2011, 39(2): 162–164.
- [14] 宋志荣. 马铃薯对旱胁迫的反应 [J]. *中国马铃薯*, 2004, 18(6): 330–332.

- [15] 李亚杰. 不同马铃薯品种根系提水能力与抗旱性研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2013.
- [16] 赵海超, 抗艳红, 龚学臣, 等. 干旱胁迫对不同马铃薯品种苗期生理生化指标的影响 [J]. 作物杂志, 2013(6): 63-69.
- [17] 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.
- [18] 武新娟. 马铃薯不同品种的抗旱性评价及Fe-SOD基因的研究 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2008.
- [19] 顾尚敬, 王朝贵, 王朝海, 等. 马铃薯盆栽控水抗旱性鉴定 [J]. 农业开发与装备, 2013(1): 104-105.
- [20] 王朝海, 陈春艳, 顾尚敬, 等. 马铃薯人工控水抗旱性鉴定研究 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40(18): 9610-9612, 9634.
- [21] 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): 201-204.
- [22] 王燕, 杨克俭, 龚学臣, 等. 全国主栽马铃薯品种的抗旱性评价 [J]. 种子, 2016, 36(9): 82-85.
- [23] 李合生, 孙群, 赵世杰, 等. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 北京高等教育出版社, 2000: 105-109.
- [24] 邹琦. 植物生理生化实验指导 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995.
- [25] 卢福顺. 水分胁迫对马铃薯生理指标和叶片结构的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2013.
- [26] 白宝璋, 汤学军. 植物生理学测试技术 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993: 76-157.
- [27] 刘祖祺, 张石城. 植物抗性生理学 [M]. 北京: 农业出版社, 1994: 371-372.