

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2021)04-0326-08

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2021.04.006

栽培生理

## 盐胁迫对马铃薯出苗及苗期生物学性状的影响

江应红, 刘 易, 邢斌德, 孙 慧, 冯怀章\*

(新疆农业科学院综合试验场, 新疆 乌鲁木齐 830012)

**摘要:** 马铃薯作为重要的粮、菜兼用型作物, 深受南疆少数民族的喜爱。马铃薯属盐敏感型作物, 为研究其耐盐机制, 选育耐盐品种, 试验采用盆栽方法, 研究了4个马铃薯品种在土壤含盐量(NaCl)分别为0(对照)、0.3%(处理1)、0.6%(处理2)条件下的出苗天数、出苗率、苗期株高、SPAD值、过氧化氢酶(CAT)活性、过氧化物酶(POD)活性及超氧化物歧化酶(SOD)活性的变化。结果表明, 在0~0.6%的土壤含盐量(NaCl)下, 随着土壤含盐量增大, 马铃薯出苗延迟, 出苗率、株高、SPAD值、POD活性、SOD活性、CAT活性均降低, 0.3%处理下出苗较对照平均延长3.25 d, 出苗率降低26.67个百分点; 0.6%土壤含盐量出苗较对照平均延长5.75 d, 出苗率降低70.00个百分点。在盐胁迫处理下, ‘龙薯10号’出苗率、SPAD值、抗氧化酶活性均高于其他品种。研究结果可为马铃薯耐盐品种的筛选和培育提供参考。

**关键词:** 马铃薯; 盆栽; 盐胁迫; 抗氧化酶

## Effects of Salt Stress on Biological Characters of Potato Seedling Emergence and Seedling Stage

JIANG Yinghong, LIU Yi, XING Binde, SUN Hui, FENG Huaizhang\*

(Comprehensive Experimental Farm, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi, Xinjiang 830012, China)

**Abstract:** As an important food and vegetable crop, potato is very popular among the minorities in southern Xinjiang. Potato is a salt-sensitive crop. In order to study its salt-tolerant mechanism and breed salt-tolerant varieties, pot culture was used in this experiment, and the changes in emergence days, emergence rate, plant height at seedling stage, SPAD value, and activities of catalase (CAT), peroxidase (POD) and superoxide dismutase (SOD) of four potato varieties were studied under the conditions of 0 NaCl (control), 0.3% NaCl (treatment 1) and 0.6% NaCl (treatment 2), respectively. The emergence rate, plant height, SPAD value, and activities of POD, SOD and CAT of potato decreased with the increase of soil salinity (0 - 0.6% NaCl). Under 0.3% treatment, the seedling emergence was 3.25 days longer than that of the control, and the seedling emergence rate was 26.67 percentage points lower than that of the control. Under 0.6% treatment, the seedling emergence rate was 5.75 days longer than that of the control, and the seedling emergence rate was 70.00 percentage points lower than that of the control. Under salt stress, the emergence rate, SPAD value and antioxidant enzyme activity of 'Longshu 10' were higher than those of other varieties. These results would provide a reference for the selection and breeding of salt-resistant potato varieties.

**Key Words:** potato; pot culture; salt stress; antioxidant enzyme

收稿日期: 2021-07-13

基金项目: 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系资助(CARS-10)。

作者简介: 江应红(1988-), 女, 研究实习员, 从事马铃薯抗逆品种筛选研究。

\*通信作者(Corresponding author): 冯怀章, 高级农艺师, 研究方向为马铃薯新品种选育及栽培技术研究, E-mail: feng9968@126.com。

新疆三地州(喀什地区、和田地区和克孜勒苏柯尔克孜自治州)是新疆维吾尔自治区自然条件最为艰苦、经济发展最为落后、贫困人口最为集中的地区,占新疆维吾尔自治区贫困人口的80%,贫困家庭收入主要来自种植业(52.13%)和牧业(21.98%)<sup>[1]</sup>。因此,解决南疆三地州人口的贫困问题,将对新疆维吾尔自治区人民脱贫致富起到关键性作用。马铃薯作为重要的粮、菜兼用型作物,耐贫瘠、耐干旱<sup>[2]</sup>,深受南疆少数民族的喜爱。南疆三地州属于大陆性干旱荒漠气候,土壤类型以沙壤土为主,具有适合马铃薯生长发育的环境条件。自2015年国家提出马铃薯主粮化战略以来,南疆地区马铃薯林下种植、复播技术、冷凉地区全程机械化种植技术快速发展,喀什地区泽普县建成多熟高效新品种示范基地,推广早熟马铃薯复播技术,纯收益达到36 000元/hm<sup>2</sup>以上<sup>[3]</sup>。南疆果园间作双膜覆盖技术、三膜覆盖技术的推广与示范,实现了鲜薯提前上市,获得了较高的经济效益。

马铃薯属盐敏感型作物<sup>[4]</sup>,土壤盐碱化对马铃薯

出苗、生长及产量均有很大影响。极端干旱气候条件造就了新疆维吾尔自治区成为中国土壤盐碱化、次生盐渍化的主要分布区<sup>[5]</sup>,土壤盐渍化已成为该区绿色农业可持续发展的主要障碍。据统计,新疆维吾尔自治区土壤盐渍化面积占耕地总面积的37.7%,且南疆(49.6%)高于北疆(25.2%)<sup>[6]</sup>。因此,选育耐盐品种,探究马铃薯耐盐机制,将为马铃薯耐盐种质资源创新及选育耐盐品种奠定理论基础,对改良和利用盐碱地,保障粮食安全及南疆地区脱贫攻坚都具有重大意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

选取4个马铃薯品种,分别为:‘龙薯10号’‘费乌瑞它’‘龙薯4号’‘龙薯3号’。

供试土壤采自新疆农业科学院综合试验场20号地网室内,土壤类型为沙壤土,取土深度0~30 cm,经混匀、碾压、粉碎、风干、过筛(2 mm),测定土壤基本理化性质(表1)。

表1 供试土壤基本理化性质  
Table 1 Basic physical and chemical properties of tested soil

指标 Indicator	单位 Unit	值 Value
pH	-	8.4
总盐 Total salt	g/kg	0.6
有机质 Organic matter	g/kg	18.4
全氮 Total nitrogen	g/kg	1.36
水解性氮 Hydrolytic nitrogen	mg/kg	184
全磷 Total phosphorus	g/kg	0.99
有效磷 Available phosphorus	mg/kg	59.2
全钾 Total potassium	g/kg	1.9
速效钾 Available potassium	mg/kg	827

### 1.2 试验设计及方法

采用盆栽方法,设置2个处理,每个处理重复5次。由于南疆土壤盐分以硫酸盐-氯化物或氯化物盐类为主<sup>[7]</sup>,故本试验采用在供试土壤中加入氯化钠分析纯的方法,使土壤含盐量(NaCl)分别达到:0.3%(低盐)、0.6%(中盐),以供试土壤为对照(不考虑供

试土壤中所含盐分)。试验于2017年5月15日播种,塑料盆高20 cm,口径25 cm,每盆装供试土壤5 kg,按照设置的2个NaCl浓度,称取NaCl分析纯15、30 g均匀拌在土壤中。挑选大小一致的种子,每盆播种3颗。埋土深度大约10 cm。花盆下置托盘,为避免浇水时水分淋溶造成盐分降低,将托盘

上的水及时倒回盆中。

### 1.3 观测指标测定方法

出苗天数: 以每处理超过一半出苗的日期为出苗日, 观测每盆中种子从播种日至出苗日的天数;

出苗率: 播种后 25 d 统计各处理的出苗率, 出苗率(%) = (出苗数/播种数) × 100;

株高: 播种后 25 d, 用直尺测量植株近地面主茎到顶端生长点的高度, 每处理 5 次重复, 求平均值;

SPAD 值测定: 播种后 30 d, 采用 SPAD 测定仪(型号: TYS-B)测定植株倒三叶的 SPAD 值, 每处理 5 次重复, 求平均值。

抗氧化酶活性测定: 播种后 30 d, 采集植株倒三叶叶片进行抗氧化酶活性测定, 取下叶片后快速用液氮速冻, 做好标记放入超低温冰箱内保存备用。过氧化氢酶(CAT)采用  $KMnO_4$  滴定法<sup>[8]</sup>; 过氧化物酶(POD)采用愈创木酚法<sup>[8]</sup>; 超氧化物歧化酶

(SOD)活性用 NBT 还原抑制法<sup>[9]</sup>测定, 5 次重复。

### 1.4 数据统计

数据及主成分分析采用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 22.0 进行统计分析, 显著性检验采用最小显著差数法(LSD)。

## 2 结果与分析

### 2.1 盐胁迫对不同马铃薯品种出苗的影响

盐胁迫显著抑制了不同品种马铃薯的出苗率, 并延长了出苗天数。处理 1 不同马铃薯品种出苗天数较对照平均延长 3.25 d; 处理 2 出苗天数较对照平均延长 5.75 d, 较处理 1 平均延长 2.50 d。出苗天数在品种间存在差异, ‘龙薯 10 号’在两个处理中出苗天数分别较对照延长 2 和 5 d, ‘龙薯 3 号’分别较对照延长 5 和 8 d。出苗率处理 1、处理 2 较对照分别降低 26.67、70.00 个百分点(表 2)。

表 2 不同处理马铃薯出苗天数及出苗率

Table 2 Emergence days and emergence rate of potato in different treatments

处理 Treatment	出苗天数(d) Emergence days					出苗率(%) Emergence rate				
	龙薯 10 号 Longshu 10	费乌瑞它 Favorita	龙薯 4 号 Longshu 4	龙薯 3 号 Longshu 3	均值 Mean value	龙薯 10 号 Longshu 10	费乌瑞它 Favorita	龙薯 4 号 Longshu 4	龙薯 3 号 Longshu 3	均值 Mean value
CK Treatment 0	12	13	11	11	11.75	93.33	93.33	93.33	80.00	90.00
处理 1 Treatment 1	14	17	13	16	15.00	73.33	66.67	60.00	53.33	63.33
处理 2 Treatment 2	17	18	16	19	17.50	26.67	20.00	13.33	20.00	20.00

由于大田生产中, 马铃薯品种耐盐性最直观的判断标准即为出苗率和产量, 因此本试验以出苗率作为不同品种耐盐性评价标准。由表 2 可知, ‘龙薯 10 号’耐盐性高于其他 3 个品种。

### 2.2 盐胁迫对不同马铃薯品种株高的影响

各处理马铃薯植株的株高均随着土壤含盐量的升高而降低, 说明盐胁迫会抑制马铃薯植株的生长, 且其抑制作用与盐分含量成正相关关系。‘龙薯 10 号’‘龙薯 3 号’在处理 1 中株高分别为 6.09 和 6.10 cm, 较对照降低 26.93%、22.02%, 差异不显

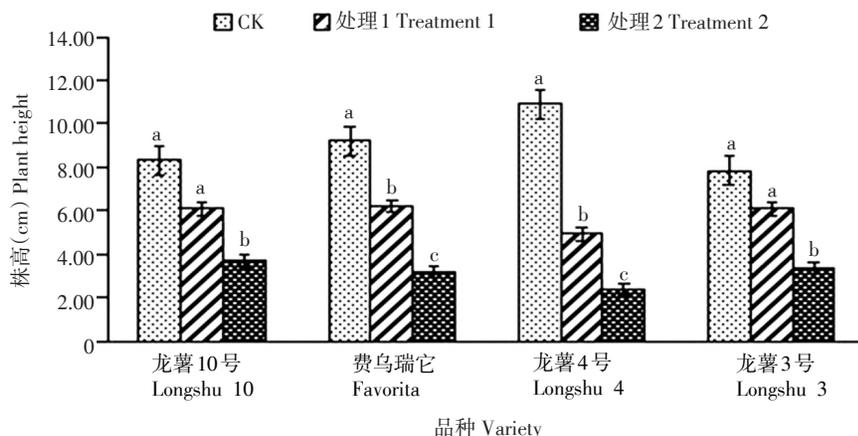
著; 处理 2 中, 株高分别为 3.67 和 3.33 cm, 较对照降低 39.73%、45.36%, 差异显著。‘费乌瑞它’‘龙薯 4 号’在处理 1 中株高分别为 6.21 和 4.94 cm, 较对照降低 32.65%、54.64%, 差异显著; 处理 2 中株高分别为 3.17 和 2.37 cm, 较对照降低 49.02%、52.07%, 差异显著。说明‘龙薯 10 号’‘龙薯 3 号’对盐胁迫的耐受程度高于‘费乌瑞它’和‘龙薯 4 号’(图 1)。

### 2.3 盐胁迫对不同马铃薯品种叶片 SPAD 值的影响

不同品种马铃薯叶片 SPAD 值均随盐分浓度的升高而降低, 说明盐胁迫下, 盐分离子破坏了叶绿

素的合成, 进而影响植物光合作用。在处理1中, ‘龙薯10号’SPAD值为49.77, 较对照降低5.41%, 差异不显著; ‘费乌瑞它’‘龙薯4号’‘龙薯3号’SPAD值分别为45.22、48.29、42.26, 较对照降低

9.33%、9.50%、14.84%, 差异显著。在处理2中, 4个品种SPAD值较对照分别降低21.43%、31.25%、32.49%、23.24%, 均表现为差异显著。说明‘龙薯10号’耐盐性高于其他3个品种(图2)。



注: 不同小写字母表示同一品种在不同处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下同。

Note: Treatments with different lowercase letters indicate significant difference within the same variety ( $P < 0.05$ ). The same below.

图1 盐胁迫下不同品种马铃薯的株高

Figure 1 Plant heights of different potato varieties under salt stress

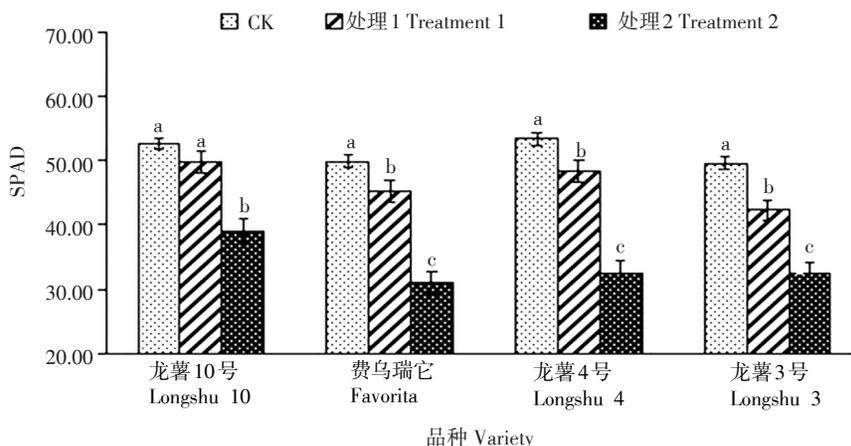


图2 盐胁迫下不同品种马铃薯叶片的SPAD值

Figure 2 SPAD values in leaves of different potato varieties under salt stress

#### 2.4 盐胁迫对不同马铃薯品种抗氧化酶活性的影响

在两个处理中, 不同马铃薯叶片过氧化物酶(POD)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性、过氧化氢酶(CAT)活性表现一致, 均随盐分浓度的升高而降低, 说明盐分抑制了酶的活性, 造成植株生长受到限制。酶活性的降低程度在不同品种和盐分浓度

下表现出差异(图3~5)。

在处理1中, 过氧化物酶(POD)活性较对照降幅依次为: ‘费乌瑞它’<‘龙薯10号’<‘龙薯3号’<‘龙薯4号’, 其中‘费乌瑞它’降幅仅为4.7%, 差异不显著, 其他3个品种差异显著; 过氧化氢酶(CAT)活性降幅依次为: ‘费乌瑞它’<

‘龙薯3号’<‘龙薯10号’<‘龙薯4号’, 其中‘龙薯4号’为47.48%, 差异显著, 其他3个品种差异不显著; 超氧化物歧化酶(SOD)活性降幅依次为: ‘龙薯

3号’<‘龙薯10号’<‘费乌瑞它’<‘龙薯4号’, 其中‘龙薯4号’为21.44%, 差异显著, 其他3个品种差异不显著。

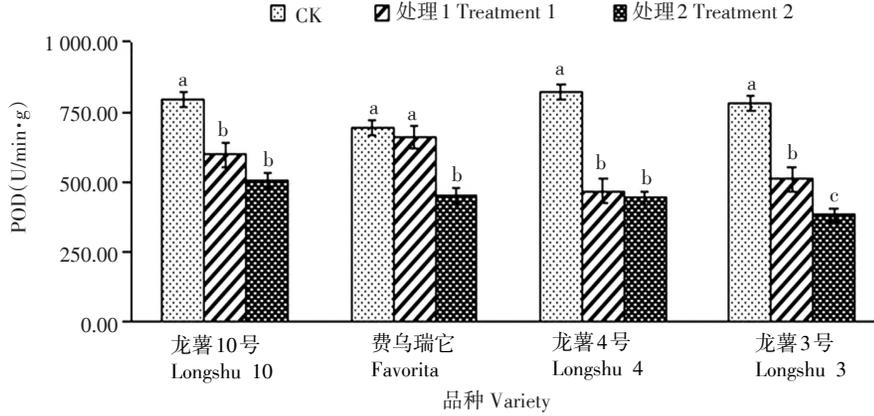


图3 盐胁迫下不同品种马铃薯叶片的POD活性

Figure 3 POD activity in leaves of different potato varieties under salt stress

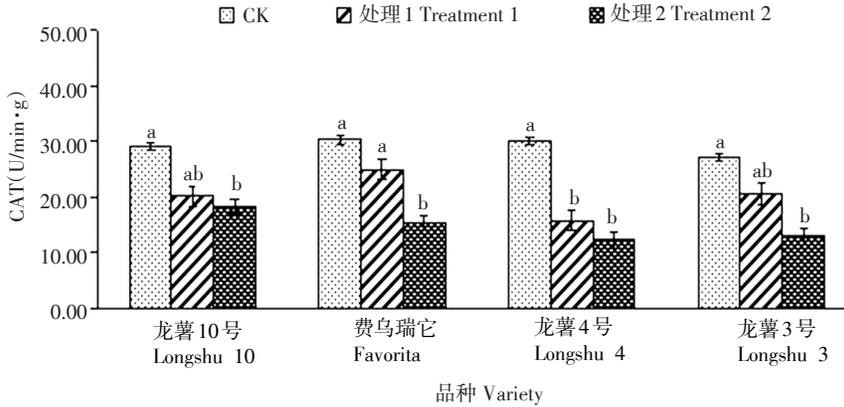


图4 盐胁迫下不同品种马铃薯叶片的CAT活性

Figure 4 CAT activity in leaves of different potato varieties under salt stress

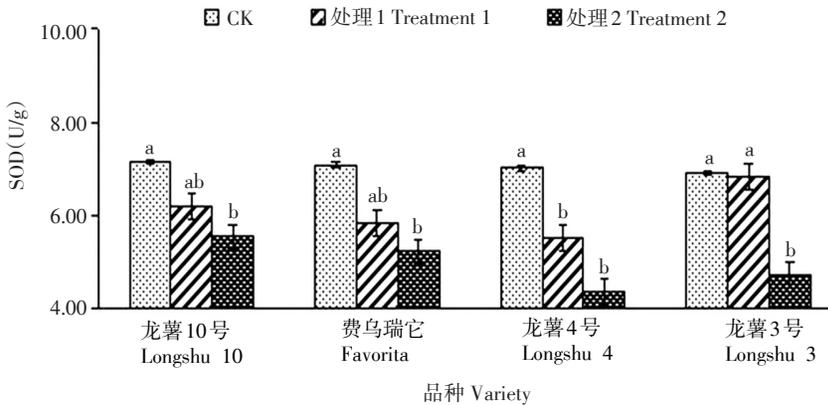


图5 盐胁迫下不同品种马铃薯叶片的SOD活性

Figure 5 SOD activity in leaves of different potato varieties under salt stress

在处理2中, 过氧化物酶(POD)活性较对照降幅依次为: ‘费乌瑞它’<‘龙薯10号’<‘龙薯4号’<‘龙薯3号’, 较对照均差异显著; 较处理1, ‘龙薯10号’及‘龙薯4号’降幅分别为15.5%、5.0%, 差异不显著, ‘龙薯3号’及‘费乌瑞它’降幅分别为25.3%、31.7%, 差异显著。过氧化氢酶(CAT)活性较对照降幅依次为: ‘龙薯10号’<‘费乌瑞它’<‘龙薯3号’<‘龙薯4号’, 均差异显著; 较处理1, ‘费乌瑞它’降幅为38.2%, 差异显著, 其他3个品种差异不显著。超氧化物歧化酶(SOD)活性较对照降幅依次为‘龙薯10号’<‘费乌瑞它’<‘龙薯3号’<‘龙薯4号’, 均差异显著; 较处理1, ‘龙薯3号’降幅为30.85%, 差异显著, 其他3个品种差异不显著。

‘龙薯10号’在两个处理中, 出苗率、SPAD值、抗氧化酶活性均高于其他品种, 因此可初步判

断‘龙薯10号’耐盐性高于其他品种, 可进行进一步试验。

## 2.5 主成分分析

对4个马铃薯品种所测的所有指标进行主成分分析(表3)。在处理1中, 6个指标可分为两个主成分, 其中第一主成分贡献率为51.130%, 第二主成分贡献率为39.194%, 两个主成分累计贡献率达90.324%。根据各指标成分值的大小可知, 在处理1中, 第一主成分包括株高、CAT、POD三个指标, 第二主成分包括出苗率、SPAD值、SOD三个指标。说明, 在处理1中, 0.3%的盐胁迫程度首先影响了株高、CAT、POD三个指标, 其次为出苗率、SPAD值、SOD。在处理2中, 仅1个主成分, 累计贡献率达78.282%, 说明0.6%的盐胁迫程度对6个指标均影响显著, 致使植株生长受到显著抑制。

表3 盐胁迫下马铃薯各指标主成分分析

Table 3 Principal component analysis of various potato indexes under salt stress

测定指标 Determination index	处理1 主成分 Principal component of treatment 1		处理2 主成分 Principal component of treatment 2
	主成分1 Principal component 1	主成分2 Principal component 2	主成分1 Principal component 1
	特征值 Eigenvalues	3.068	2.352
累计贡献率(%) Cumulative contribution	51.130	90.324	78.282
出苗率 Emergence rate	0.320	0.920	0.956
株高 Plant height	0.971	-0.105	0.844
SPAD	-0.384	0.866	0.818
POD	0.864	0.481	0.729
CAT	0.958	0.056	0.981
SOD	0.460	-0.715	0.952

## 3 讨论

盐胁迫会对植物的发芽、生长发育和产量产生不利影响<sup>[10]</sup>, 具体可表现为出苗延迟, 成苗率降低, 幼苗生长缓慢, 长势变弱, 叶片萎蔫发黄, 苗期和花期延长、产量下降等<sup>[11-13]</sup>, 盐分过高则会造成植物早衰甚至死亡<sup>[14]</sup>。研究表明, 随着盐浓度的增加, 土壤溶液的渗透压降低, 导致马铃薯实生种子

吸水困难, 种子发芽率降低<sup>[15]</sup>。本试验也发现, 盐胁迫使马铃薯种子出苗延迟, 出苗率、株高均降低, 0.3%土壤含盐量出苗较对照平均延长3.25 d, 出苗率降低26.67个百分点; 0.6%土壤含盐量出苗较对照平均延长5.75 d, 出苗率降低70.00个百分点。这与周明扬等<sup>[16]</sup>、刘学良等<sup>[17]</sup>得到的结论一致。但也有研究发现, 低盐可以促进作物生长。刘爱荣等<sup>[18]</sup>发现低浓度的盐胁迫可以促进金盏菊的生长。高玉

坤等<sup>[19]</sup>、孙飞<sup>[20]</sup>对耐盐高粱的研究结果一致认为低盐胁迫能够促进高粱生长, 在低盐胁迫下耐盐品种高粱蔗, 基部节长、基部茎粗和株高增加。

植物体内的叶绿体对盐胁迫等逆境较为敏感。当植物遭受盐胁迫时, 叶绿体结构受到损害, 导致叶绿素含量减少, 光合能力下降<sup>[21]</sup>。叶绿素是一类含脂的绿色色素, 是绿色植物进行光合作用的主要色素。由于叶片SPAD值与叶绿素含量具有显著相关性<sup>[22-24]</sup>, 因而SPAD值常被用来表征植物体叶片叶绿素含量。本试验发现随着盐胁迫程度的增加, 马铃薯叶片中SPAD值呈降低趋势, 这与前人关于玉米<sup>[25]</sup>、向日葵<sup>[26]</sup>的研究结论一致; 但王明泉等<sup>[27]</sup>通过水培法研究发现, 低浓度盐(55 mmol/L NaCl)胁迫条件可促进玉米自交系幼苗叶绿素含量的增加。

过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)均为植物体内的抗氧化保护酶系统。一般来讲, 植物体内的POD、SOD、CAT等酶活性与植物的抗氧化能力呈正相关。盐生植物与非盐生植物相比, 其POD、SOD、CAT活性更高, 因而更能有效地清除活性氧, 阻止膜质过氧化<sup>[28]</sup>。本试验中, 马铃薯叶片POD、SOD、CAT活性表现一致, 均随盐胁迫程度的升高而降低, 这与包云飞<sup>[29]</sup>的研究结论一致。推测两个处理的盐胁迫程度均已超出植物耐受能力, 致使植株叶片酶活性降低。而两个处理中, ‘龙薯10号’的抗氧化酶活性均高于其他品种, 也说明了‘龙薯10号’的耐盐性高于其他品种。但关于抗氧化酶活性的研究结论各不相同。高玉坤等<sup>[19]</sup>研究认为盐胁迫下高粱叶片的SOD、POD和CAT活性均表现为先升高后降低的趋势。张景云等<sup>[30]</sup>研究表明, 耐盐组马铃薯叶片的SOD活性呈升高的趋势, 中耐盐组和感盐组呈先降低后升高的趋势, 耐盐组和中耐盐组POD活性相对值呈先降低后升高的趋势, 感盐组呈降低的趋势。胡德龙等<sup>[31]</sup>对6个马铃薯品种的组培苗进行盐胁迫, 发现随NaCl胁迫浓度增加, CAT活性呈现先降低再升高的趋势, SOD活性的变化规律为: 先降低再升高最后再降低。凌云鹤等<sup>[26]</sup>研究了250 mmol/L NaCl溶液对向日葵幼苗的影响, 发现盐胁迫使向日葵SOD、POD、CAT活性均升高。邹春雷<sup>[32]</sup>研究也发现, 一定浓度(25/50 mmol/L)的盐胁迫处理可以提高甜菜叶片的

SOD和POD活性。

以上结论的不同, 推测可能与试验方法、盐渍化土壤种类、盐胁迫程度、胁迫时间、作物、试验操作等因素都有关系。适当的盐分胁迫下保护酶活性会增强, 其中SOD催化超氧阴离子自由基发生歧化反应, 消除有毒离子 $O_2^-$ , 从而产生危害性较小的 $H_2O_2$ 和 $O_2^{[33]}$ 。CAT能继续催化 $H_2O_2$ 分解, 形成 $H_2O$ 和 $O_2$ 。此时, POD也在清除 $H_2O_2$ 的过程中起着重要的作用<sup>[34,35]</sup>。由于这3种保护酶的联合作用, 使得植物体内自由基含量稳定, 防止生物膜结构和功能受到破坏, 使植物保持了一定的耐盐能力。这便解释了以上关于盐胁迫条件下抗氧化酶活性升高的原因, 同时, 植物对逆境胁迫的响应, 促进了叶片中叶绿素的合成过程<sup>[27]</sup>, 进而促进了植株的生长; 当盐分胁迫程度超出植物耐受范围之后, 盐分胁迫程度越高, 抗氧化酶活性越低, 叶绿素合成受阻, 细胞膜系统受到破坏, 代谢紊乱, 进而死亡。在植株形态上则表现为生长发育缓慢, 叶片黄化, 甚至死亡。因此, 作物生长生理指标的变化与作物本身的耐盐性及盐胁迫的程度均有较大关系。而马铃薯本身为盐敏感型作物, 因此本试验中株高、叶绿素及抗氧化酶活性均呈现降低趋势。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 罗红云, 熊菲. 新疆南疆三地州贫困与反贫困策略研究——基于三地州210户农户的调查[J]. 新疆财经大学学报, 2015(1): 32-40.
- [2] 杨雅伦, 郭燕枝, 孙君茂. 我国马铃薯产业发展现状及未来展望[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(1): 29-36.
- [3] 解立杰, 王凤梅. 推进南疆马铃薯主食化产业发展的思考[J]. 新疆农业科技, 2021(1): 10-11.
- [4] 龚家栋. 马铃薯不同品种耐盐性差异初步研究[J]. 中国沙漠, 1996(1): 61-66.
- [5] 田长彦, 周宏飞, 刘国庆. 21世纪新疆土壤盐渍化调控与农业持续发展研究建议[J]. 干旱区地理, 2000(2): 177-181.
- [6] 张龙. 近二十年新疆灌区盐碱地变化情况分析和对策研究[J]. 水资源开发与管理, 2020(6): 72-76.
- [7] 刘蕾. 新疆土壤盐分的组成和分布特征[J]. 干旱环境监测, 2009, 23(4): 227-229.
- [8] 张志良, 瞿伟菁, 李小方. 植物生理学实验指导[M]. 4版. 北京:

- 高等教育出版社, 2009.
- [9] 张宪政. 超氧化物歧化酶活性的测定 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1992.
- [10] Hasanuzzaman M, Hakeem K R, Nahar K, *et al.* Plant abiotic stress tolerance [M]. Cham: Springer, 2019.
- [11] 王新伟, 李照河, 栾鸿坤, 等. 马铃薯高淀粉资源试管苗抗盐性鉴定 [J]. 中国马铃薯, 1998, 12(1): 15-18.
- [12] 李青, 秦玉芝, 胡新喜, 等. 马铃薯耐盐性研究进展 [J]. 园艺学报, 2017, 44(12): 2408-2424.
- [13] 姜丽丽, 吴立萍, 牟芮, 等. 不同用途马铃薯离体条件下耐盐性鉴定 [J]. 作物杂志, 2015(6): 59-63.
- [14] Farooq M, Gogoi N, Hussain M, *et al.* Effects, tolerance mechanisms and management of salt stress in grain legumes [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2017, 118: 199-217.
- [15] 康玉林, 徐利群, 张春震, 等. 不同盐浓度对马铃薯实生苗的影响 [J]. 马铃薯杂志, 1996, 10(1): 17-19.
- [16] 周明扬, 张丽莉, 石瑛, 等. NaCl 胁迫对马铃薯组培苗生理特性的影响 [J]. 贵州农业科学, 2015, 43(12): 56-59.
- [17] 刘学良, 姚俊修, 刘翠兰, 等. 7 个接骨木无性系苗木对盐胁迫的生理响应与评价 [J]. 中南林业科技大学学报, 2021, 41(1): 37-45.
- [18] 刘爱荣, 张远兵, 方园园, 等. 盐胁迫对金盏菊生长、抗氧化能力和盐胁迫蛋白的影响 [J]. 草业学报, 2011, 20(6): 52-59.
- [19] 高玉坤, 杨溥原, 项晓冬, 等. 不同耐盐高粱品种全生育期对盐胁迫的响应 [J]. 华北农学报, 2020, 35(6): 113-121.
- [20] 孙飞. 高粱杂交种耐盐性评价及耐盐生理机制研究 [D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018.
- [21] 杨升, 张华新, 张丽, 等. 植物耐盐生理生化指标及耐盐植物筛选综述 [J]. 西北林学院学报, 2010, 25(3): 59-65.
- [22] 钟全林, 程栋梁, 胡松竹, 等. 刨花楠和华东润楠叶绿素含量分子特征及与净光合速率的关系 [J]. 应用生态学报, 2009, 20(2): 271-276.
- [23] Bielini E, Jozwiak W, Robakowski P. Modelling of the relationship between the SPAD values and photosynthetic pigments content in *Quercus petraea* and *Prunus serotina* leaves [J]. *Dendrobiology*, 2015, 73: 125-134.
- [24] Uddling J, Gelang-Alfredsson J, Piikki K, *et al.* Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings [J]. *Photosynthesis Research*, 2007, 91(1): 37-46.
- [25] 刘易, 祁通, 孟阿静, 等. 生物质炭输入对盐胁迫下玉米幼苗生长和光合生理特征的影响 [J]. 华北农学报, 2017, 32(4): 182-188.
- [26] 凌云鹤, 周瑶, 景兵, 等. 盐胁迫对向日葵幼苗生长及生理特性的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(4): 139-145.
- [27] 王明泉, 付立新, 李国良, 等. 玉米抗感种质资源苗期耐盐性的光合作用机制研究 [J]. 中国农学通报, 2021, 37(5): 8-14.
- [28] 李丽霞, 刘玉汇, 王丽, 等. 转 *AtNHX1* 基因马铃薯田间盐胁迫下的生理反应及耐盐性的综合评价 [J]. 干旱地区农业研究, 2017, 5(3): 130-137.
- [29] 包云飞. 盐胁迫下马铃薯相关基因表达量及生理生化变化研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013.
- [30] 张景云, 缪南生, 白雅梅, 等. 盐胁迫下二倍体马铃薯叶绿素含量和抗氧化酶活性的变化 [J]. 作物杂志, 2014(5): 59-63.
- [31] 胡德龙, 许越珺, 许建民, 等. 马铃薯耐盐品种的鉴定及 *StDWF4* 基因生物信息学分析 [J]. 分子植物育种, 2020, 18(23): 7654-7661.
- [32] 邹春雷. 甜菜适应碱性盐胁迫的生理机制及其转录组分析 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.
- [33] Rehman R U, Zia M, Chaudhary M F. Salicylic acid and ascorbic acid retrieve activity of antioxidative enzymes and structure of *Caralluma tuberculata* calli on PEG stress [J]. *General Physiology and Biophysics*, 2017, 36(2): 167-174.
- [34] Sahu B, Sahu A K, Chennareddy S R, *et al.* Insights on germinability and desiccation tolerance in developing neem seeds (*Azadirachta indica*): role of AOS, antioxidative enzymes and dehydrin-like protein [J]. *Plant physiology and Biochemistry*, 2017, 112: 64-73.
- [35] 张家洋. 重金属及盐胁迫对绿金合果芋生理特性的影响 [J]. 浙江农业学报, 2016, 28(4): 601-608.