

NaCl胁迫对马铃薯生理生化特性产量及品质的影响

姚彦红^{1,2}, 康益晨³, 杨昕宇³, 李德明^{1,2}, 潘晓春^{1,2}, 李丰先^{1,2}, 董爱云^{1,2}
(1. 定西市农业科学研究院, 甘肃 定西 743000; 2. 甘肃省马铃薯工程技术研究中心, 甘肃 定西 743000; 3. 甘肃农业大学园艺学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 为探明盐胁迫对马铃薯生长发育及产量的影响, 以定薯4号脱毒原原种为材料, 采用盆栽方式, 以4个NaCl浓度处理模拟不同程度盐逆境, 研究NaCl处理对马铃薯产量、品质、抗氧化系统、叶片超微结构及淀粉粒形态的影响。结果表明, 随着NaCl浓度的增加, 马铃薯产量及品质均会发生不同程度的下降, 叶片丙二醛(MDA)、脯氨酸(Pro)、过氧化物酶(SOD)及超氧化歧化酶(POD)含量(活性)均有不同程度升高, 叶片超微结构和淀粉粒形态发生变化。盐逆境严重抑制了马铃薯的生长发育, 盐逆境下氨基酸含量、可溶性蛋白含量、酚类物质含量及淀粉含量与产量呈极显著正相关。

关键词: NaCl胁迫; 产量; 品质; 抗氧化系统; 超微结构; 淀粉粒

中图分类号: S532 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2020)04-0036-07

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2020.04.010](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2020.04.010)

Effects of NaCl Stress on Physiological and Biochemical Characteristics, Yield and Quality of Potato

YAO Yanhong^{1,2}, KANG Yichen³, YANG Xinyu³, LI Deming^{1,2}, PAN Xiaochun^{1,2}, LI Fengxian^{1,2}, DONG Aiyun^{1,2}

(1. Dingxi Academy of Agricultural Sciences, Dingxi Gansu 743000, China; 2. Gansu Potato Engineering Technology Research Center, Dingxi Gansu 743000, China; 3. College of Horticulture, Gansu Agricultural University, 730070, Lanzhou, Gansu)

Abstract: In order to explore the effects of salt stress on potato growth and yield. Using of the original seed of Dingshu 4 as the material with the potted method, the effects of NaCl on potato yield, quality, antioxidant system, ultrastructure of leaves and starch grain morphology were studied by using 4 NaCl concentrations to simulate different degrees of salt stress. The results showed that with the increase of NaCl concentration, the yield and quality of potato decreased to different degrees, the content (activity) of malondialdehyde(MDA), proline(Pro), peroxidase(SOD) and POD in leaves increased to different degrees, and the ultrastructure and starch morphology of leaves changed. The content of amino acid, soluble protein, phenolic substance and starch were positively correlated with the yield of potato under salt stress.

Key words: Yield; Quality; Antioxidant system; Ultrastructure; Starch granule

马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)属多年生草本植物, 是我国广泛种植的一种农作物, 产量高、营养丰富、味道佳, 深受大众喜

爱, 自2015年起, 我国农业部启动马铃薯主粮化战略, 马铃薯在生产中的地位愈发重要^[1-2]。甘肃省定西市为中国马铃薯的主产

收稿日期: 2019-10-31

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS-10); 甘肃省科技重大专项(17ZD2NA016)。

作者简介: 姚彦红(1967—), 女, 甘肃定西人, 高级农艺师, 主要从事马铃薯栽培与育种技术推广工作。Email: yaoyanhongdxasa@qq.com。

通信作者: 李德明(1963—), 男, 甘肃定西人, 推广研究员, 主要从事马铃薯遗传育种与栽培技术研究工作。Email: dxlideming@163.com。

区之一,得天独厚的地理环境和自然条件使定西市成为中国乃至世界马铃薯最佳适种区之一,每年向全国各省市提供大量的马铃薯,被誉为“中国马铃薯之乡”^[3-4]。然而,随着化学肥料和农药的滥施滥用,不科学的种植制度及灌水,严重影响了定西市土壤质量,加之定西市属于半干旱区,土壤蒸发量大于降水量,土壤盐分随水分的蒸发向上运动,使盐分积累在土壤表层,使得土地盐渍化愈发严重。当土壤含盐量超过 3 g/kg 时,就会形成盐渍灾害。过量的 Na^+ 离子会对植物产生毒害作用并抑制植物对其他营养离子的吸收和利用^[5],当土壤溶液中盐成分过量时,会降低植物的吸水能力,从而导致植物水分亏缺,生长受到抑制,主要体现在抑制植物组织和器官的生长和分化,提前植物的发育进程^[6]。目前,有关马铃薯盐逆境的研究大多以马铃薯试管苗为材料^[7],且多集中于植株生长发育前期,对其生理变化的研究大都缺乏连贯性,且因材料限制,难以对其产量及品质等经济指标进行研究。部分学者采用田间试验的方法利用盐渍化土壤进行马铃薯栽培,研究了盐逆境对其产量构成的影响^[8],但因试验地的复杂性,难以精确衡量马铃薯对单盐逆境的响应,结果缺乏广泛适用性。

为探明 NaCl 胁迫对马铃薯生长及产量的影响,我们以马铃薯原原种为材料、NaCl 不同浓度为处理布置盆栽试验,对马铃薯生理生化特性、产量及品质进行了分析,探究马铃薯生长发育对盐胁迫的响应规律,以期探明马铃薯对盐伤害的反应机理,为其抗盐生理和抗盐育种奠定基础,同时为旱作区马铃薯增产提质提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

指示马铃薯品种为定薯 4 号原原种,由甘肃省定西市农业科学研究院提供。定薯 4 号为中晚熟品种,生育期 114 d 左右,蒸煮

食味优。薯块休眠期长,耐运输、贮藏。抗晚疫病,对花叶病毒病具有较好的田间抗性^[9]。供试肥料速溶硫酸钾($\text{K}_2\text{O} \geq 52\%$),为俄罗斯原装进口,规格为 20 kg/袋;尿素($\text{N} \geq 46\%$),由天津市光复科技发展有限公司生产,规格为 500 g/盒;普通过磷酸钙($\text{P}_2\text{O}_5 \geq 15\%$),由天津市大茂化学试剂厂生产,规格为 500 g/盒。

1.2 试验方法

试验于 2018 年 4—9 月在甘肃省定西市农业科学研究院进行。采用盆栽种植方式,培养盆规格为 30 cm × 30 cm,栽培基质以蛭石和珍珠岩按体积比 4 : 1 的比例混合均匀,播种前将基质总量 0.2% 的 50% 多菌灵可湿性粉剂拌入基质消毒后入盆。各处理均种植 20 盆,基质厚 22 cm,播种前 2 d 浇透水。试验共设 5 个 NaCl 浓度处理,分别为 0 (CK)、60 (T1)、120 (T2)、180 (T3)、240 mmol/L (T4)。2018 年 4 月 17 日选择饱满芽体种薯播种,每盆 1 个薯块,芽体朝上,每 7 d 按试验方案以不同浓度 NaCl 溶液浇灌盆栽 1 次,每次 2 L。各处理肥料施用总量为速溶硫酸钾 5.827 g/株、普通过磷酸钙 10.694 g/株、尿素 7.575 g/株,其中基肥与追肥各占肥料施用总量的 1/2,于现蕾期(6月 20 日)追肥。马铃薯苗齐后用遮阳网遮阴,常规管理,分别于 6 月 20 日、7 月 20 日、8 月 20 日取样,9 月 20 日收获。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 马铃薯产量 马铃薯成熟后收获计产并折合产量。

1.3.2 马铃薯抗氧化酶活性 分别于 6 月 20 日、7 月 20 日、8 月 20 日进行叶片抗氧化酶活性测定。其中超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑(NBT)光还原法^[10],过氧化物酶(POD)活性测定采用愈创木酚氧化法^[10],丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸法^[10],叶片中脯氨酸(Pro)含量采

用磺基水杨酸法测定^[10]。

1.3.3 叶片微观结构 于盛花期(7月20日)选取差异较大的处理,用日本生产的 JEM-1230JEOL 透射电子显微镜观察并拍照^[11]。

1.3.4 薯块淀粉粒形态 用光学显微镜观察^[12]。

1.3.5 马铃薯块茎品质测定 9月20日收获后随机选取各处理有代表性的薯块,去皮后进行品质测定,3次重复。淀粉含量采用碘比色法测定^[13],还原糖含量采用 3,5-二硝基水杨酸(DNS)比色法测定^[14],Vc含量采用紫外分光光度法测定^[13],可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 法测定^[13],氨基酸含量采用茚三酮比色法测定^[13],酚类物质含量采用 Folin 酚试剂法测定^[15]。

1.4 数据处理

运用 Microsoft Excel 2010 软件进行数据统计,用 SPSS 19.0 软件进行数据分析,用 Origin 2018 软件进行数据分析及作图。

2 结果与分析

2.1 NaCl 胁迫对马铃薯块茎产量及品质的影响

2.1.1 产量 通过图 1 可以看出,随着 NaCl

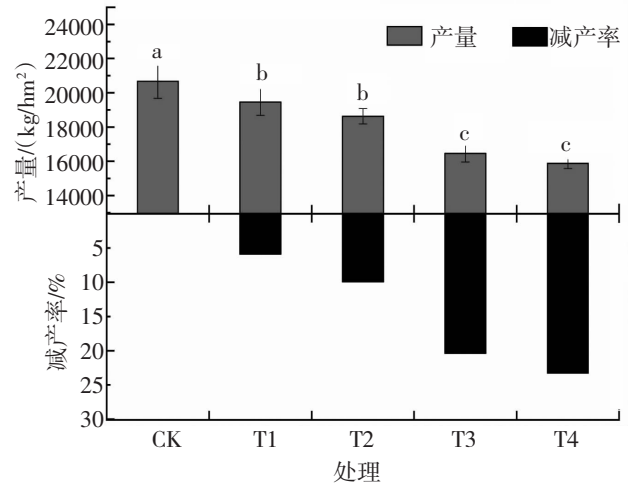


图 1 不同 NaCl 浓度下马铃薯产量及减产率

浓度增大,马铃薯产量呈减小趋势。处理他处理;处理 T1、处理 T2 与 CK 相比,减产率分别为 5.9%和 10.0%;处理 T3、处理 T4 产量显著低于其他处理,分别为 16 468、15 874 kg/hm²,与 CK 相比,减产率分别为 20.0%和 23.0%,可见,NaCl 胁迫会造成马铃薯减产。

2.1.2 品质 如图 2 所示,随着 NaCl 浓度的增大,各品质指标均有不同程度变化。淀粉含量以处理 CK 最高,与处理 T1 无显著

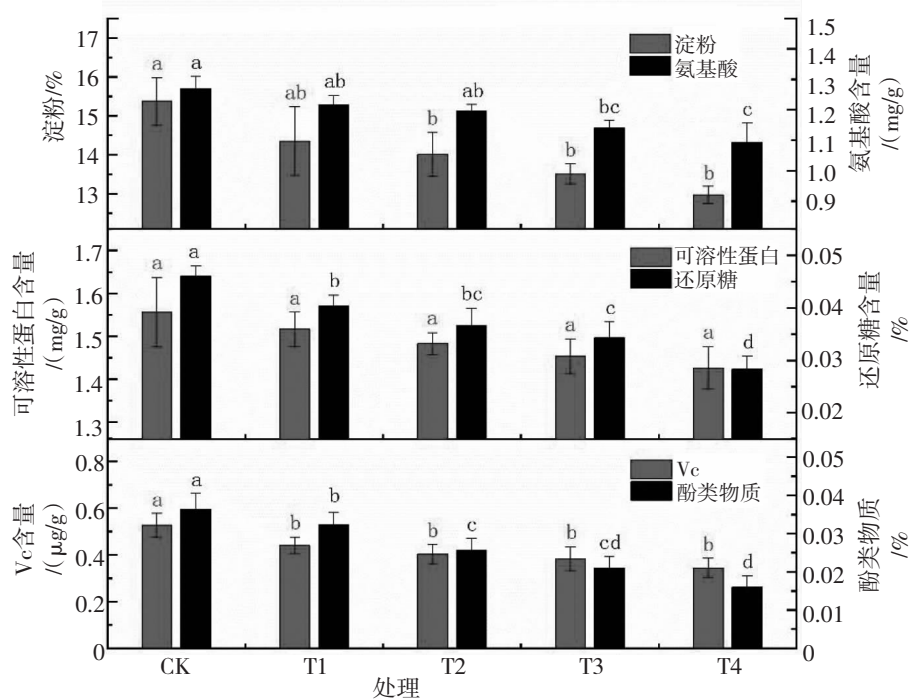


图 2 不同 NaCl 浓度处理的马铃薯品质

差异，显著高于处理 T2、处理 T3、处理 T4。氨基酸含量以处理 CK 最高，与处理 T1、处理 T2 无显著差异，与处理 T3、处理 T4 差异显著，较处理 T3、处理 T4 分别高 10.0%、14.0%。可溶性蛋白含量的总体由大到小表现为 CK、处理 T1、处理 T2、处理 T3、处理 T4，各处理间无显著差异。还原糖含量以 CK 最高，显著高于其余处理；其次为处理 T1，与处理 T2 无显著差异，显著高于处理 T3、处理 T4；处理 T4 显著低于其他处理，比 CK 低 39.0%。Vc 含量以 CK 最高，显著高于其他处理，其他各处理间无显著差异。酚类物质含量以 CK 最高，显著高于其余处理；其次为处理 T1，显著高于处理 T2、处理 T3、处理 T4；处理 T2 与处理 T3 无显著差异，显著高于 T4；处理 T3、处理 T4 间差异不显著。

2.2 NaCl 胁迫对马铃薯抗氧化系统的影响

由图 3 可以看出，丙二醛含量在马铃薯整个生育期内呈持续升高趋势。6 月 20 日，处理 T3、处理 T4 极显著高于其余处理，处理 T2 极显著高于处理 T1 与 CK；7 月 20 日，处理 T4 极显著高于其余处理，处理 T3 极显著高于处理 T1 与 CK；8 月 20 日，各处理间差异与 6 月 20 日相同。SOD 活性在整个生育期呈先升高后降低的趋势，各个生育期差异趋势大致相同，均为处理 T4、处理 T3 极显著高于其余处理，处理 T2 极显著高于处理 T1 与 CK。POD 活性在马铃薯整个生育期趋势呈先升高后降低的趋势。6 月 20 日与 7 月 20 日，各处理间差异均为处理 T3、处理 T4 极显著高于处理 CK、处理 T1、处理 T2。脯氨酸含量在马铃薯整个生育期趋势与 POD 活性的趋势大致相同，均呈先

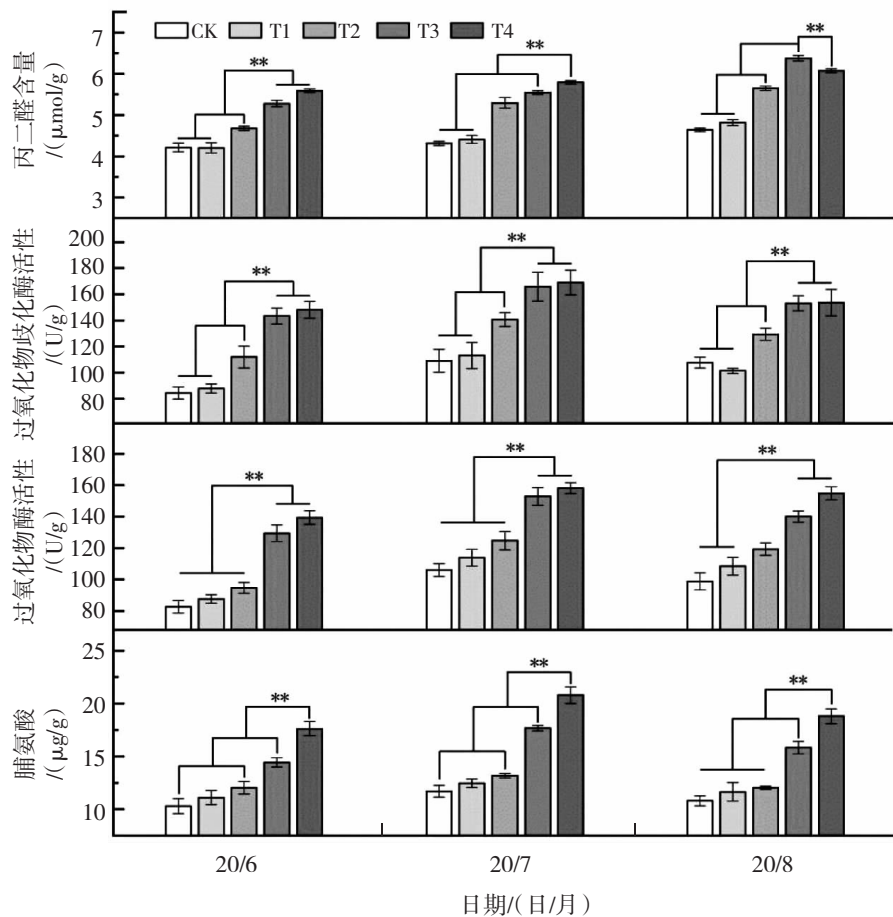


图 3 不同 NaCl 浓度下马铃薯抗氧化酶含量

升高后降低的趋势，且在 3 个时期各处理间显著性差异相同，均为处理 T4 极显著高于其余处理，处理 T3 极显著高于 CK、处理 T1 及处理 T2。

2.3 盐胁迫对马铃薯叶片微观结构及淀粉粒形态的影响

由于只有在浓度差异较大时电镜观察效果明显，故叶片超微结构观察选取了差异较大、有代表性的处理。如图 4，在放大 4 000 倍时可看出，CK 细胞整体结构完整，叶绿体含量最多，叶绿体形态最为规整，呈长椭圆形，且与细胞壁紧密贴合，叶绿体内淀粉粒含量多，淀粉粒大饱满，而处理 T4 叶绿体含量相对减少，且出现叶绿体与细胞壁分离的现象。放大至 20 000 倍时可看出，处理 T2 和处理 T4 叶绿体均发生不同程度变形，不再是规则的椭圆形。放大倍数为 40 000 时，CK 和处理 T2 可明显看到叶绿体的双层膜结构，基粒片层致密紧凑的排列在叶绿体上，而处理 T4 叶绿体被膜与基粒片层相对模糊，且叶绿体严重变形。

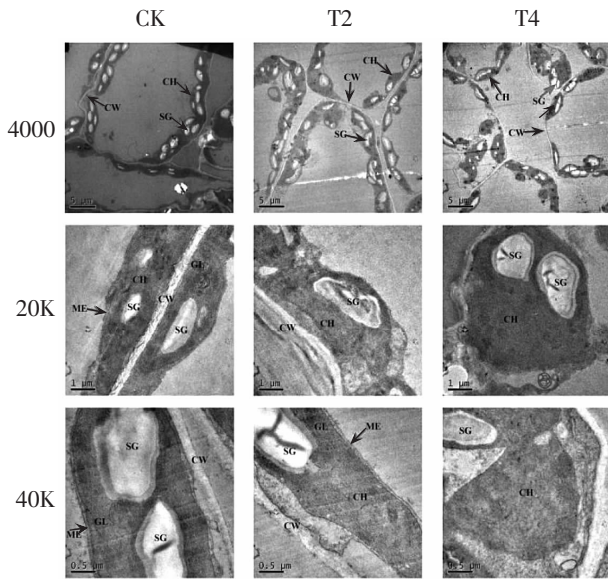


图 4 不同 NaCl 浓度下马铃薯叶片微观结构

由图 5 可看出，各处理间马铃薯淀粉粒大小及形状均有较大差异。放大 40 倍时，可以观察到 CK 的淀粉颗粒直径大于其他各

处理，平均粒径约为 65 μm，而处理 T4 淀粉颗粒较小，平均粒径约为 45 μm；放大 100 倍时，可观察到淀粉颗粒上有同心环状纹理，中心点为马铃薯淀粉粒脐点，淀粉颗粒较大时脐点偏于一端。CK、处理 T1 及处理 T2 的淀粉颗粒形状规整，呈卵圆型，而处理 T3 和处理 T4 淀粉粒形状发生了不同程度的变形。

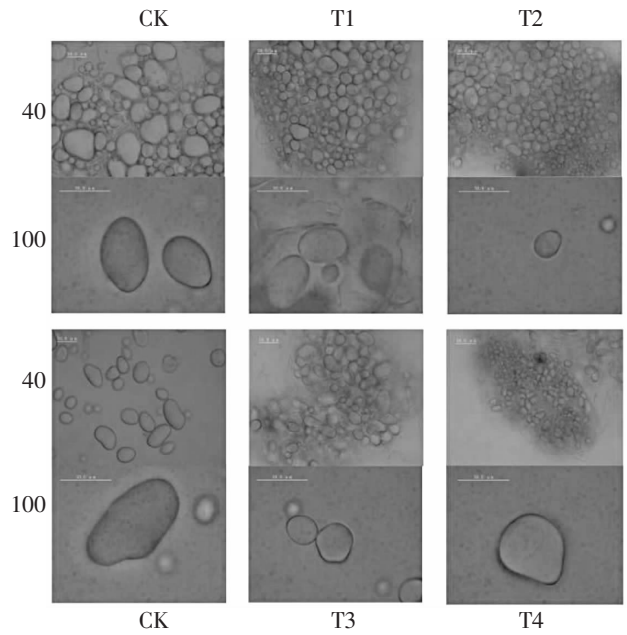


图 5 不同 NaCl 浓度下马铃薯淀粉粒结构

2.4 马铃薯产量与品质及抗氧化系统的相关性分析和聚类分析

利用 Origin 软件对数据进行无量纲化。颜色越深，越接近 +1，说明正相关性越大；颜色越浅，越接近 -1，说明负相关性越大。从图 6 可以看出，产量与氨基酸含量、可溶性蛋白含量、酚类物质含量、淀粉含量呈极显著正相关，与还原糖含量及 Vc 含量呈显著正相关。其中，与氨基酸含量正相关性最大， $r=0.998$ ，按与产量正相关性由大到小依次为可溶性蛋白含量($r=0.982$)、酚类物质含量($r=0.981$)、淀粉含量($r=0.965$)、还原糖含量($r=0.958$)、Vc 含量($r=0.935$)。产量与 POD 活性呈极显著负相关， $r=-0.990$ ，与脯氨酸含量、过氧化物酶(SOD)活性及丙二醛

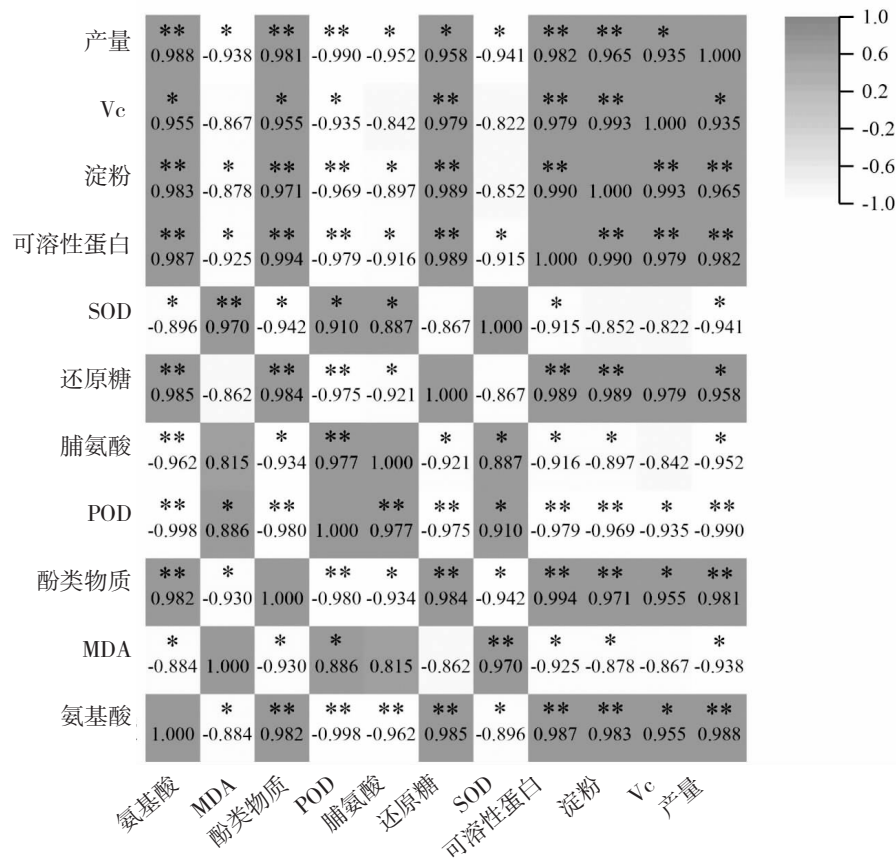


图 6 马铃薯产量与品质及生理生化性状的相关性分析

(MDA)含量呈显著负相关。产量、氨基酸含量、可溶性蛋白含量、酚类物质含量、淀粉含量、还原糖含量及 Vc 含量均与超氧化歧化酶(POD)活性呈负相关。

根据不同指标间的差异，对各处理进行了聚类分析，可将所有处理分为 3 类，分别是处理 T3 和处理 T4、处理 T2 和处理 T1、CK。其中，处理 T3 及处理 T4 与其他处理相对距离较大，表明处理 T3 和处理 T4 的相似性较大，但与其他 3 个处理差异较大。根据各处理间差异，对多指标进行了聚类分析，最多归为 6 类。图 7 中色彩的差异反映了各指标数值间的差异，CK 的产量及各项品质参数均高于其他处理，而处理 T3、处理 T4 的产量及各项品质参数在数值上表现为下降，且处理 T3、处理 T4 的脯氨酸含量、SOD 活性、POD 活性、丙二醛(MDA)含量在数值上均高于其他各处理。

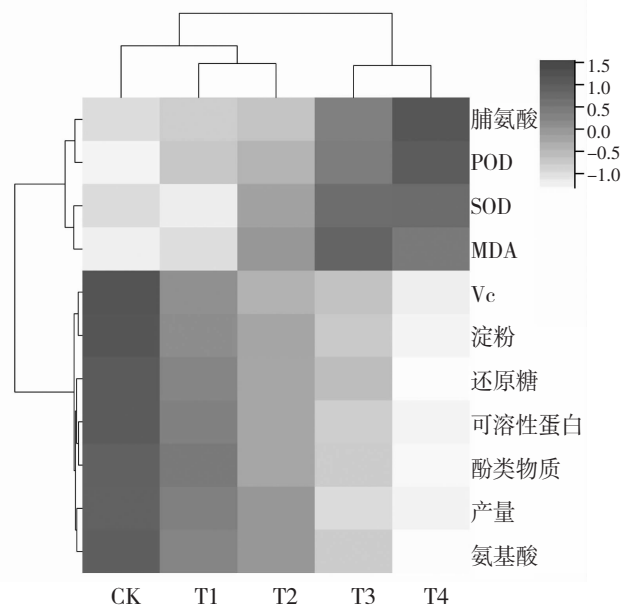


图 7 马铃薯产量与品质及生理生化性状的聚类分析

3 结论与讨论

研究表明，NaCl 处理会显著降低马铃薯薯块产量及品质，叶片的丙二醛(MDA)、

脯氨酸(Pro)、过氧化物酶(SOD)及超氧化歧化酶(POD)含量(活性)显著升高,叶片超微结构和淀粉粒形态遭到破坏。盐逆境下氨基酸含量、可溶性蛋白含量、酚类物质含量及淀粉含量与马铃薯产量呈极显著正相关。

目前,有关马铃薯非生物逆境的研究大多集中于水分上^[16-17],盐逆境的研究大多以马铃薯试管苗为材料^[18],且多集中于植株生长发育前期,难以衡量其产量及品质等经济指标^[19-20]。部分学者采用田间试验的方法利用盐渍化土壤进行马铃薯栽培^[8],研究盐逆境对其产量构成的影响,但因试验地的复杂性,难以精确衡量马铃薯对单盐逆境的响应。本试验在前人的基础上,采用基质栽培,既可以对马铃薯整个生育期进行研究,同时也避免了因土壤复杂性给试验结果带来的误差。

参考文献:

- [1] 谷 茂, 丰秀珍. 马铃薯栽培种的起源与进化[J]. 西北农业学报, 2000(1): 114-117.
- [2] 尚晋伊, 史小峰. 中国马铃薯主食产业化发展现状与前景展望[J]. 科技资讯, 2018, 16(21): 109-111; 115.
- [3] 赵永萍, 潘丽娟. 甘肃省定西市安定区马铃薯产业发展现状及对策[J]. 中国马铃薯, 2019, 33(3): 189-192.
- [4] 王富胜, 潘晓春, 张 明, 等. 定西市马铃薯产业可持续发展途径及建议[J]. 中国马铃薯, 2008(1): 59-60.
- [5] PARIHAR P, SINGH S, SINGH R, et al. Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2015, 22(6): 4056-4075.
- [6] 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.
- [7] 裴怀弟, 张敏敏, 刘新星, 等. NaCl胁迫条件下马铃薯再生苗耐盐性研究[J]. 甘肃农业科技, 2014(11): 39-42.
- [8] 柳永强, 马廷蕊, 王 方, 等. 马铃薯对盐碱土壤的反应和适应性研究[J]. 土壤通报, 2011, 42(6): 1388-1392.
- [9] 李德明, 刘荣清, 罗 磊, 等. 马铃薯新品种‘定薯4号’的选育[J]. 中国马铃薯, 2017, 31(1): 63-64.
- [10] 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, 2013.
- [11] 张丽莉, 石 瑛, 祁 雪, 等. 干旱胁迫对马铃薯叶片超微结构及生理指标的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(2): 75-80.
- [12] 徐 忠, 徐巧姣, 王胜男, 等. 不同品种马铃薯淀粉微观结构和热力学性质比较[J]. 食品工业科技, 2017, 38(6): 132-136.
- [13] 张永成, 田 丰. 马铃薯试验研究方法[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [14] 崔辉梅, 石国亮, 安君和. 马铃薯还原糖含量测定方法的比较研究[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(19): 4821-4823.
- [15] 周胜男, 陆 宁. 马铃薯中多酚类物质提取方法的研究[J]. 食品工业科技, 2009(9): 217-219.
- [16] 康益晨. 不同水分条件对马铃薯产量形成的影响[G]//中国作物学会马铃薯专业委员会. 马铃薯产业与现代可持续农业. 哈尔滨: 哈尔滨地图出版社, 2015: 385-389.
- [17] 张立勤, 车宗贤, 崔云玲, 等. 不同供水条件对加工型马铃薯大西洋产量和水分生产效应的影响[J]. 甘肃农业科技, 2019(11): 68-73.
- [18] 裴怀弟, 陈玉梁, 王红梅, 等. 马铃薯试管苗耐盐性研究[J]. 甘肃农业科技, 2011(6): 10-14.
- [19] 白江平, 王晓斌, 高慧娟, 等. 干旱和盐胁迫对马铃薯试管苗亚细胞结构及生理生化指标的影响[J]. 西北植物学报, 2016, 36(11): 2233-2240.
- [20] 李 欣. 模拟干旱和盐逆境对马铃薯试管苗生长生理及脯氨酸积累相关基因表达的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.

(本文责编: 陈 伟)