

# 干旱胁迫下陇薯系列马铃薯幼苗叶片抗逆生理指标比较及抗旱性评价

贾小霞<sup>1,2,3</sup>, 齐恩芳<sup>1,2,3</sup>, 刘石<sup>1,2,3</sup>, 马胜<sup>1,2,3</sup>, 黄伟<sup>1,2,3</sup>, 吕和平<sup>1,2,3</sup>, 文国宏<sup>1,2,3</sup>

(1. 甘肃省农业科学院马铃薯研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省马铃薯种质资源创新工程实验室, 甘肃 兰州 730070; 3. 国家种质资源渭源观测实验站, 甘肃 渭源 748201)

**摘要:** 为了比较陇薯系列马铃薯品种的抗旱性, 以陇薯系列和LK99的幼苗为材料, 用PEG溶液模拟干旱胁迫, 将所有参试品种的根系在20% PEG溶液浸泡2 h后, 对叶片相对含水量、叶绿素含量和丙二醛(MDA)含量、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性进行测定和显著性分析。结果表明, 参试品种叶片各测定指标间有较大差异, 但不同指标与抗旱性之间没有一致的相关性, 单一指标不能完全反映抗旱性的强弱。隶属函数法综合评价结果显示, 各品种的抗旱性从强到弱依次为陇薯10号、陇薯4号、陇薯7号、陇薯5号、陇薯8号、陇薯12号、陇薯9号、陇薯6号、陇薯3号、陇薯14号、LK99、陇薯11号。

**关键词:** 马铃薯; 抗旱性; 隶属函数法

**中图分类号:** S532 **文献标志码:** A

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-1463.2021.04.018

**文章编号:** 1001-1463(2021)04-0073-05

陇薯系列是甘肃省农业科学院马铃薯研究所自主选育的系列马铃薯品种, 不仅在甘肃各市区广泛种植, 而且在陕西、宁夏、青海和新疆等省区大面积推广种植, 为促进甘肃省乃至西北地区马铃薯产业发展作出了巨大贡献<sup>[1]</sup>。据统计, 西北地区马铃薯主栽区多集中在干旱半干旱区<sup>[2]</sup>, 因此选择抗旱品种更利于各地马铃薯产业的发展。有关陇薯系列马铃薯品种抗旱性的比较研究相对缺乏, 生产者在品种选择上存在一定的盲目性。我们以陇薯系列12个马铃薯品种幼苗为研究对象, 用20% PEG溶液胁迫处理后, 对各参试品种叶片的抗逆生理指标进行测定和显著性分析, 并利用隶属函数法对各品种的抗旱性进行综合评价, 旨在为各地区种薯

的合理选择提供依据, 也为抗旱品种选育提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试马铃薯品种12个: 陇薯3号、陇薯4号、陇薯5号、陇薯6号、陇薯7号、陇薯8号、陇薯9号、陇薯10号、陇薯11号、陇薯12号、陇薯14号和LK99, 均由甘肃省农业科学院马铃薯研究所提供。2019年5月20日将苗龄28 d的试管苗移入蛭石中, 幼苗生长60 d后, 各品种挑选长势一致的植株用于试验。

### 1.2 方法

将幼苗连根从蛭石中移出, 冲洗干净后, 将根浸入20% PEG溶液中模拟干旱胁迫

**收稿日期:** 2020-11-26

**基金项目:** 甘肃省农业科学院科技创新专项(2020GAAS16); 甘肃省农业科学院生物技术育种专项(2020GAAS10); 国家现代农业产业技术体系(CARS-09-P06)。

**作者简介:** 贾小霞(1978—), 女, 甘肃定西人, 副研究员, 主要从事马铃薯种质改良研究工作。联系电话: (0)13519311726。Email: jiaxx0601@163.com。

迫, 处理 2 h 后, 统一采集各品种同层完全展开叶测定相对含水量、叶绿素含量、MDA 含量、POD 和 CAT 活性等生理指标。

### 1.3 测定指标与方法

MDA 含量、POD 和 CAT 活性均采用苏州科铭生物科技有限公司的试剂盒测定, 叶片相对含水量采用称重法测定<sup>[3]</sup>, 叶绿素含量参照李合生的方法测定<sup>[4]</sup>。

### 1.4 数据统计

用 Microsoft Excel 2010 和 DPS V3.01 专业版统计分析软件处理数据, 用 Duncan's 法分析试验结果的差异显著性。所有数据均为各重复的平均值 ± 标准差。不同品种抗旱性评价用模糊数学隶属函数法<sup>[5]</sup>, 即先计算各品种叶片单个指标的隶属函数值, 再求各品种所有指标的平均隶属函数值, 平均隶属函数值越大, 表明抗旱性越强。

用于抗旱性综合评价的隶属函数值  $[X(\mu_1), X(\mu_2)]$  的计算公式为:

$$X(\mu_1) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

$$X(\mu_2) = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

式中,  $X$  为某一马铃薯品种某一指标的测定值;  $X_{\max}$  为所有参试品种中该指标的最大值;  $X_{\min}$  为所有参试品种中该指标的最小值。采用  $X(\mu_1)$  计算与抗旱性呈正相关指标的隶属函数值; 用  $X(\mu_2)$  计算与抗旱性呈负相关指标的隶属函数值。

## 2 结果与分析

### 2.1 干旱胁迫下不同品种幼苗叶片相对含水量和叶绿素质量浓度比较

叶片相对含水量能体现植株叶片水势, 受到干旱胁迫后, 耐旱性强的植株叶片相对含水量高于耐旱性差的植株<sup>[6-7]</sup>。由表 1 可知, 参试品种的叶片相对含水量从高到低依次为陇薯 5 号、陇薯 10 号、陇薯 7 号、陇薯 4 号、陇薯 12 号、陇薯 8 号、陇薯 6 号、LK99、陇薯 9 号、陇薯 3 号、陇薯 11 号、陇薯 14 号。以陇薯 5 号最高, 为

96.77%, 显著高于陇薯 11 号 (85.76%) 和陇薯 14 号 (85.53%), 与其余品种均未达到显著差异。叶绿素质量浓度从高到低依次为陇薯 10 号、陇薯 4 号、陇薯 7 号、陇薯 5 号、陇薯 12 号、陇薯 14 号、陇薯 8 号、陇薯 9 号、陇薯 3 号、陇薯 11 号、陇薯 6 号、LK99。以陇薯 10 号最高, 为 15.68 mg/L, 与陇薯 4 号 (14.03 mg/L) 和陇薯 7 号 (13.91 mg/L) 差异不显著, 但显著高于其余品种; LK99 最低, 为 7.63 mg/L, 显著低于所有其余品种。

### 2.2 干旱胁迫下不同品种幼苗叶片 MDA 含量比较

干旱胁迫下, MDA 含量常被用来评价叶片细胞质膜的损伤程度, MDA 含量越高, 质膜损伤越严重<sup>[8-9]</sup>。由表 1 可知, 参试品种的 MDA 含量从高到低依次为陇薯 14 号、陇薯 6 号、陇薯 9 号、陇薯 12 号、陇薯 10 号、陇薯 11 号、LK99、陇薯 8 号、陇薯 5 号、陇薯 7 号、陇薯 3 号、陇薯 4 号。以陇薯 14 号最高, 为 62.28 nmol/(g·FW), 与陇薯 6 号、陇薯 9 号、陇薯 10 号、陇薯 12 号、陇薯 11 号和 LK99 的差异不显著, 但显著高于陇薯 3 号、陇薯 4 号、陇薯 5 号、陇薯 7 号和陇薯 8 号; 陇薯 4 号最低, 为 60.50 nmol/(g·FW)。

### 2.3 干旱胁迫下不同马铃薯品种抗氧化酶活性比较

POD 和 CAT 是植物酶促体系成员, 常被用来衡量逆境胁迫下细胞活性氧清除能力的大小<sup>[10]</sup>。由表 1 可知, 参试品种的 POD 活性从高到低依次为陇薯 14 号、陇薯 12 号、陇薯 10 号、陇薯 6 号、陇薯 8 号、陇薯 11 号、陇薯 9 号、陇薯 7 号、陇薯 4 号、陇薯 3 号、LK99、陇薯 5 号。以陇薯 14 号最高, 为 2 572.00 U/(g·FW), 与陇薯 6 号、陇薯 8 号、陇薯 9 号、陇薯 10 号、陇薯 11 号和陇薯 12 号无显著差异, 但显著高于其

余品种；陇薯5号的POD酶活性最低，为786.67 U/(g·FW)，显著低于其余品种。CAT活性从高到低依次为陇薯10号、陇薯9号、陇薯6号、陇薯8号、陇薯14号、陇薯5号、LK99、陇薯7号、陇薯4号、陇薯11号、陇薯3号、陇薯12号。以陇薯10号最高，为61.92 U/(g·FW)，显著高于其余品种；陇薯12号最低，为20.93 U/(g·FW)，显著低于陇薯10号和陇薯9号，与其余品种间差异不显著。

#### 2.4 不同马铃薯品种的抗旱性分析

由表2可以看出，不同马铃薯品种叶片相对含水量平均为91.55%，变异系数为

13.55%。相对含水量以陇薯5号最高，为96.77%；陇薯11号最低，为85.75%。叶绿素平均质量浓度为11.94 mg/L，变异系数为16.58%。其中以陇薯10号最高，为15.68 mg/L，LK99最低，为7.63 mg/L。POD活性平均为1605.33 U/(g·FW)，变异系数为31.32%。其中以陇薯14号最高，为2572.00 U/(g·FW)；陇薯5号最低，为786.67 U/(g·FW)。CAT活性平均为36.64 U/(g·FW)，变异系数为27.73%。其中以陇薯10号最高，为61.92 U/(g·FW)；陇薯12号最低，为20.93 U/(g·FW)。MDA平均含量为61.32 nmol/(g·FW)，变异系数为0.87%。其中以

表1 陇薯系列马铃薯品种叶片抗旱相关生理指标比较

品种	叶片相对含水量 /%	叶绿素的质量浓度 /(mg/L)	MDA含量 /[nmol/(g·FW)]	POD活性 /[U/(g·FW)]	CAT活性 /[U/(g·FW)]
陇薯3号	90.01±1.32 ab	11.41±1.02 cd	60.67±0.15 cd	1249.33±17.44 bc	24.01±2.24 c
陇薯4号	93.74±5.10 ab	14.03±0.49 ab	60.50±0.15 d	1268.00±5.33 bc	34.55±6.02 bc
陇薯5号	96.77±3.96 a	13.63±1.65 b	60.80±0.26 bcd	786.67±11.19 d	36.20±0.35 bc
陇薯6号	92.20±5.90 ab	9.79±1.75 d	62.01±0.26 ab	1934.67±45.01 abc	40.80±6.15 bc
陇薯7号	94.32±1.00 ab	13.91±0.74 ab	60.71±0.13 cd	1296.00±32.94 bc	34.82±4.11 bc
陇薯8号	92.50±8.40 ab	11.56±0.96 cd	60.98±0.34 bcd	1657.33±10.85 abc	38.50±3.37 bc
陇薯9号	90.50±1.99 ab	11.43±1.48 cd	61.74±0.21 abc	1564.00±27.97 abc	49.22±7.17 b
陇薯10号	95.79±4.07 a	15.68±0.51 a	61.44±0.37 abcd	1968.00±64.81 abc	61.92±9.33 a
陇薯11号	85.76±4.64 b	10.94±0.83 cd	61.39±0.20 abcd	1625.33±10.99 abc	26.22±5.58 bc
陇薯12号	93.11±2.92 ab	12.17±1.25 bc	61.68±0.74 abcd	2500.00±31.30 ab	20.93±7.88 c
陇薯14号	85.53±4.08 b	12.10±0.32 bc	62.28±0.97 a	2572.00±66.59 a	37.21±8.80 bc
LK99	91.94±0.69 ab	7.63±0.84 e	61.18±0.18 abcd	1154.67±41.09 c	36.06±4.25 bc

表2 陇薯系列马铃薯品种抗旱性分析

品种	叶片相对含水量 /%	叶绿素的质量浓度 /(mg/L)	POD活性 /[U/(g·FW)]	CAT活性 /[U/(g·FW)]	MDA含量 /[nmol/(g·FW)]	平均隶属函数值	位次
陇薯3号	90.01	11.41	1249.33	24.01	60.67	0.4197	9
陇薯4号	93.74	14.03	1268.00	34.55	60.50	0.6255	2
陇薯5号	96.77	13.63	786.67	36.20	60.80	0.5897	4
陇薯6号	92.20	9.79	1934.67	40.80	62.01	0.4286	8
陇薯7号	94.32	13.91	1296.00	34.82	60.71	0.6135	3
陇薯8号	92.50	11.56	1657.33	38.50	60.98	0.5513	5
陇薯9号	90.50	11.43	1564.00	49.22	61.74	0.4614	7
陇薯10号	95.79	15.68	1968.00	61.92	61.44	0.8097	1
陇薯11号	85.75	10.94	1625.33	26.22	61.39	0.3058	12
陇薯12号	93.11	12.17	2500.00	20.93	61.68	0.5072	6
陇薯14号	85.53	12.10	2572.00	37.21	62.28	0.3905	10
LK99	91.94	7.63	1154.67	36.06	61.18	0.3527	11
平均值	91.55	11.94	1605.33	36.64	61.32	0.4910	
变异系数CV/%	13.55	16.58	31.32	27.73	0.87		

陇薯 14 号最高, 为 62.28 nmol/(g·FW); 陇薯 4 号最低, 为 60.50 nmol/(g·FW)。

以上分析表明, 参试品种叶片各测定指标间有较大差异, 且不同指标与抗旱性之间没有一致的相关性, 单一指标不能完全反映抗旱性的强弱, 无法通过单一指标对参试品种的抗旱性进行客观评价。采用隶属函数法对抗旱性进行评价可知, 12 个参试品种的综合抗旱性从强到弱的顺序依次为陇薯 10 号、陇薯 4 号、陇薯 7 号、陇薯 5 号、陇薯 8 号、陇薯 12 号、陇薯 9 号、陇薯 6 号、陇薯 3 号、陇薯 14 号、LK99、陇薯 11 号。

### 3 结论与讨论

用 PEG 溶液模拟干旱胁迫, 将陇薯系列和 LK99 的马铃薯幼苗的根系在 20% PEG 溶液浸泡 2 h 后, 对叶片相对含水量、叶绿素质量浓度和丙二醛(MDA)含量、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性进行了测定和显著性分析。结果表明, 参试品种叶片的各测定指标间有较大差异, 但不同指标与抗旱性之间没有一致的相关性, 单一指标不能完全反映抗旱性的强弱。隶属函数法综合评价结果显示, 参试各品种的抗旱性从强到弱依次为陇薯 10 号、陇薯 4 号、陇薯 7 号、陇薯 5 号、陇薯 8 号、陇薯 12 号、陇薯 9 号、陇薯 6 号、陇薯 3 号、陇薯 14 号、LK99、陇薯 11 号。

叶片是植物进行光合作用和蒸腾作用的主要场所, 也是与外界环境接触最为密切的器官之一, 其组织结构和生理特性易受环境因子的影响, 也最能反映植物对环境的适应能力<sup>[11]</sup>。在植物的抗旱性研究中, 叶片相对含水量、叶绿素质量浓度、MDA 含量和抗氧化酶活性等生理特性常被作为重要的评价指标, 其中叶片相对含水量、叶绿素质量浓度、CAT 和 POD 等抗氧化酶活性与抗旱性呈正相关, MDA 含量与抗旱性呈负相关<sup>[12]</sup>。目前, 用于植物抗旱性评价的方法包括分级

评价法、灰色关联分析法、主成分分析法和隶属函数法等好多方法<sup>[13]</sup>。其中隶属函数法可对多个指标进行较为全面、综合的评价, 避免了单一指标评价的片面性和局限性, 在抗旱性评价中应用最多。本研究采用模糊数学隶属函数法对参试品种的抗旱性进行评价, 结果叶片相对含水量、叶绿素质量浓度、CAT 和 POD 活性与抗旱性呈正相关, MDA 含量与抗旱性呈负相关。本研究仅为马铃薯幼苗叶片在 PEG 胁迫下的有关生理指标比较结果, 其在生产中的抗旱性还需进行田间验证。

### 参考文献:

- [1] 文国宏, 李高峰, 李建武, 等. 陇薯系列马铃薯品种营养品质评价及相关性分析[J]. 核农学报, 2018, 32(11): 2162-2169.
- [2] 甘肃省统计局. 甘肃农业统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [3] 康 雯. 土壤自然失水胁迫对地锦幼苗生理生化特性的影响[C]. 哈尔滨: 东北林业大学硕士学位论文, 2010.
- [4] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 261-263.
- [5] 杨小玉, 王晓江, 德永军. 山桃等 3 个树种叶片解剖结构的耐旱性特征研究[J]. 内蒙古林业科技, 2008, 34(2): 40-42.
- [6] 刘明稀, 卢少云, 郭振飞. 假俭草抗旱变异体的筛选及其生理鉴定[J]. 草业学报, 2012, 21(1): 126-132.
- [7] 孙宗国. PEG-6000 模拟干旱胁迫下裸果木幼苗的生理响应[J]. 甘肃农业科技, 2011 (12): 26-28.
- [8] 李 源, 刘贵波, 高洪文, 等. 紫花苜蓿种质耐盐性综合评价及盐胁迫下的生理反应[J]. 草业学报, 2010, 19(4): 79-86.
- [9] 贾小霞, 汪世刚. AtDREB1A 基因过量表达对马铃薯盛花期生理生化指标的影响[J]. 甘肃农业科技, 2017(10): 32-35.
- [10] 张海娜, 李小娟, 李存东, 等. 过量表达小麦超氧化物歧化酶(SOD)基因对烟草耐盐能

# 甘肃马铃薯产业现状与发展对策

赵记军<sup>1</sup>, 吴正强<sup>2</sup>, 董博<sup>3,4</sup>

(1. 甘肃省农业生态与资源保护技术推广总站, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省种子总站, 甘肃 兰州 730020; 3. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 4. 甘肃省旱作区水资源高效利用重点实验室, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 阐述了甘肃省马铃薯产业发展现状及存在的问题, 提出了加强品种育引、加强技术支持、加强机械化应用、加强产品研发的发展对策。

**关键词:** 马铃薯; 特色产业; 产业发展; 甘肃省

**中图分类号:** S532 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2021)04-0077-06

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2021.04.019](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2021.04.019)

## Present Situation and Development Prospect of Potato Industry in Gansu

ZHAO Jijun<sup>1</sup>, WU Zhengqiang<sup>2</sup>, DONG Bo<sup>3,4</sup>

(1. General Station of Agroecology and Resources Protection Technology of Gansu, Lanzhou Gansu 730000, China; 2. Gansu Seed Station, Lanzhou Gansu 730020, China; 3. Institute of Dryland Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 4. Key Laboratory of Water Resources Efficient Utilization in Dry Areas of Gansu Province, Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** The present situation and existing problems of potato industry in Gansu Province were expatiated, and the countermeasures of strengthening variety breeding and introduction, technical support, mechanical application and product development were put forward.

**Key words:** Potato; Characteristic industries; Industrial development; Gansu province

马铃薯耐寒、耐旱、耐瘠薄, 适应性广, 可粮、菜、饲兼用, 是仅次于小麦、水

收稿日期: 2021-01-27

基金项目: 国家科技支撑计划(2015BAD22B04); 国家重点研发计划项目(2018YFD020080105); 甘肃省重大专项(1502NKDA003); 甘肃省重点研发计划(20YF8NA107)。

作者简介: 赵记军(1981—), 男, 甘肃文县人, 硕士, 主要从事农业环境保护技术推广工作。Email: daniel.zhao@126.com。

通信作者: 董博(1981—), 男, 山东聊城人, 副研究员, 博士, 主要从事旱地作物耕作栽培及植物生理生态研究工作。Email: 20688465@qq.com。

- 力的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(8): 1403-1408.
- [11] REDDY A R, CHAITANYA K V, VIVEKAN-ANDAN M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants[J]. Journal of Plant Physiology, 2004, 161: 1189-1202.
- [12] RYAN M G, WAY D. Tree responses to drought[J]. Tree Physiology, 2011, 31: 237-239.
- [13] MARDEH ASS, AHMADI A, POUSTINI K, et al. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions[J]. Field Crops Research, 2006, 98: 222-229.

(本文责编: 杨杰)