

韦良贞,郭晓农,柴薇薇,江田田,袁爽.高海拔繁育对藜麦耐盐性的影响[J/OL].大麦与谷类科学,2020,37(5):8-15. https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2020.05.002.

## 高海拔繁育对藜麦耐盐性的影响

韦良贞<sup>1</sup>,郭晓农<sup>1,2\*</sup>,柴薇薇<sup>1\*</sup>,江田田<sup>1</sup>,袁爽<sup>1</sup>

(1.西北民族大学生命科学与工程学院,甘肃兰州730030;

2.西北民族大学生物医学研究中心生物工程与技术国家民委重点实验室,甘肃兰州730030)

**摘要:**为研究高海拔繁育对藜麦幼苗耐盐性的影响,以高海拔繁育前、后藜麦为材料,用不同浓度NaCl处理藜麦幼苗,测定处理第1、2、3周藜麦幼苗株高、生物量、氮平衡指数、叶绿素含量、类黄酮及花青素含量,探究NaCl对藜麦幼苗生长发育及次生代谢物质的影响,从而对高海拔繁育前、后藜麦耐盐性进行综合性评价。结果表明:1)随着NaCl浓度的升高,繁育前藜麦株高在盐处理第1周呈先升后降趋势,第2、3周呈下降趋势;繁育后藜麦在盐处理第1、2周呈先升后降趋势,第3周呈下降趋势。相同处理时间下,随着NaCl浓度的升高,繁育前、后藜麦的地上部鲜质量及干质量均受到抑制,根鲜质量及干质量先增加后下降。2)同一浓度处理下,氮平衡指数随着处理时间的增加而下降。3)适量盐处理下,随着处理时间的增加,繁育前、后藜麦植株中叶绿素、类黄酮及花青素积累增加。多个指标综合评价表明,高海拔繁育后藜麦的耐盐性较繁育前得到了一定的提高。

**关键词:**藜麦;高海拔繁育;生理特性;耐盐性

**中图分类号:**S56;S519;Q945.78

**文献标志码:**A

**文章编号:**1673-6486-20200760

由于全球气候变化、工业污染加剧及化肥不正确使用等因素的影响,土壤盐渍化问题日益严重。目前全世界盐碱地面积约9.54亿hm<sup>2</sup>,我国现有各类盐碱土地共9913万hm<sup>2</sup>,主要分布在西北地区,其中甘肃省盐渍土壤面积约为141.3万hm<sup>2</sup>。因此,利用和改良盐渍化土壤已经成为西北地区农业生产亟需解决的关键问题。前人研究表明,种植耐盐碱植物是利用和改良盐渍化土壤最直接有效的方式<sup>[1]</sup>。藜麦(*Chenopodium quinoa* Wild)是一种耐盐碱的粮食作物,又被称为藜谷、奎藜,是藜科藜属双子叶植物,原产地主要分布在南美洲安第斯山脉海拔

2800~4200m的玻利维亚、厄瓜多尔和秘鲁等地,距今已有7000多年历史,是古代印第安人的传统食物,被印加民族称为“粮食之母”<sup>[4-5]</sup>。藜麦富含大量高品质蛋白质和多种人体必需氨基酸,被联合国粮农组织(FAO)认定为唯一一种单体植物即可满足人体基本物质需求的完美全营养食品<sup>[6-7]</sup>。

在高海拔盐渍化地区推广种植并获得优质高产藜麦,对藜麦产业化发展具有重要意义。迄今为止,国内外学者对藜麦的耐盐性开展了大量的研究。Gomez-Pando等报道了盐胁迫条件下不同藜麦资源之间的发芽率存在很大差异,盐胁迫对藜麦根干质量影响最大<sup>[8-9]</sup>。Hariadi等研究表明,不同品种的藜麦耐盐性表现出明显差异<sup>[9-11]</sup>。吕亚慈等研究发现,低盐处理可以促进藜麦的生长,而高浓度盐处理则抑制藜麦生长<sup>[12]</sup>。戚维聪等研究表明,供试的123份藜麦种质材料耐盐性存在较大差异,盐胁迫对藜麦的产量影响甚微<sup>[13]</sup>。此外,早在1987年我国西藏地区就开始进行了藜麦的高海拔地区引种栽培试验,并试种成功<sup>[14]</sup>。由于藜麦有耐寒、耐旱、耐盐碱等生物学特性,具有良好的抗逆性,可以应对多变不良的环境,目前在我国甘肃、青海等高海拔地区均有种植<sup>[15]</sup>。韩发等研究表明,随着海拔高度的增加,矮嵩草植株高度明显降低,叶绿素含量和干物

收稿日期:2020-07-26

基金项目:国家自然科学基金(31760242);西北民族大学2019年度中央高校基本科研业务费项目创新团队培育项目(31920190021);西北民族大学2019年本科生科研创新项目(XBMU-BYL19125);西北民族大学“双一流”引导专项生物工程特色学科(1001070204);西北民族大学脱贫攻坚专项经费——临潭县藜麦扩大种植及品种选育(11030403)。

作者简介:韦良贞(1997—),女,主要从事植物逆境研究。E-mail: 2570278917@qq.com。

\*通信作者:郭晓农(1975—),男,副教授,主要从事次生代谢物活性及植物逆境研究。E-mail: gxnwww@126.com。  
柴薇薇(1981—),女,讲师,主要从事植物逆境研究。E-mail: 380756329@qq.com。

质积累减少,类胡萝卜素和类黄酮含量增加<sup>[6]</sup>。郑顺林等研究表明,高海拔地区种植的紫色马铃薯品质和产量较低海拔地区的高<sup>[7]</sup>。氮平衡指数(NBI)是重要的胁迫荧光参数,也是反映作物长势的重要指标。通过测量 NBI 可以快速评估叶片氮素盈亏状况,为农业生产和管理提供精准信息<sup>[8]</sup>。叶绿素及类黄酮化合物在植物生长发育及各种抗逆的生物学过程中发挥重要作用,通过测定其含量可知植物的抗逆性变化。目前对藜麦的研究多集中在其耐盐性、耐旱性等各种生理生化特征以及种子萌发方面,对藜麦经高海拔繁育前后的抗逆性变化研究未见报道。为了有效地提高高海拔盐渍化地区土地的利用率,筛选培育适宜种植的藜麦品种十分重要。本研究以高海拔繁育后藜麦和未经高海拔繁育藜麦为试验材料,对藜麦幼苗进行不同浓度的盐处理,并在不同处理时期测定生理指标,探究其生理特性的差异,为今后藜麦在高海拔盐渍化地区推广种植提供一定的理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验材料

供试材料为高海拔繁育后的藜麦(临潭陇藜4号,简称LD)和未经高海拔繁育的藜麦(甘肃省农业科学院陇藜4号,简称ND)。通过引进甘肃省农业科学院陇藜4号藜麦品种,在平均海拔为2 825 m的临潭县进行种植,收获的临潭陇藜4号藜麦种子与未经高海拔繁育的陇藜4号进行比对。

### 1.2 试验方法

挑选饱满、大小一致且无病虫害的LD和ND藜麦种子,分别用0.5%高锰酸钾溶液浸泡10 min,无菌水冲洗至无色,均匀置于90 mm的培养皿中,每个培养皿50粒,光照培养箱温度(25±1)℃,湿度80%,避光发芽48 h。

待发芽率达到90%时,将发芽一致的种子移入装有灭菌蛭石的穴盘中(21 cm×21 cm),每个穴孔3株。20~25℃,光照12 h/d,1/2 Hoagland 营养液培养。生长2周后进行间苗,保证幼苗生长一致。生长4周后开始进行盐处理,设置对照组(0 mmol/L NaCl,营养液培养),试验组分别用1 L的75、150、300 mmol/L NaCl(以下均称盐溶液)培养藜麦幼苗,

每2 d更换1次盐溶液,进行连续3周的盐处理。

### 1.3 测定指标和方法

生长指标的测定:分别在盐胁迫处理第1、2、3周后,取样,洗净根部蛭石后用滤纸吸干根部及叶面水分,将其分成地上和地下2个部分,分别用直尺和分析天平测定株高和鲜质量,分别测定5次<sup>[19]</sup>。

植株生物量测定:分别将植株根、茎与叶装于纸袋中,于105℃杀青24 h,75℃烘干至恒质量,用直接法分别称量<sup>[20]</sup>。

生理指标的测定:使用Dualox植物氮平衡指数测量仪(DUALEX SCIENTIFIC+TM, Force-A, 法国)测定氮、叶绿素、类黄酮及花青素含量。

### 1.4 数据分析

采用Excel 2010对数据进行处理及绘图,结果以“平均值±标准误”表示,采用SPSS 21.0统计分析软件对数据进行差异显著性检验,多重比较采用SSR法。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度盐处理对藜麦幼苗生长的影响

由表1可知,LD的株高在盐处理第1、2周时随盐浓度升高呈先升后降的趋势,处理第3周则呈下降趋势;ND幼苗株高在处理第1周随着盐浓度的升高呈先升后降的趋势,第2、3周均逐渐下降,处理间变化差异显著( $P < 0.05$ )。在相同处理浓度下,随着处理时间的延长,LD和ND幼苗株高逐渐升高。在盐浓度为300 mmol/L时,第1、2、3周盐处理LD株高分别比ND高8.2%、8.6%、12.0%。

由表2可知,相同盐浓度下,LD和ND幼苗地上部、根的鲜质量和干质量随着处理时间的延长呈逐渐增加的变化趋势。相同时间内随着盐浓度的升高,LD和ND幼苗地上部鲜质量和干质量总体呈降低趋势,根鲜质量和干质量呈先升后降的趋势。在盐浓度为75 mmol/L时,LD在盐处理的第1、2、3周的根鲜质量分别比对照升高144.1%、25.0%、58.1%,根干质量分别升高57.1%、14.3%、8.3%;ND盐处理的第1、2、3周根鲜质量与对照相比分别升高250.0%、41.4%、33.8%,根干质量分别升高60.0%、50.0%、5.9%。

表1 不同浓度盐处理对藜麦幼苗株高的影响

| 指标    | 品种 | 处理/周 | NaCl 浓度/(mmol/L) |                |                |                 |
|-------|----|------|------------------|----------------|----------------|-----------------|
|       |    |      | 0                | 75             | 150            | 300             |
| 株高/cm | LD | 1    | 8.08± 0.24 aD    | 8.54± 0.14 aAB | 7.30± 0.14 bB  | 7.14± 0.08 bABC |
|       |    | 2    | 8.42± 0.12 aC    | 8.58± 0.28 aAB | 7.76± 0.07 bAB | 7.32± 0.21 bAB  |
|       |    | 3    | 11.06± 0.42 aA   | 8.94± 0.22 bA  | 8.00± 0.16 cA  | 7.68± 0.09 cA   |
|       | ND | 1    | 7.44± 0.34 aCD   | 7.76± 0.16 aC  | 7.80± 0.14 aAB | 6.60± 0.26 bC   |
|       |    | 2    | 10.10± 0.26 aB   | 8.06± 0.28 bBC | 8.04± 0.35 bA  | 6.74± 0.30 cBC  |
|       |    | 3    | 11.66± 0.14 aA   | 9.04± 0.18 bA  | 8.16± 0.18 cA  | 6.86± 0.19 dBC  |

注:同行不同小写字母表示不同盐浓度处理间在 0.05 水平差异显著;同列不同大写字母表示不同来源品种在 0.05 水平差异显著。下表同。

表2 不同浓度盐处理对藜麦幼苗生物量的影响

| 指标           | 品种 | 处理/周 | NaCl 浓度/(mmol/L)  |                  |                  |                  |
|--------------|----|------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
|              |    |      | 0                 | 75               | 150              | 300              |
| 地上部<br>鲜质量/g | LD | 1    | 0.394± 0.014 aC   | 0.374± 0.033 aC  | 0.263± 0.013 bC  | 0.237± 0.015 bC  |
|              |    | 2    | 0.645± 0.022 aB   | 0.595± 0.016 aA  | 0.377± 0.019 bB  | 0.261± 0.008 cBC |
|              |    | 3    | 0.843± 0.072 aA   | 0.639± 0.024 bA  | 0.384± 0.020 cB  | 0.270± 0.012 cBC |
|              | ND | 1    | 0.388± 0.007 aC   | 0.327± 0.025 bC  | 0.309± 0.022 bcC | 0.257± 0.016 cBC |
|              |    | 2    | 0.606± 0.042 aB   | 0.455± 0.015 bB  | 0.430± 0.030 bAB | 0.308± 0.028 cAB |
|              |    | 3    | 0.893± 0.029 aA   | 0.564± 0.032 bA  | 0.473± 0.027 cA  | 0.333± 0.028 dA  |
| 地上部<br>干质量/g | LD | 1    | 0.040± 0.001 aC   | 0.040± 0.004 aC  | 0.033± 0.002 abC | 0.030± 0.001 bC  |
|              |    | 2    | 0.071± 0.003 aB   | 0.075± 0.006 aA  | 0.049± 0.002 bB  | 0.034± 0.003 cC  |
|              |    | 3    | 0.093± 0.009 aA   | 0.084± 0.003 aA  | 0.053± 0.004 bB  | 0.037± 0.004 bBC |
|              | ND | 1    | 0.038± 0.003 aC   | 0.033± 0.002 abC | 0.034± 0.003 abC | 0.030± 0.002 bC  |
|              |    | 2    | 0.059± 0.004 aB   | 0.054± 0.002 abB | 0.051± 0.002 abB | 0.045± 0.004 bAB |
|              |    | 3    | 0.102± 0.009 aA   | 0.079± 0.003 bA  | 0.067± 0.005 bA  | 0.047± 0.003 cA  |
| 根<br>鲜质量/g   | LD | 1    | 0.034± 0.008 bCD  | 0.083± 0.025 aAB | 0.032± 0.008 bB  | 0.024± 0.001 bA  |
|              |    | 2    | 0.048± 0.010 abBC | 0.060± 0.005 aB  | 0.040± 0.003 bcB | 0.025± 0.001 cA  |
|              |    | 3    | 0.086± 0.006 bA   | 0.136± 0.027 aA  | 0.045± 0.008 bcB | 0.028± 0.002 cA  |
|              | ND | 1    | 0.016± 0.005 bD   | 0.056± 0.012 aB  | 0.036± 0.008 abB | 0.023± 0.003 bA  |
|              |    | 2    | 0.058± 0.003 bB   | 0.082± 0.004 aAB | 0.054± 0.001 bB  | 0.024± 0.002 cA  |
|              |    | 3    | 0.068± 0.010 aAB  | 0.091± 0.014 aAB | 0.086± 0.009 aA  | 0.025± 0.001 bA  |
| 根<br>干质量/g   | LD | 1    | 0.007± 0.001 bD   | 0.011± 0.001 aCD | 0.006± 0.001 bC  | 0.006± 0.001 bB  |
|              |    | 2    | 0.014± 0.001 aBC  | 0.016± 0.001 aB  | 0.010± 0.001 bBC | 0.007± 0.001 bB  |
|              |    | 3    | 0.024± 0.004 aA   | 0.026± 0.001 aA  | 0.012± 0.002 bAB | 0.008± 0.001 bAB |
|              | ND | 1    | 0.005± 0.001 bD   | 0.008± 0.001 aD  | 0.007± 0.001 abC | 0.006± 0.001 abB |
|              |    | 2    | 0.010± 0.001 bCD  | 0.015± 0.001 aBC | 0.014± 0.001 aA  | 0.007± 0.001 bB  |
|              |    | 3    | 0.017± 0.002 aB   | 0.018± 0.002 aB  | 0.016± 0.002 aA  | 0.010± 0.001 bA  |

由表3可知,在盐处理1周后,LD氮平衡指数随着盐浓度的升高呈先降后升的趋势,盐处理2周,呈先上升后下降再上升的趋势,第3周则呈先升后降的变化趋势。ND氮平衡指数在处理第1周

时随着盐浓度的升高呈逐渐升高的趋势,第2周时呈先下降后上升再下降的变化趋势,第3周时呈先下降后上升趋势。在盐浓度为0和300mmol/L时,LD氮平衡指数随着处理时间的增加呈降低的趋

势；当盐浓度为 75 和 150 mmol/L 时呈先升后降的 随着处理时间的增加呈降低趋势。  
变化趋势。在同一盐浓度处理下,ND 氮平衡指数随

表 3 不同浓度盐处理对氮平衡指数的影响

| 指标    | 品种 | 处理 / 周 | NaCl 浓度 / (mmol/L) |                 |                  |                |
|-------|----|--------|--------------------|-----------------|------------------|----------------|
|       |    |        | 0                  | 75              | 150              | 300            |
| 氮平衡指数 | LD | 1      | 46.00± 4.64 bA     | 42.78± 3.32 bB  | 40.26± 1.59 bAB  | 67.44± 3.07 aA |
|       |    | 2      | 33.70± 1.58 cC     | 43.12± 1.26 bB  | 42.00± 1.32 bB   | 49.62± 0.56 aB |
|       |    | 3      | 18.22± 0.69 cD     | 36.42± 2.48 aB  | 33.82± 2.48 abCD | 29.22± 1.98 bD |
|       | ND | 1      | 43.70± 2.34 cAB    | 50.74± 2.55 bcA | 52.56± 2.48 bA   | 63.22± 2.59 aA |
|       |    | 2      | 39.72± 1.13 abABC  | 36.82± 1.46 bB  | 45.00± 3.86 aB   | 44.22± 1.80 aB |
|       |    | 3      | 36.96± 2.09 aBC    | 18.64± 0.75 cC  | 29.56± 1.07 bD   | 36.36± 0.91 aC |

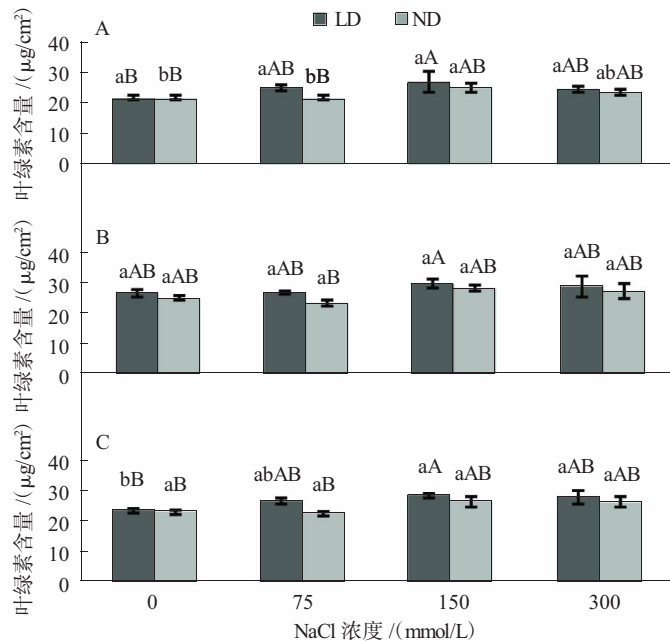
注: NBI(氮平衡指数)是 Chl(叶绿素)和 Flav(类黄酮)的比值, Chl 和 Flav 的单位均为 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 。

以上结果说明,虽然盐浓度的升高抑制了藜麦幼苗地上部生长及生物量的累积,但一定浓度的盐处理可以促进根的生长及生物量的积累。不同浓度盐处理下,LD 和 ND 株高、地上部和根生物量及氮平衡指数变化总体上差异显著( $P < 0.05$ )。在最大盐处理浓度(300 mmol/L NaCl)下,LD 的株高比 ND 略高,LD 的氮平衡指数也比 ND 高;而在 75 mmol/L 盐处理下,LD 地上部干鲜质量及根干鲜质量均比 ND 的高。由此可以说明,LD 在盐处理下具有更好的生长表现。

2.2 不同浓度盐处理对藜麦幼苗叶片叶绿素的影响

由图 1- A 可知, LD 幼苗叶片叶绿素含量随着

盐浓度的增加呈先升高后下降的变化趋势,ND 的则是呈先下降后上升再下降的变化趋势;由图 1- B 可知,LD 和 ND 的叶绿素含量随着盐浓度的升高呈先降后升再降的趋势;从图 1- C 可知,随着盐浓度的升高,LD 呈先升高后下降的变化趋势,ND 呈先下降后上升再下降的趋势。从图 1 中可以看出,LD 叶绿素含量均高于 ND,但各处理间差异不显著。在处理的第 1、2、3 周,LD 和 ND 幼苗叶片叶绿素含量在盐浓度 150 mmol/L 时达到最大值,且 LD 幼苗叶片叶绿素含量均比 ND 的高,分别高 8.1%、5.6%、7.1%。



不同小写字母表示不同浓度处理间差异达显著水平 ( $P < 0.05$ ); A、B、C 图中的不同大写字母表示 LD 和 ND 间差异达显著水平 ( $P < 0.05$ )。A: 盐处理第 1 周; B: 盐处理第 2 周; C: 盐处理第 3 周。下图同。

图 1 不同浓度盐胁迫下藜麦幼苗叶片叶绿素含量的变化

### 2.3 不同浓度盐处理对藜麦幼苗叶片类黄酮含量的影响

如图 2- A 所示,随着盐处理浓度的升高,LD 幼苗叶片类黄酮含量呈先升高后下降的趋势,ND 呈先降后升再降的趋势。如图 2- B 所示,随着盐浓度的增加,LD 类黄酮含量呈先降后升再降的趋势,ND 则呈先下降后上升的变化趋势。由图 2- C 可知,随

着盐浓度的升高,LD 类黄酮含量呈先下降后上升的趋势,ND 则呈先上升后下降的趋势。从图 2 中可以看出,LD 和 ND 处理间叶片类黄酮含量变化差异显著( $P < 0.05$ )。在 NaCl 处理的第 1 周,不同盐浓度下 LD 类黄酮含量与 ND 相比分别升高 27.7%、71.8%、41.5%、22.2%。

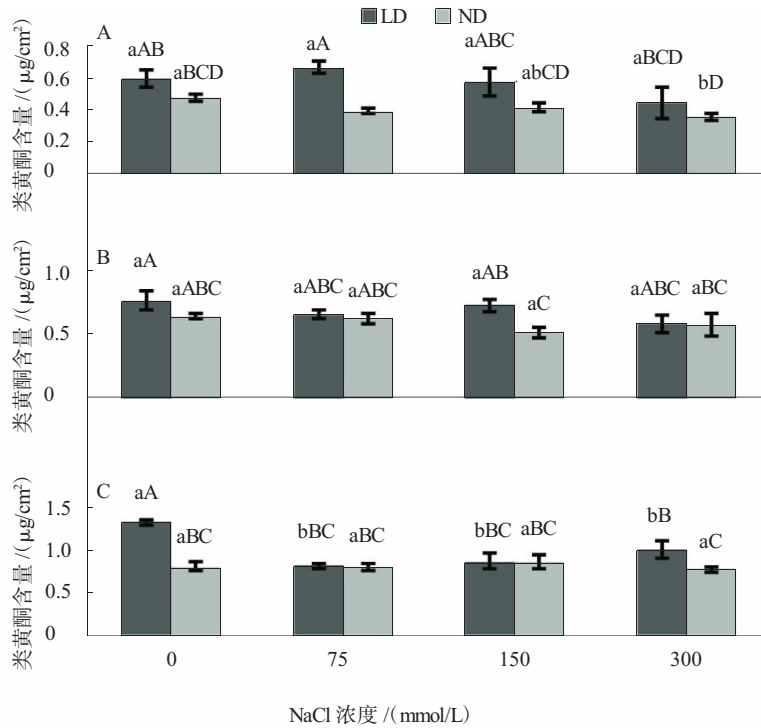


图 2 不同浓度盐胁迫下藜麦幼苗叶片类黄酮含量的变化

### 2.4 不同浓度盐处理对藜麦幼苗叶片花青素含量的影响

如图 3 所示,盐处理第 1 周 LD 花青素含量随着盐浓度的升高呈先下降后上升再下降的趋势,处理间差异不显著;第 2 周呈先下降后上升的趋势,300 mmol/L 盐浓度处理下与对照差异显著;第 3 周呈先下降后上升的趋势,但在 150、300 mmol/L 盐浓度下 LD 叶片花青素含量与对照(CK)有显著差异( $P < 0.05$ )。盐处理第 1 周 ND 花青素含量随着盐浓度的升高呈先下降后上升再下降的变化趋势;第 2 周呈先升后降再升的趋势;第 3 周呈下降的趋势。但 LD 花青素含量始终高于 ND,其中在高盐处理下(300 mmol/L)LD 和 ND 处理间有显著差异,不同时间盐处理下 LD 花青素含量分别较 ND 高 70%、11.8%、95.5%。

## 3 讨论

### 3.1 盐处理与藜麦幼苗生长

盐胁迫对植物生长发育最显著的效应就是抑制植物生长、降低植物的生物量<sup>[21-22]</sup>。韩冰等的研究表明,盐胁迫下黄瓜幼苗株高下降,生物量积累受到显著抑制<sup>[23]</sup>。朱义等报道,随着盐浓度增加,高羊茅(*Festuca arundinacea*)的生长量降低,株高下降,同时根冠比增大,表明盐胁迫对地上部分的影响大于根部<sup>[24]</sup>。本试验结果发现,盐胁迫下,LD 和 ND 幼苗地上部的生长及生物量的积累均受到显著抑制;对根系的影响表现为盐浓度 75 mmol/L 促进根系生长及其生物量的积累,当盐浓度超过 75 mmol/L 时,同时抑制 LD 和 ND 根系生长及其生物量的积累。在同一处理浓度下,ND 叶片的氮平衡指数随着处

理时间的增加而下降;LD叶片氮平衡指数在75和150 mmol/L时是先升高后降低,在0和300 mmol/L时则是下降趋势。在盐浓度为300 mmol/L时,LD株

高及氮平衡指数均高于ND,且ND对盐浓度反应的敏感性高于LD,说明经高海拔繁育后的藜麦对盐胁迫的适应性有一定提高。

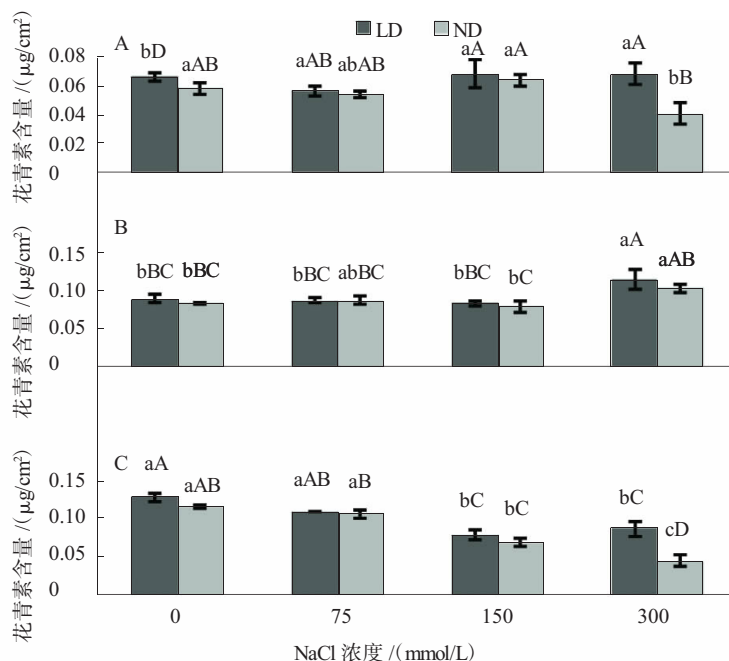


图3 盐胁迫下藜麦幼苗叶片花青素含量的变化

叶绿素是植物进行光合作用的主要光合色素,盐胁迫下植物会积累光合色素,维持植株正常的光合作用,增强植株对盐胁迫的耐受能力<sup>[25]</sup>。随着海拔的升高,植物叶片叶绿素含量会相应减少<sup>[26]</sup>。但本试验结果表明,LD叶片叶绿素比ND高,这可能是藜麦的一种特殊的适应环境的策略,因为藜麦原产地为南美洲高海拔地区,而陇藜4号为低海拔选育品种,随着海拔升高,藜麦光合作用增强,这与王嶂等的研究结果<sup>[27]</sup>一致。盐浓度为300 mmol/L时,LD和ND叶绿素含量仍较对照的高,表明此时的盐浓度仍对藜麦叶片叶绿素的积累有促进作用,这说明适量浓度盐促进LD和ND幼苗叶片叶绿素的积累,有助于提高植株对盐胁迫的适应能力,这与文献报道结果<sup>[28]</sup>一致。

### 3.2 盐处理与藜麦幼苗叶片物质代谢

类黄酮是植物体内一类重要的次生代谢物质,广泛参与调控植物生长发育和抗逆的各种生物学过程<sup>[29]</sup>。宋晓敏等的研究表明,盐处理促进了类黄酮物质的积累,提高了抗氧化能力,从而提高秋茄的抗盐性,维持秋茄在盐胁迫下的正常生长<sup>[30]</sup>。汪海峰等的研究表明,高海拔区独特的生态条件可以促进银杏叶黄酮苷含量的积累<sup>[31]</sup>。本试验结果表明,长期

盐处理可以促进藜麦类黄酮的积累。而高海拔繁育的LD类黄酮含量始终比ND高,是因为藜麦在高海拔独特的气候条件下可以通过积累较高的类黄酮含量来适应自然环境的胁迫<sup>[31]</sup>。

花青素是一种广泛存在于植物花朵和其他部位的水溶性色素,是植物多酚类黄酮化合物,是一种自由基清除剂,具有较强的抗氧化能力。光照直接影响花青素的合成,花青素含量随着光照的增强而增加<sup>[32]</sup>。沈学善等的研究表明,高海拔繁育的马铃薯花青素含量显著高于低海拔繁育的马铃薯<sup>[33]</sup>。郑顺林等的研究表明,紫色马铃薯花青素含量随着海拔的升高呈不断增加的趋势<sup>[34]</sup>。本试验结果表明,不同时间盐处理下LD花青素含量显著高于ND。LD和ND花青素含量在0~150 mmol/L盐浓度下随着处理时间的延长而逐渐升高,300 mmol/L盐处理下呈先升高后降低的趋势。说明高海拔繁育可以显著提高藜麦植株花青素含量。此外,一定浓度的盐处理也可以促进藜麦花青素的合成,增强其抗氧化能力,进而提高对盐的耐受性。一旦长期或过度的盐胁迫超出了植物的耐受范围,就会使得花青素的合成代谢过程受到阻碍<sup>[7]</sup>。

## 4 结论

经过高海拔繁育后的藜麦在盐胁迫处理下可以通过积累叶绿素、类黄酮和花青素的含量来提高藜麦的光合作用和抗氧化能力,从而使其适应环境变化,促进藜麦的生长发育。因此,初步认为藜麦经高海拔繁育后耐盐性得到了一定的提高,其具体机制有待进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 杨宏伟,刘文瑜,沈宝云,等. NaCl 胁迫对藜麦种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 草业学报,2017,26(8):146- 153.
- [2] 刘文瑜,杨发荣,黄 杰,等. NaCl 胁迫对藜麦幼苗生长和抗氧化酶活性的影响[J]. 西北植物学报,2017,37(9):1797- 1804.
- [3] 龙卫华. 油菜发芽期耐盐评价、筛选与盐胁迫下根转录组分析[D]. 北京:中国农业科学院,2015.
- [4] 魏玉明,黄 杰,顾 娴,等. 甘肃省藜麦产业现状及发展思路[J]. 作物杂志,2016(1):12- 15.
- [5] 杨发荣,刘文瑜,黄 杰,等. 不同藜麦品种对盐胁迫的生理响应及耐盐性评价[J]. 草业学报,2017,26(12):77- 88.
- [6] KARYOTIS T,ILIADIS C,NOULAS C,et al. Preliminary research on seed production and nutrient content for certain quinoa varieties in a saline- sodic soil[J]. Journal of Agronomy and Crop Science,2003,189(6):402- 408.
- [7] ABUGOCH L E,ROMERO N,TAPIA C A,et al. Study of some physicochemical and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) protein isolates[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2008,56(12):4745- 4750.
- [8] GÓMEZ- PANDO R L,ÁLVAREZ- CASTRO R,DE LA BARRA E L A. Short communication:effect of salt stress on *Peruvian* germplasm of *Chenopodium quinoa* Willd.:A promising crop [J]. Journal of Agronomy and Crop Science,2010,196 (5): 391- 396.
- [9] 黎雅楠. 藜麦在盐碱地改良中的应用前景[J]. 绿色科技, 2018(21):104- 105,108.
- [10] HARIADI Y,MARANDON K, TIAN Y,et al. Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)plants grown at various salinity levels[J]. Journal of Experimental Botany, 2011,62(1):185- 193.
- [11] RUIZ- CARRASCO K,ANTOGNONI F,COULIBALY A K,et al. Variation in salinity tolerance of four lowland genotypes of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as assessed by growth, physiological traits,and sodium transporter gene expression[J]. Plant Physiology and Biochemistry,2011,49(11):1333- 1341.
- [12] 吕亚慈,郭晓丽,孙佳玮,等. 不同藜麦品种萌发期耐盐性研究[J]. 种子,2017,36(5):88- 91.
- [13] 戚维聪,张体付,陈 曦,等. 藜麦的耐盐性评价及在滨海盐土的试种表现[J]. 核农学报,2017,31(1):145- 155.
- [14] 王晨静,赵习武,陆国权,等. 藜麦特性及开发利用研究进展[J]. 浙江农林大学学报,2014,31(2):296- 301.
- [15] 顾 娴,黄 杰,魏玉明,等. 藜麦研究进展及发展前景[J]. 中国农学通报,2015,31(30):201- 204.
- [16] 韩 发,贲桂英,师生波. 青藏高原不同海拔矮嵩草抗逆性的比较研究[J]. 生态学报,1998,18(6):654- 659.
- [17] 郑顺林,张 仪,李世林,等. 不同海拔高度对紫色马铃薯产量、品质及花青素含量的影响[J]. 西南农业学报,2013, 26(4):1420- 1423.
- [18] 李长春,陈 鹏,陆国政,等. 基于无人机高清数码影像和高光谱遥感数据反演大豆典型生育期氮平衡指数[J]. 应用生态学报,2018,29(4):1225- 1232.
- [19] 刘文瑜,杨发荣,黄 杰,等. 干旱胁迫对藜麦幼苗生长和叶绿素荧光特性的影响[J]. 干旱地区农业研究,2019,37 (4):171- 177.
- [20] 庞春花,张紫薇,张永清. 水磷耦合对藜麦根系生长、生物量积累及产量的影响[J]. 中国农业科学,2017,50(21):4107- 4117.
- [21] 王宝山. 逆境植物生物学[M]. 北京:高等教育出版社,2010: 209- 215.
- [22] 谢英赞,何 平,王朝英,等. 外源  $Ca^{2+}$ 、SA、NO 对盐胁迫下决明幼苗生理特性的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版),2013,35(3):36- 43.
- [23] 韩 冰,徐 刚,郭世荣,等. 不同浓度盐胁迫对黄瓜幼苗生长和生理代谢的影响[J]. 江苏农业学报,2014,30(1):172- 177.
- [24] 朱 义,谭贵娥,何池全,等. 盐胁迫对高羊茅(*Festuca arundinacea*)幼苗生长和离子分布的影响[J]. 生态学报, 2007,27(12):5447- 5454.
- [25] 丁 娟,黄 镇,张学贤,等. 甘蓝型油菜苗期生长阶段对 NaCl 胁迫的生理响应[J]. 西北植物学报,2014,34(11):2270- 2276.
- [26] 卢存福,贲桂英. 高海拔地区植物的光合特性[J]. 植物学通报,1995,12(2):38- 42,56.
- [27] 王 嶂,周 炎,聂 飞. 贵州 4 个蓝莓品种的海拔适应性研究[J]. 亚热带植物科学,2018,47(4):333- 338.
- [28] 李淑梅,王付娟,董丽平,等. 盐分胁迫对黑麦草幼苗生理生化特性的影响[J]. 种子,2015,34(5):95- 97.
- [29] 李 爽,孙亮亮,白丽丽,等. 类黄酮参与调控中亚滨藜幼苗对盐胁迫的耐受性[J]. 中国生态农业学报,2017,25(9): 1345- 1350.
- [30] 宋晓敏,吕晓杰,邱智敏,等. 红树植物秋茄类黄酮代谢及其抗氧化活性对高盐胁迫的响应[J]. 西北植物学报,2016, 36(12):2461- 2468.
- [31] 汪海峰,鞠兴荣,何广斌,等. 不同海拔高度和生长季节对银杏叶中黄酮苷含量的影响[J]. 林产化学与工业,2002,22

- (4):47- 50.
- [32] 姜卫兵,徐莉莉,翁忙玲,等. 环境因子及外源化学物质对植物花色苷的影响[J]. 生态环境学报,2009,18(4):1546-1552.
- [33] 沈学善,王平,吴翠平,等. 不同光照地区对马铃薯花青素含量及品质的影响[J]. 西南农业学报,2017,30(12):2667-2672.
- [34] 林义成,傅庆林,郭彬,等. 盐胁迫对红叶石楠花青素含量及抗氧化系统的影响[J]. 浙江农业学报,2018,30(6):970-977.

## Effects of High Altitude Breeding on the Salt Tolerance of Quinoa

WEI Liang-zhen<sup>1</sup>, GUO Xiao-nong<sup>1,2</sup>, CHAI Wei-wei<sup>1</sup>, JIANG Tian-tian<sup>1</sup>, YUAN Shuang<sup>1</sup>

(1. College of Life Science and Engineering, Northwest National University, Lanzhou 730030, China;

2. Biomedical Research Center, Northwest National University, Lanzhou 730030, China)

**Abstract:** The objective of this study was to determine the effects of high altitude breeding on the salt tolerance of quinoa seedlings. The experimental materials consisted of quinoa seeds bred at high altitude and those not bred at high altitude (serving as the control), which were treated with different concentrations of NaCl. The effects of NaCl on the growth and development of seedlings and secondary metabolites were assessed by measuring the plant height, biomass, nitrogen balance index, chlorophyll content, flavonoids content, and anthocyanins content of quinoa seedlings in the first, second and third weeks after NaCl treatment, based on which the effect of high altitude breeding on the salt tolerance of quinoa was assessed. Results were as follows. First, with increasing NaCl concentration, the plant height of quinoa bred at high altitude first increased and then decreased in the first and second weeks of salt treatment while showing a downward trend in the third week, while the plant height of the control rose first and then declined in the first week of salt treatment, and kept declining in the second and third weeks. With the same treatment time, the increase of NaCl concentration led to reductions in fresh and dry weights of above-ground parts of both quinoa bred at high altitude and the control, and the fresh and dry weights of their roots first increased and then decreased. Second, under the same NaCl concentration treatment, the nitrogen balance index dropped as the treatment time increased. Third, at appropriate NaCl concentrations, the contents of chlorophyll, flavonoids, and anthocyanins increased with time in both quinoa bred at high altitude and the control; meanwhile, and these parameters were significantly higher in quinoa bred at high altitude than in the control. Based on the comprehensive evaluation of several parameters, high altitude breeding was found to improve the salt tolerance of quinoa to a certain extent, while the underlying mechanism needs to be clarified in further studies.

**Key Words:** Quinoa; High altitude breeding; Physiological characteristics; Salt tolerance.

### 本刊加入有关数据库的特别声明

为了适应我国期刊信息化建设的需要和扩大作者学术交流渠道,实现期刊编辑、出版工作的网络化与数字化,提高作者所发表论文的被引频次与影响力,本刊已加入《中国学术期刊(光盘)》、“中国期刊网”“万方数据—数字化期刊群”、重庆维普“中文期刊数据库”、超星期刊“域出版”平台和国家科技学术期刊开放平台。作者无需另外支付网络编审费。作者著作权使用费与本刊稿酬由本刊编辑部一次性给付作者。如有作者不同意将文章编入上述数据库,请在来稿时声明,本刊将作适当处理。所有刊载文献以各种形式转载时请注明来源于本刊。

《大麦与谷类科学》杂志编辑部