

NaCl胁迫对西藏大白菜幼苗光合生理特性的影响

王文海

(西藏自治区农牧科学院蔬菜研究所 西藏 拉萨 850032)

摘要:采用土壤控水法设置4个NaCl处理:对照(CK, 0 mmol·L⁻¹)、轻度胁迫(GR, 45 mmol·L⁻¹)、中度胁迫(MR, 135 mmol·L⁻¹)、重度胁迫(SR, 240 mmol·L⁻¹),研究不同耐盐性西藏大白菜品种(系)幼苗叶片光合生理特性对NaCl胁迫的响应。结果显示:NaCl胁迫下,西藏大白菜叶片相对含水量(RWC)及总含水量呈下降趋势;抗氧化酶活性(SOD、POD和CAT)均先增加后下降;变化幅度与耐盐性强弱相关。NaCl胁迫抑制了大白菜叶片的光合作用,净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)呈降低趋势,胞间二氧化碳浓度(C_i)呈先增后减趋势,说明西藏大白菜在NaCl轻度、中度胁迫下叶片光合作用下降是由于气孔限制,重度胁迫下为非气孔限制;叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素含量在重度胁迫时变化较大,而叶绿素a/叶绿素b变化不规律。相关性分析显示,P_n与SOD、POD活性呈显著/极显著正相关,G_s、T_r与RWC均呈极显著正相关($p \leq 0.01$)。总之,NaCl胁迫对西藏大白菜的影响主要是叶片含水量、SOD、POD和CAT活性均下降,同时NaCl胁迫限制了光合作用,导致植物光合作用能力降低,正常生理生化受到影响,作物生长延缓甚至死亡。

关键词:NaCl胁迫;大白菜;生理特性;光合气孔参数;西藏

中图分类号:S634.1

文献标志码:A

Effects of NaCl Stress on Photosynthesis and Physiological Characteristics of Cabbage (*Brassica rapa subsp. pekinensis*) Seedlings in Tibet

WANG Wenhai

(Institute of Vegetable Research, Tibet Academy of Agriculture and Animal Husbandry Sciences, Tibet Lhasa 850032, China)

Abstract: Soil control water method was adopted to set up 4 kinds of NaCl treatment: Control (CK, 0 mmol·L⁻¹), gentle stress (GR, 45 mmol·L⁻¹), moderate stress (MR, 135 mmol·L⁻¹), severe stress (SR, 240 mmol·L⁻¹). The photosynthetic physiological characteristics of seedling leaves of different salt-tolerant varieties (lines) of Tibetan Chinese cabbage were studied in response to NaCl stress. The results showed that the relative water content (RWC) and total water content of leaves of Tibetan Chinese cabbage decreased under NaCl stress. The activity of antioxidant enzymes (SOD, POD and CAT) increased first and then decreased. The range of variation was related to the strength of salt tolerance. NaCl stress inhibited leaf photosynthesis, and the net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s) and transpiration rate (Tr) decreased, while the intercellular carbon dioxide concentration (C_i) increased first and then decreased, indicating that leaf photosynthesis decreased under mild and moderate NaCl stress due to stomatal limitation, while under severe NaCl stress due to non-stomatal limitation. The contents of chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll changed greatly under severe stress. And chlorophyll a/chlorophyll b changed irregularly. Correlation analysis showed that P_n was significantly/extremely significantly positively correlated with SOD and POD activities, and G_s, Tr were significantly positively correlated with RWC ($p \leq 0.01$). In conclusion, the effects of NaCl stress on Tibetan Chinese cabbage mainly include the decrease of leaf water content, SOD, POD and CAT activities; meanwhile, NaCl stress restricted photosynthesis, resulting in the decrease of plant photosynthesis ability, affecting normal physiology and biochemistry, resulting in crop growth delay or even death.

Key Words: NaCl stress; cabbage; photosynthesis; physiological characteristics; Tibet

土壤盐渍土导致理化性质不良,对植物生长发育产生抑制作用,甚至死亡^[1]。土壤盐渍化是现代

农业生产和发展的重要制约因素,严重制约农业经济的可持续发展^[2]。盐碱土壤不仅降低植物种子发芽率,也会造成植物体渗透压升高、生理干旱,同时植物体内积累太多的Na⁺、Cl⁻等离子会产生离子毒害等负面效应,进而使得植物生长受到抑制,发育迟缓^[3-5]。然而,耐盐性强植物不仅能适应盐渍化土壤,同时通过植物体的离子富集作用促进土壤

收稿日期:2024-01-22

基金项目:西藏自治区科技计划项目(XZ202201ZY0006N);四川省区域创新合作项目(2020YFQ0043)。

作者简介:王文海(1995-),男,硕士,研究实习员,主要研究方向为蔬菜育种及栽培,E-mail:55859757@qq.com。

修复能力^[6]。因此,在实际生产及育种工作中筛选耐盐品种或资源、选育耐盐品种(系)对盐渍土壤的利用和治理具有重要意义。

刘敏轩等^[7]研究发现随着盐浓度增加,黍稷品种(系)种子发芽率、复萌率及苗期的存活率均呈下降趋势,然而苗高、根长、苗鲜质量及根鲜质量随着盐浓度的增加呈现出先升高后降低的趋势,耐盐材料的游离脯氨酸含量随着盐胁迫浓度的增加而增加,其增加幅度要显著大于耐盐性较差品种(系);高NaCl浓度中冰菜生长受到抑制、产量下降,适宜的NaCl浓度可以保证冰菜的产量和品质,促进优质冰菜的生产^[8]。采用隶属函数法对番茄生长指标进行筛选分析,对番茄砧木耐盐性进行了分级,采用番茄砧木的种子发芽期根长和幼苗期根鲜质量为指标确定了为 $3\sim 6\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的NaCl浓度是适宜冰菜生长浓度范围^[9]。SOD、POD、CAT属于诱导性酶,随着盐浓度的不断增加,植株体内的有害物质不断增加,然而这些酶的活性有一定的限度,超出此限度植物体出现萎蔫甚至死亡,进而抗氧化酶活性的降低^[10]。西藏大白菜在NaCl胁迫条件下生理生化特征、光合特性变化及其相互关系研究鲜有报道。本试验选用耐盐型和敏感型白菜型西藏大白菜为材料,研究幼苗期NaCl胁迫对生理生化特性、光合特性的变化,阐明他们之间的关系,并深入探究大白菜生理生化及光合特性的变化,为西藏大白菜耐盐性育种奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选用藏育1号为耐盐型大白菜品种,SD为敏感型大白菜品系,均有西藏农科院蔬菜研究所选育。

1.2 试验设计

材料种植于蔬菜研究所原种场试验基地,采用盆栽种植。盆高30 cm,直径33 cm,每盆装土10.0 kg。试验用土取自蔬菜研究所试验基地土壤,每盆播种5穴,每穴播种均匀的3粒种子,待幼苗长出第一片真叶时间苗,每穴留一颗长势较好的壮苗,长至莲座期时进行试验处理。

NaCl胁迫处理分为:对照组(CK, $0\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)、轻度胁迫(GR, $45\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)、中度胁迫(MR, $135\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)、重度胁迫(SR, $240\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$)。处理期间于每日下午18:00,用HM-S型(山东恒美电子科技有限公司)土壤水分仪测量每日土壤含水

量,并用量筒定量补充水分以控制土壤NaCl含量。于莲座期进行NaCl胁迫,时间为7 d,处理结束测定相关指标,胁迫期间盆钵移至防雨棚内。待胁迫处理结束,选取自上而下第5片叶检测指标,每个处理重复3次。

1.3 叶片含水量检测

叶片含水量采用李合生^[11]及邹琦^[12]的方法,并计算叶片相对含水量及总含水量。 $\text{RWC}=(\text{W1}-\text{W3})/(\text{W2}-\text{W3})\times 100\%$;叶片总含水量 $=(\text{W4}-\text{W3})/(\text{W4}-\text{W2})\times 100\%$ 。其中,W1为组织鲜质量,W2为组织饱和重,W3为干质量,W4为称量瓶质量。

1.4 生理生化指标检测

按照邹琦^[12]的方法进行叶片生理生化指标的测定,超氧化物歧化酶(SOD)采用NBT光还原法、过氧化物酶(POD)采用愈创木酚法、过氧化氢酶(CAT)采用紫外吸收法。

1.5 光合参数的测定

于处理第7 d上午09:30—11:00,选取完全展开叶,采用LI-6400便携式光合仪测定各参试品种(系)叶片光合参数净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、蒸腾速率(T_r)等;测定时设定叶室($2\text{ cm}\times 3\text{ cm}$)内温度为 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$,光强为 $600\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$;每个处理选5~10株,每株读数3次。

1.6 叶绿素含量测定

选择大白菜自上而下第3片叶进行叶绿素含量测定。叶绿素提取和含量测定参考郝建军等^[13]的方法。

1.7 数据处理

试验数据采用Microsoft Excel 2019和DPS 7.05进行处理。

2 结果与分析

2.1 NaCl胁迫对西藏大白菜叶片含水量的影响

NaCl胁迫下,叶片水分含量会发生变化,以调节渗透压适应NaCl逆境。NaCl胁迫时,西藏大白菜叶片相对含水量及总含水量相对值均会下降(图1-A和B),且随着胁迫强度的加大,下降程度增大,SR时下降幅度最大。与对照(CK)处理相比,两品种(系)的叶片相对含水量的下降程度大于叶片总含水量,其中,SD相对含水量及总含水量下降了52.0%、7.8%,藏育1号下降了34.3%、5.9%。SD两指标下降幅度明显大于藏育1号,尤其在SR时两者差异最大。

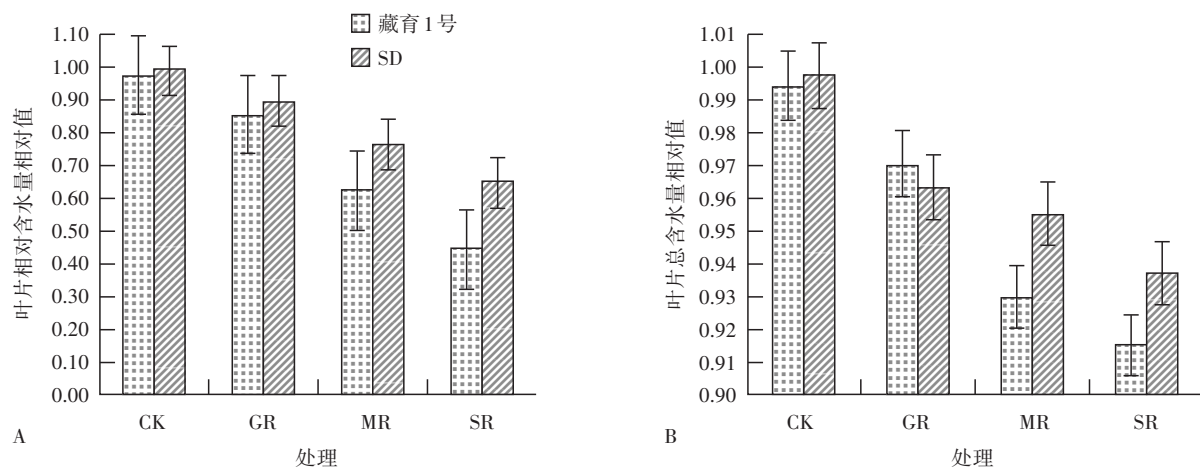


图1 NaCl胁迫对西藏大白菜叶片水分含量变化的影响

2.2 NaCl胁迫对西藏大白菜叶片抗氧化酶活性的影响

植物正常代谢过程是多条途径和多个部位会产生活性氧自由基,直接或间接损伤植物细胞膜系统,造成过氧化,导致细胞内生理代谢异常。NaCl胁迫时,西藏大白菜叶片中的3种抗氧化酶活性发生改变(表1)。随着胁迫程度的加强,西藏大白菜的SOD、POD、CAT活性呈现升后降的趋势,并在中度胁迫的程度上出现峰值,随之下降,但活性均高于对照。

其中,与对照(CK)相比,SD的SOD活性在各处理上分别上升了5.97、49.52、13.22 $\text{U}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$,藏育1号分别上升了12.45、58.79、19.01 $\text{U}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$,并且两材料在中度胁迫强度上出现峰值,随着胁迫强度的加强,酶活性出现下降趋势。各处理上,藏育1号比SD多升高了6.48、9.27、5.79 $\text{U}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ 。各个胁迫处理上,两品种(系)SOD活性均高于CK,藏育1号SOD活性均高于SD。说明,轻度NaCl胁迫使西藏大白菜叶片中的SOD活性上升,但当处于高浓度NaCl胁迫时,其活性又会下降,可能是由于活性氧积累超过抗氧化酶系统清除能力,对抗氧化酶系统造成严重损伤,导致其活性降低。

NaCl胁迫下,西藏大白菜叶片POD活性变化趋势与SOD活性的变化相似,均是出现先升后降的变化趋势,且MR出现最大值,其中SD的POD活性上升了CK的6.00倍,藏育1号上升了7.20倍,说明后者POD活性上升的幅度大于前者。显著性分析显示,两种材料在GR处理上出现显著或极显著的差异,由此可知,NaCl胁迫下,西藏大白菜叶片中的POD活性显著上升,随NaCl浓度的增加,活性则

会下降,但始终高于CK,耐盐性强的材料其活性上升幅度高于敏感型材料,说明POD活性的上升幅度与耐盐性呈正相关关系。

CAT是植物体内广泛存在的一种清除细胞内活性氧自由基的保护性酶类,可将洗白内的活性氧转化为活性较低的物质,防止细胞膜过氧化,保护细胞膜结构。NaCl胁迫时,西藏大白菜CAT活性先上升,SR处理下,活性会下降;两品种(系)材料相比,MR下,酶活性呈最大值,其中SD的CAT活性是CK的5.74倍,藏育1号是CK的6.24倍。SR时,SD的CAT活性会低于CK,而藏育1号酶活性依然高于CK。NaCl胁迫下的西藏大白菜叶片CAT活性变化会因品种(系)的不同而有所差异,总体上,CAT活性上升的幅度与材料的耐盐性成正相关(表1)。

表1 NaCl胁迫对西藏大白菜抗氧化酶活性的影响

品种	处理	SOD 活性 $/(U\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1})$	POD 活性 $/(U\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1})$	CAT 活性 $/(U\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{g}^{-1})$
SD	CK	20.64±0.34h	8.34±0.98e	4.70±0.51f
	轻度 GR	26.61±1.24 g	13.74±1.44d	6.94±1.35e
	中度 MR	70.16±1.69b	58.43±2.00a	26.99±1.61b
	重度 SR	33.86±1.74f	21.71±2.35c	4.40±1.24c
藏育 1号	CK	37.47±1.48e	11.57±1.27g	6.82±1.15e
	轻度 GR	49.93±2.38d	26.15±1.35f	9.83±1.77d
	中度 MR	96.27±1.94a	83.25±2.67b	38.41±0.97a
	重度 SR	56.50±3.10c	34.99±2.04e	26.25±0.87b

综上所述,NaCl胁迫时,西藏大白菜叶片抗氧化酶系统酶活性在一定的程度上增强,随着胁迫强度的增加,酶活性均有所下降,但变化幅度不同,耐盐性品种(系)下降程度明显小于敏感型材料。总体上抗氧化酶活性与胁迫程度呈一定的相关关系,并且品种(系)间存在差异,这可能是基因型不同品种(系)的耐盐性强弱不同。

2.3 NaCl胁迫对西藏大白菜光合特性的影响

随着胁迫强度的增加,两品种(系)西藏大白菜叶片光合气孔参数 T_r 、 P_n 、 G_s 均呈下降趋势, C_i 则呈下降趋势。NaCl胁迫下,两种材料的净光合速率 P_n 都受到了不同程度的影响,与CK相比,随着胁迫强度的增强,材料的 P_n 均增加,其中SD在不同处理强度上分别下降了27.41%、45.29%和80.64%,藏育1号下降了17.70%、33.10%和73.72%。并且两品种(系)在各个胁迫强度的处理上, P_n 的下降达到显著性,其中前者 P_n 的下降程度均高于后者,说明,NaCl胁迫对耐盐性弱的材料的影响大于耐盐性强的材料,差异显著性分析表明,在各个胁迫强度上, P_n 下降均达到显著差异,表明NaCl严重地影响了西藏大白菜的净光合速率(表2)。

NaCl胁迫下, G_s 与 P_n 变化趋势相似,西藏大白菜 G_s 逐渐降低,说明气孔逐渐关闭。GR处理下,西藏大白菜 G_s 能维持在相对较高的水平上,而加强胁迫强度时, G_s 下降达到了34.40%和29.10%、52.79%和44.53%,两品种(系)之间的差异越来越大,显著性分析,差异达到显著水平。说明,NaCl胁迫对材料 G_s 的影响前者大于后者(表2)。

NaCl胁迫下, T_r 的变化呈下降趋势,但不同的是在各个胁迫强度的处理上SD的下降程度明显大于藏育1号,显著性分析显示,各处理水平上两品种(系)变化差异均达到显著性,说明, T_r 下降幅度与材料的耐盐性以及NaCl胁迫强度成正相关(表2)。

NaCl胁迫降低了 C_i 含量,且SD变化较大,GR处理下,差异达到显著性水平,各处理上分别上升了31.86%、42.04%和57.97%。而藏育1号上升较为平缓,在GR、MR处理仍处于相对较高的水平,与CK相比分别上升了13.32%、22.43%和40.94%,在重度胁迫时差异达到显著水平。说明,NaCl胁迫对耐盐性性弱的材料 C_i 含量影响远大于对耐盐性强的材料(表2)。

综上,NaCl胁迫下,西藏大白菜光合气孔参数均处于下降趋势,但不同材料间下降程度不同,耐盐性强的材料下降程度小于耐盐性性弱的材料。并且,NaCl胁迫影响光合作用只要是气孔限制。

2.4 NaCl胁迫对西藏大白菜叶片叶绿素含量的影响

NaCl胁迫下,由于土壤水分亏缺,矿质元素供应不良,能量代谢障碍,造成植物生理生化过程受到干扰,并且细胞内产生的活性氧自由基使得细胞膜系统受到损伤,直接或间接影响叶绿素含量,造成光合作用降低,植物体生长受到抑制,甚至死亡。NaCl胁迫下,西藏大白菜叶绿素a、叶绿素b及总叶绿素含量均呈先有所上升后下降的趋势,但叶绿素a/叶绿素b变化趋势为下降趋势(表3),说明在NaCl胁迫下,西藏大白菜叶片叶绿素a、叶绿素b及

表2 NaCl胁迫对西藏大白菜光合气体交换参数的影响

品种	处理	净光合速率 $P_n/(\mu\text{molCO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	气孔导度 $G_s/(\text{molH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	蒸腾速率 $T_r/(\text{mmolH}_2\text{O}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	胞间 CO_2 浓度 $C_i/(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$
SD	CK	25.78±0.68b	853.67±12.58c	7.72±0.06a	374.33±6.51f
	轻度 GR	18.71±0.27d	794.56±8.14d	3.74±0.81c	206.11±6.67d
	中度 MR	14.10±0.61e	559.98±15.95e	3.09±0.06d	145.11±2.27c
	重度 SR	4.99±0.19 g	403.00±6.00h	1.94±0.09f	191.34±6.27a
藏育1号	CK	26.99±0.15a	965.03±14.67a	4.1±0.16b	343.67±4.16f
	轻度 GR	22.21±1.00c	885.26±8.66b	3.95±0.74bc	276.85±4.88e
	中度 MR	18.06±1.21d	683.78±5.01f	3.75±0.26c	230.33±6.51cd
	重度 SR	7.09±0.13f	535.33±4.16g	2.23±0.09e	297.89±4.50b

注:同列数据后小写字母不同表示差异有统计学意义($p\leq0.05$)。

表3 NaCl胁迫对西藏大白菜叶绿素的影响

品种	处理	叶绿素 a /mg·g ⁻¹	叶绿素 a /mg·g ⁻¹	叶绿素 a/叶绿素 b	总叶绿素 /mg·g ⁻¹
SD	CK	29.25±0.84c	17.97±0.32c	1.62±0.12a	47.28±0.67c
	轻度 GR	24.93±0.61b	17.71±0.69a	1.40±0.09de	42.65±4.00b
	中度 MR	27.24±1.10e	15.66±1.52b	1.61±0.07ef	40.89±1.60d
	重度 SR	14.04±0.90f	9.76±0.49d	1.44±0.14f	23.81±0.75d
藏育 1 号	CK	38.22±1.57c	12.35±1.18c	3.09±0.15a	50.77±1.16c
	轻度 GR	38.13±1.53a	13.18±0.73a	2.99±0.05b	51.41±0.81a
	中度 MR	37.55±0.85da	14.86±0.60c	2.52±0.01bc	52.56±1.27c
	重度 SR	23.42±0.32e	10.52±0.74c	2.22±0.04cd	33.99±0.84d

注:同列数据后小写字母不同表示差异有统计学意义($p\leq0.05$)。

总叶绿素含量变化具有一致性。NaCl胁迫时,叶绿素 a、总叶绿素含量下降的幅度明显大于叶绿素 b 含量的下降,其中,与 CK 相比,SD 叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素最大降低 15.21 mg·g⁻¹、2.21 mg·g⁻¹、17.47 mg·g⁻¹,藏育 1 号最大下降 4.80 mg·g⁻¹、1.83 mg·g⁻¹、7.16 mg·g⁻¹,差异达到显著或极显著,并且前者下降的幅度大于后者。西藏大白菜总叶绿素和叶绿素 a/叶绿素 b 的下降主要是因为叶绿素 a 含量下降所引起。NaCl 胁迫引起西藏大白菜叶片叶绿素降解,而生物合成障碍,并且可能叶绿素 a 的稳定性较弱于叶绿素 b。在 GR 处理下,叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量有上升的趋势,随后下降,可能是植物抵御盐胁迫的一种机制,为适应逆境储存光合产物。综上,NaCl 胁迫导致西藏大白菜叶绿素降解增强,尤其是叶绿素 a 含量下降幅度与品种(系)的耐盐性成负相关。

2.5 生理生化指标、光合气孔参数及叶绿素含量间的相关性

NaCl 胁迫下西藏大白菜内源激素与生理指标间的相关性分析结果显示,叶片 Pn 与 SOD、POD 活

性呈显著/极显著正相关, Gs、Tr 与 RWC 均呈极显著正相关($p\leq0.01$),除叶绿素 b 含量与 RWC、总叶绿素与 SOD、POD 及 CAT 不具显著性外,其他各指标均呈显著/极显著负相关。可见,NaCl 胁迫下,西藏大白菜叶片光合气孔参数指标变化主要是由于叶片水分含量及抗氧化酶变化引起,NaCl 胁迫程度越强,叶片相对含水量越低,抗氧化酶活性升高抵御盐胁迫,同时叶片光合作用减低是因为气孔关闭和叶绿素含量降低导致(表 4)。

3 结论与讨论

3.1 结论

随着 NaCl 胁迫浓度的增加,两品种(系)西藏大白菜叶片相对含水量及总含水量, SOD、POD、CAT 活性均呈下降趋势,不同耐盐性材料下降幅度不同。NaCl 胁迫严重限制了叶片光合气孔参数及叶绿素含量,使得植物叶片光合作用下降,进而影响作物产量。因此, NaCl 胁迫对西藏大白菜的影响主要是限制光合作用,导致植物光合作用能力降低,正常生理生化受到影响,导致作物生长延缓甚至死亡。

表4 NaCl胁迫下西藏大白菜光合气孔参数与生理生化指标的相关性

光合参数	相对含水量(RWC)	SOD 活性	POD 活性	CAT 活性
净光合速率(P _n)	-0.588**	0.771**	0.547*	-0.778**
气孔导度(G _s)	0.950**	-0.773**	-0.848**	-0.767**
蒸腾速率(T _r)	0.829**	-0.599**	-0.671**	-0.591**
胞间 CO ₂ 浓度(C _i)	-0.930**	0.843**	0.863**	0.872**
叶绿素 a	-0.867**	0.678**	0.788**	0.744**
叶绿素 b	0.272	-0.588*	-0.536*	-0.633**
叶绿素 a/叶绿素 b	-0.462	-0.508*	-0.428	-0.428
总叶绿素	-0.482*	0.126	0.310	0.180

注:*表示呈极显著正相关($p\leq0.05$),**表示呈极显著正相关($p\leq0.01$)。

3.2 讨论

NaCl胁迫通常导致植物组织水分亏缺,植物叶片反应与适应性的主要变化,不仅要有利于组织保水还要提高水分的利用率^[14]。盐降低植物组织叶片含水量,不同材料对盐胁迫的敏感程度不同,耐盐性强大白菜叶片束缚水分能力较强,有利于叶片的保水,减轻了盐胁迫对植物组织的伤害^[15]。本试验表明,NaCl胁迫下西藏大白菜叶片RWC及总含水量呈下降趋势,但轻、中度胁迫叶片总含水量差异未达显著性水平,说明在细胞调节的范围内,叶片总含水量变化较小,并且RWC及总含水量变化幅度与材料的耐盐性呈显著负相关。盐胁迫导致作物细胞内产生大量的活性氧自由基,引起细胞质膜过氧化等一系列的反应,细胞内整个防御系统抵抗干浓度NaCl所引起的氧化损伤,抗氧化酶系统SOD、POD、CAT等活性增强,加快了植物细胞对体内活性氧的清除,能维持细胞内活性氧代谢平衡及细胞质膜结构和功能,维持细胞内正常生化水平。因此,抗氧化酶系统酶活性能较好的反应植物对逆境的适应能力^[16-18]。细胞中SOD、POD、CAT活性及MDA含量与作物的耐盐性密切相关,并且因作物的类型、生育期、品种(系)的不同差异较大^[19-20]。强耐盐大白菜品种(系)在NaCl胁迫下抗氧化酶活性维持的较高的水平,细胞内活性氧自由基保持的相对较低水平,降低细胞质膜过氧化损伤^[21]。本研究结果显示,轻度、中度NaCl胁迫下,西藏大白菜叶片抗氧化酶活性维持在较高水平,保护细胞质膜,细胞内MDA在较低水平,而重度胁迫下,抗氧化酶活性下降或者不能清除细胞内产生的活性氧自由基,导致细胞质膜过氧化损伤增加,这主要是NaCl浓度已超出叶片细胞对水分缺失的范围,导致叶片过度失水,叶片萎蔫干枯等原因造成。

参考文献:

[1]袁慢慢,邬刚,王家宝,等.NaCl胁迫对83种菠菜种子萌发的影响[J].现代园艺,2023,46(23):19-21.

- [2]王佳敏,柴润东,陈璐云,等.29个紫花苜蓿品种种子萌发期耐盐性评价[J].草地学报,2023,31(9):2722-2729.
- [3]夏华美,曹志坚,于铭玥,等.30份草地早熟禾苗期耐盐性综合评价[J].草业科学,2023,40(12):3124-3137.
- [4]马肖静,刘勇鹏,尚文凯,等.44份西瓜种质资源苗期耐盐性综合评价[J].中国瓜菜,2024,37(3):45-53.
- [5]肖菁,刘宁,许明海,等.NaCl胁迫对糜子种子萌发的影响[J].新疆农业科学,2023,60(7):1623-1629.
- [6]张海洋,付晓,李茹霞,等.菠菜SpNHX1基因的克隆及生物信息学分析[J].湖北农业科学,2019,58(23):211-214.
- [7]刘敏轩,张宗文,吴斌,等.黍稷种质资源芽、苗期耐中性混合盐胁迫评价与耐盐生理机制研究[J].中国农业科学,2012,45(18):3733-3743.
- [8]付婷婷,王昊,赵颖,等.根际NaCl浓度对冰菜形态和生理的影响[J].广东农业科学,2023,50(6):36-43.
- [9]张蓓蓓,高梓元,赵立福,等.嫁接番茄的耐盐性筛选及综合评价[J].山东农业大学学报(自然科学版),2023,54(6):820-827.
- [10]王萌,刘文君,鲁雪莉,等.大豆种质资源萌发期耐盐性评价和耐盐机理解析[J].中国农学通报,2023,39(26):8-16.
- [11]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.
- [12]邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [13]郝建军,康宗利,于洋.植物生理学实验技术[M].北京:化学工业出版社,2007.
- [14]闻小霞,王冬,周爱凤,等.盐胁迫对不同菠菜品种发芽率及生理特性的影响[J].山东农业科学,2016,48(3):27-30.
- [15]梁峥,宋卓琴,贾民隆,等.盐胁迫对不同品系萱草光合特性的影响[J].山西农业科学,2023,51(11):1265-1272.
- [16]戚冰洁,汪吉东,马洪波,等.盐胁迫对不同基因型(品系)甘薯苗期光合特性的影响[J].生态学杂志,2012,31(12):3102-3108.
- [17]李进,顾绘,殷琳毅,等.盐胁迫对芥菜种子萌发的影响[J].东北农业科学,2023,48(3):91-95.
- [18]李亚萍,苏剑,周发明,等.干旱和盐胁迫对金花菜种子萌发及幼苗抗氧化保护酶活性的影响[J].草学,2019(3):24-35.
- [19]买热木沙姑·依米尔.盐胁迫和干旱胁迫对田野苦苣菜种子萌发的影响[J].安徽农学通报,2016,22(10):43-45.
- [20]李天星,梁建华.盐胁迫对花椰菜种子萌发及幼苗生长的影响[J].江苏农业科学,2013,41(3):118-120.
- [21]张建鹏.盐胁迫下不同辣椒品种的耐盐性差异及生理生化指标响应[J].江苏农业科学,2023,51(16):127-133.