

陈倩倩,高爽,王梅,等. 低浓度氯化钠施用方式对樱桃萝卜生长及光合的有益效应[J]. 江苏农业科学,2022,50(13):158-165.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.13.026

低浓度氯化钠施用方式对樱桃萝卜生长及光合的有益效应

陈倩倩¹,高爽²,王梅³,薛占军¹,张维霞¹,高志奎¹

(1. 河北农业大学园艺学院,河北保定 071001; 2. 河北农业大学食品科技学院,河北保定 071001;

3. 河北农业大学科教兴农中心,河北保定 071001)

摘要:为了明确低浓度 NaCl 的最佳施用方式及其适宜浓度对樱桃萝卜生长和物质累积的有益效应,以樱桃萝卜品种“荷兰可爱多”为试材,从2叶1心期开始,采用浓度为0、6、12、18 mmol/L 的 NaCl,分别进行连续21 d的叶面喷洒或根部浇淋处理,分析其对植株及各器官生长、干物质和营养物质累积以及叶片光合碳吸收活性的影响。结果表明,叶施处理下,随着 NaCl 浓度的增加,樱桃萝卜植株生长及光合活性等指标均呈现峰值变化趋势,其有益效应最佳浓度集中在12 mmol/L。叶施12 mmol/L NaCl 处理下,樱桃萝卜的全株及肉质根鲜质量和干质量分别比对照大幅增加了107.2%和112.3%、147.3%和148.6%;而且叶面积、光合速率、气孔导度也显著增加;同时植株生长活性与根系活力也有大幅度提升。而根施12 mmol/L NaCl 处理下,全株干质量、全株鲜质量、肉质根鲜质量、叶面积也明显增加。另外,叶施、根施12~18 mmol/L NaCl 更有利于植株干物质从叶片向肉质根转移分配。叶施12 mmol/L NaCl 促进了肉质根的可溶性糖、淀粉、游离氨基酸、可溶性蛋白质的累积;相比之下,根施12 mmol/L NaCl 处理下肉质根中各营养物质累积的增加效果有所减弱。总之,施用尤其是叶施低浓度 NaCl 具有促进樱桃萝卜植株及肉质根生长和物质累积的有益效应,且叶施12 mmol/L NaCl 的促进效应最优。

关键词:樱桃萝卜;肉质根;NaCl;叶施;根施;营养物质;有益效应

中图分类号: S631.101 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)13-0158-07

樱桃萝卜 (*Raphanus sativus* L. var. *radculus* Pers.) 为十字花科萝卜属植物^[1],深受广大消费者青睐^[2]。樱桃萝卜生长迅速,周期短,可利用设施进行周年多茬种植,其栽培技术尤其是栽培生理研究^[3]也逐渐受到关注。光质和光周期试验结果表明,LED红蓝光2:1配比可提高樱桃萝卜肉质根的干鲜质量^[4];长光照(16 h光/8 h暗)的白光在樱桃萝卜的叶片生长、肉质根膨大以及根中营养物质积累方面有极大的促进作用^[5]。另外,生物有机肥试验^[6-7]及钾肥与硼肥配施^[1]也取得了促进樱桃萝卜生长、提高产量和品质的良好效应。

多年来,在植物的盐胁迫效应^[8]及植物耐盐机制研究领域,以高浓度(100~300 mmol/L) NaCl 处理开展了大量工作^[9]。在水培根际营养液中添加低

浓度 NaCl 对植物生长的有益效应也逐渐受到关注。试验显示,在水培根际营养液中添加10 mmol/L NaCl,促进了韭菜的株高、叶片的生物量和可溶性糖含量的增加,并且对大白菜幼苗的根系和茎生长及幼苗的可溶性糖、可溶性蛋白质、抗坏血酸含量有促进效应^[10-11]。在 NaCl 盐胁迫试验中,初步观察到根际低浓度 NaCl 促进了萝卜幼苗下胚轴伸长、叶长大幅度增加^[12]。另外,低浓度(8.5 mmol/L) NaCl 对萝卜芽苗菜的下胚轴伸长有促进效应^[13]。

众所周知,目前我国蔬菜生产以土壤栽培为主,水培极少。与水培不同的是,若在土壤栽培时根际浇淋 NaCl,随着施用次数的累积,极易带来次生盐渍化的隐患。而鉴于樱桃萝卜株体矮小,其穴盘基质培则易于应用推广。在穴盘基质樱桃萝卜栽培时,由于基质的定期更换,采用根际浇淋 NaCl 带来次生盐渍化的隐患可以避免。

另外,笔者所在实验室的孟闯等采用叶面喷施10 mmol/L NaCl 处理基质培黄瓜幼苗,发现可以促进黄瓜幼苗叶面积增加、营养物质累积^[14]。经本试

收稿日期:2021-10-07

基金项目:河北省重点研发计划(编号:18226928D)。

作者简介:陈倩倩(1996—),女,河北张家口人,硕士,主要从事植物生理研究。E-mail:2977547840@qq.com。

通信作者:高志奎,博士,教授,主要从事蔬菜栽培生理研究。

E-mail:gaozhikui2005@163.com。

验的预备试验,也初步观察到对基质培樱桃萝卜叶施低浓度 NaCl 的上述类似有益效应。然而,低浓度 NaCl 在基质培樱桃萝卜上进行根施还是叶施的最佳处理方式及其最佳浓度尚待明确。

本试验采用不同低浓度 NaCl 进行叶施或根施方式处理,测定樱桃萝卜的形态生长、干鲜物质及营养物质累积、根系活力、光合色素、光合碳吸收活性等指标,分析明确低浓度 NaCl 的最佳施用方式及其适宜浓度对樱桃萝卜植株生长尤其是产品器官(肉质根)生长和品质的有益效应,以期为进一步充实樱桃萝卜的优质高效栽培技术提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2021 年 5—6 月在河北农业大学东校区日光温室内进行。试验材料为樱桃萝卜“荷兰多可爱”。采用穴盘种植,穴盘为 50 孔,每穴 3 粒种子。育苗基质为有机通用基质(N + P₂O₅ + K₂O 含量 ≥ 2%,有机质含量 ≥ 40%,由淮安市中禾农业科技开发有限公司生产)。于幼苗子叶展开、第 1 张真叶展开、第 2 张真叶展开时进行间苗,选留生长整齐一致的秧苗。其他管理按常规进行。当幼苗长至 2 叶 1 心时,分别进行叶面喷洒与根部浇淋 NaCl 处理,浓度分别为 0 (蒸馏水)、6、12、18 mmol/L。其中,叶面喷洒处理分别记为 CK - B、B - 6、B - 12、B - 18,根部浇淋处理分别记为 CK - R、R - 6、R - 12、R - 18,共 8 个处理。每个处理小区 50 株,3 次重复,随机排列。每天 08:00—8:30 进行处理,叶面喷洒以均匀喷洒在叶片背面,叶面出现液滴微落为度,根施以浇透基质为度。连续处理 21 d 后取样测定相关指标。

1.2 形态和生长指标测定与计算

连续叶施和根施处理 21 d(植株长至 5 叶 1 心)后,在每个重复小区选取生长一致的植株 5 株,采用卷尺测量株高(从植株顶端至肉质根基部距离);采用叶面积仪(LI - 3000C)测定叶面积;采用游标卡尺测量肉质根高度和直径。将整棵植株分为叶片、叶柄、肉质根、根系共 4 个器官,采用分析天平测定鲜质量。然后,在烘箱中 105 ℃ 杀青 0.5 h 后,转为 80 ℃ 烘干至恒质量,采用分析天平分别称取干质量。并计算肉质根球型指数、肉质根鲜嫩度,肉质根球型指数 = 肉质根高度/肉质根直径,肉质根鲜嫩度 = 肉质根含水量/肉质根干质量。各器

官的干物质分配率计算:叶片(叶柄、肉质根、根系)分配率 = 叶片(叶柄、肉质根、根系)干质量/全株干质量。

归一化植株生长鲜活指数(AI_{norm})表达为 AI_{norm} = A_{leaf} · A_{source - sink} · A_{root}。其中,叶片生长鲜活性(A_{leaf})表达为 A_{leaf} = (叶干质量_{norm}/叶面积_{norm}) · (叶含水量_{norm}/叶面积_{norm});源库关系鲜活性(A_{source - sink})表达为 A_{source - sink} = 1/3 × (叶柄干质量_{norm}/叶干质量_{norm}) · (叶柄含水量_{norm}/叶柄鲜质量_{norm}) + 1/3 (肉质根干质量_{norm}/叶干质量_{norm}) · (肉质根含水量_{norm}/肉质根鲜质量_{norm}) + 1/3 (根系干质量_{norm}/叶干质量_{norm}) · (根含水量_{norm}/根鲜质量_{norm});另外,根源生长鲜活性 A_{root} 表达为 A_{root} = (根干质量_{norm}/冠干质量_{norm}) · (全株含水量_{norm}/全株鲜质量_{norm})。其中,1/3 为权重系数;各指标_{norm} = 各指标的值/对照指标平均值,即对各指标进行归一化计算。

1.3 植株各器官营养物质含量、叶片光合色素含量以及根系活性测定

将樱桃萝卜整棵植株分为叶片、叶柄、肉质根和根系共 4 个器官,用蒽酮比色法测定可溶性糖含量,高氯酸法测定淀粉含量,水合茚三酮法测定游离氨基酸总量,考马斯亮蓝 G - 520 法测定可溶性蛋白质含量^[15]。选择从下向上第 3 张叶片,使用圆形打孔器把叶片打成大小、形状一致的小圆片,采用乙醇提取法测定叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素的含量^[16]。将樱桃萝卜植株的根系用自来水冲洗干净,去除基质和其他表面杂物,再用蒸馏水洗净,吸干水分,然后按照 2,3,5 - 三苯基氯化四氮唑(TTC)法进行测定根系活力^[17]。每个处理测定 5 株,3 次重复。

1.4 光合气体交换参数测定

连续叶施和根施处理 21 d 后,采用 Ciras II (PP System) 光合测试系统测定植株从下向上第 3 张真叶的光合气体交换参数。设定叶室温度为 20 ℃;CO₂ 浓度为 380 μmol/mol(与外界大气中 CO₂ 浓度相近);光源为红蓝复合光源,比例为 3 : 1;光照度为 1 000 μmol/(m² · s)(与设施环境中中午的光照度相近)。每个处理测定 5 株,3 次重复。

1.5 数据统计

采用 Excel 2019 进行数据整理和作图,SPSS 26.0 进行试验数据的方差分析,同时采用 Duncan's 新复极差法进行多重比较(α = 0.05)。

2 结果与分析

2.1 NaCl 不同施用方式对植株形态和生长的影响

低浓度 NaCl 处理 21 d 后,各处理下植株形态、肉质根形态各指标以及全株鲜质量、肉质根鲜质量如表 1 所示。其中,CK - B、CK - R 处理下的各项指标较接近(除株高外)。与 CK - B 相比,B - 12 处理的叶面积、肉质根直径、肉质根高度、肉质根鲜质量、全株鲜质量的增加效应最大,而 B - 12 处理的

株高的增加效应较大;相比之下,与 CK - R 相比,R - 12 处理的株高、肉质根鲜质量的增加效应最大,而 R - 12 处理的叶面积、肉质根直径、肉质根高度、肉质根鲜质量、全株鲜质量的增加效应较大。同时,B - 18 处理仅在肉质根直径和高度上与 B - 12 处理相近;R - 18 处理仅仅在肉质根高度和鲜嫩度上与 R - 12 处理接近。这表明,叶施 12 mmol/L NaCl 对樱桃萝卜的植株形态和肉质根形态生长的促进效应最大,而根施 12 mmol/L NaCl 的促进效应较大。

表 1 不同浓度 NaCl 根施或叶施对樱桃萝卜植株器官生长的影响

处理	株高 (cm)	叶面积 (cm ²)	肉质根直径 (cm)	肉质根高度 (cm)	肉质根鲜嫩度	全株鲜质量 (g)	肉质根鲜质量 (g)
CK - B	16.90 ± 0.84d	114.00 ± 5.80d	2.22 ± 0.05e	2.28 ± 0.21bc	12.27 ± 1.98c	10.23 ± 0.91e	4.88 ± 0.75fg
B - 6	21.68 ± 1.08ab	136.08 ± 7.85c	2.45 ± 0.14d	2.31 ± 0.04bc	14.45 ± 0.65ab	14.68 ± 0.91d	7.79 ± 0.64d
B - 12	21.34 ± 1.35b	160.81 ± 6.11a	2.97 ± 0.11a	2.60 ± 0.15a	12.21 ± 0.35c	21.20 ± 0.90a	12.07 ± 0.68a
B - 18	20.34 ± 0.92bc	146.10 ± 17.09bc	2.83 ± 0.12ab	2.64 ± 0.24a	13.73 ± 2.04bc	18.98 ± 1.10b	10.68 ± 0.60b
CK - R	19.40 ± 0.99c	115.51 ± 8.08d	2.26 ± 0.19e	2.14 ± 0.08c	14.12 ± 2.30abc	11.59 ± 1.81e	5.47 ± 1.49f
R - 6	20.80 ± 1.21bc	143.82 ± 5.68bc	2.55 ± 0.06cd	2.33 ± 0.10bc	16.09 ± 1.78a	15.76 ± 1.29cd	7.63 ± 0.74d
R - 12	22.46 ± 1.65a	145.59 ± 10.43bc	2.79 ± 0.28ab	2.47 ± 0.12ab	15.88 ± 1.14a	20.16 ± 1.45ab	10.44 ± 0.82b
R - 18	20.20 ± 0.60bc	153.53 ± 11.98ab	2.69 ± 0.07bc	2.45 ± 0.08ab	16.27 ± 0.76a	16.94 ± 0.51c	9.08 ± 0.83c

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。

2.2 植株及各器官的干物质累积与分配

与对照 CK - B 或 CK - R 相比,不仅根部浇淋或叶面喷施 NaCl 处理的全株及各器官干质量会显著增加,而且随着 NaCl 处理浓度的增加,全株及各器官干质量呈现单峰变化趋势(图 1 - A)。其中,CK - B、CK - R 的全株及各器官干质量无明显差异。与 CK - B 相比,B - 12 处理全株干质量及叶片、叶柄、肉质根各器官干质量的增加效应最大。而与 CK - R 相比,R - 12 处理下全株干质量以及叶片、叶柄、肉质根各器官干质量的增加效应仅次于 B - 12 处理。因此,根施尤其是叶施 NaCl 对樱桃萝卜植株及各器官(根系除外)干物质累积具有显著的促进效应,且叶面喷洒 12 mmol/L NaCl 的促进效应更优。

依据图 1 - A 计算各器官的鲜质量分配率(图 1 - B),可知 B - 12、B - 18、R - 12、R - 18 处理下,叶片、叶柄和根系的干物质分配率降低,肉质根的干物质分配率增加,且 B - 12 和 B - 18 处理的肉质根干物质分配率比 R - 12 和 R - 18 处理增加更多些;相比之下,B - 6 和 R - 6 处理的叶片和肉质根的干物质分配率变化较小,根系的干物质分配率降低,而叶柄的干物质分配率有所增加。这表明,施

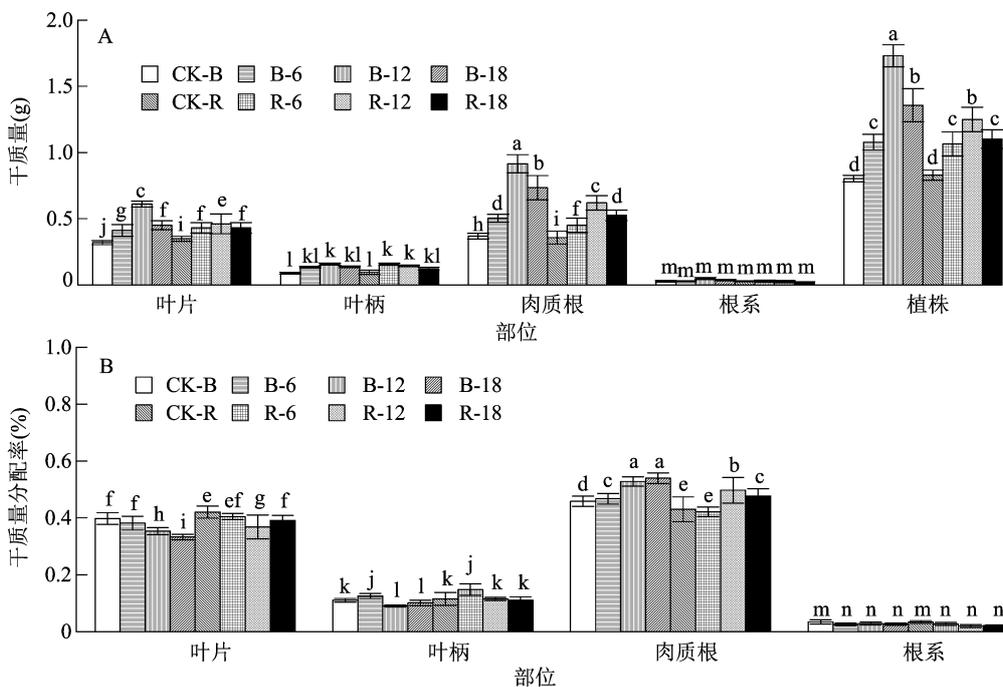
用尤其是叶施适宜浓度 NaCl(12 ~ 18 mmol/L)会呈现出促进干物质从叶片向肉质根转移分配的特征,而根施或叶施 6 mmol/L NaCl 会呈现出促进干物质在叶柄滞留的特征。

2.3 植株及各器官的营养物质累积

无论是根部浇淋还是叶面喷施的方式,随着 NaCl 浓度的增加,植株的可溶性糖、淀粉、游离氨基酸、可溶性蛋白质的含量均呈现峰值效应趋势(图 2)。CK - B、CK - R 的植物各营养物质含量相近(淀粉含量除外)。与 CK - B 相比,B - 12 处理下全株及各器官的可溶性糖、淀粉、游离氨基酸、可溶性蛋白质含量的增加效应最大,尤其是肉质根,分别增加了 78.8%、143.4%、70.6%、99.4%。在 R - 12 处理中,其全株及各器官的可溶性糖、淀粉、游离氨基酸、可溶性蛋白质含量增加较多,但是其肉质根的增加效果明显远低于 B - 12 处理。因此,根施尤其是叶施 NaCl 促进了樱桃萝卜全株及各器官的营养物质累积,其中叶施 12 mmol/L NaCl 对植株和肉质根等器官的营养物质累积促进效应最大。

2.4 植株生长活性与根系活力

无论是根部浇淋还是叶面喷施低浓度 NaCl 处理,不仅影响着植株生长的鲜活指数 AI_{nom} ,还影响



柱上不同小写字母表示各部位或植株不同处理间差异显著($P < 0.05$)。图2同

图1 不同浓度NaCl根施或叶施对樱桃萝卜干质量及分配率的影响

着叶片鲜活指数 A_{leaf} 、源库关系鲜活指数 $A_{source-sink}$ 、根源鲜活指数 A_{root} (图3-A)。与CK-B相比,B-12处理下 AI_{norm} 增加最大。从图3-A对比分析来看,B-12处理下 AI_{norm} 的增加效应主要依赖于 A_{leaf} 的大幅度增加。而根部浇淋处理下,尽管 A_{leaf} 增加或保持不变, $A_{source-sink}$ 也保持不变,可是 A_{root} 大幅降低导致了 AI_{norm} 呈现出下降的现象。

与各处理相比,B-6、B-12处理下根系活力显著增加(图3-B)。其中,B-12处理下根系活力的增加效应最大,比CK-B增加了71.8%。在根部浇淋处理中,与CK-R相比,R-18处理下的根系活力增加了138.9%,但仍显著低于B-12处理。这表明,施用尤其是叶施NaCl能够促进樱桃萝卜的根系活力,且叶施12 mmol/L NaCl对樱桃萝卜的根系活力促进效应最大。

2.5 叶片光合色素含量与光合碳吸收活性

无论是根部浇淋还是叶面喷施处理,随着NaCl浓度的增加,叶绿素a、叶绿素b(根施除外)、叶绿素总含量以及类胡萝卜素含量均呈现单峰变化趋势(图4)。对比分析可知,CK-B、CK-R处理下叶片的各项光合色素指标相接近。其中,B-12处理下的叶绿素总含量达到最大值,比CK-B增加了45.9%,这主要与叶绿素b的大幅度增加有关;B-6处理下的叶绿素b、叶绿素总含量仅次于B-12处理。B-12、R-12处理下的类胡萝卜素含量均显著

高于对照CK-B或CK-R。因此,叶施12 mmol/L NaCl有利于樱桃萝卜叶片中叶绿素含量尤其是叶绿素b含量的增加;无论是根施还是叶施12 mmol/L的NaCl均有利于类胡萝卜素含量的增加。

在叶面喷洒NaCl处理中,与CK-B相比,B-6、B-12处理下的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)显著提高(图5),其中,B-12和B-18处理下的 P_n 达到最大值,平均增加了17.7%、14.5%; G_s 在B-6处理时最高,其次是B-12处理时,增加了54.9%。而根部浇淋处理下的 P_n 、 G_s 则无明显变化。这表明,叶施12 mmol/L NaCl对樱桃萝卜叶片的光合碳吸收活性有明显的促进效应。

2.6 全株干质量与叶面积之间的相关性

叶面喷施和根部浇淋低浓度NaCl溶液处理后,樱桃萝卜的全株干质量与叶面积之间呈极显著相关关系($r = 0.6326^{**}$ 、 $r = 0.7128^{**}$),这表明叶面积增加能促进全株干物质累积。

3 讨论与结论

在盐胁迫(20~120 mmol/L)试验中初步观察到,低浓度NaCl(20~40 mmol/L)对基质栽培樱桃萝卜的肉质根直径略有促进效应^[12]。本试验进一步降低NaCl处理浓度,观察到叶施适宜低浓度(12 mmol/L)NaCl对樱桃萝卜肉质根的生长有明显的促进效应,肉质根高度增加了14.0%,肉质根直

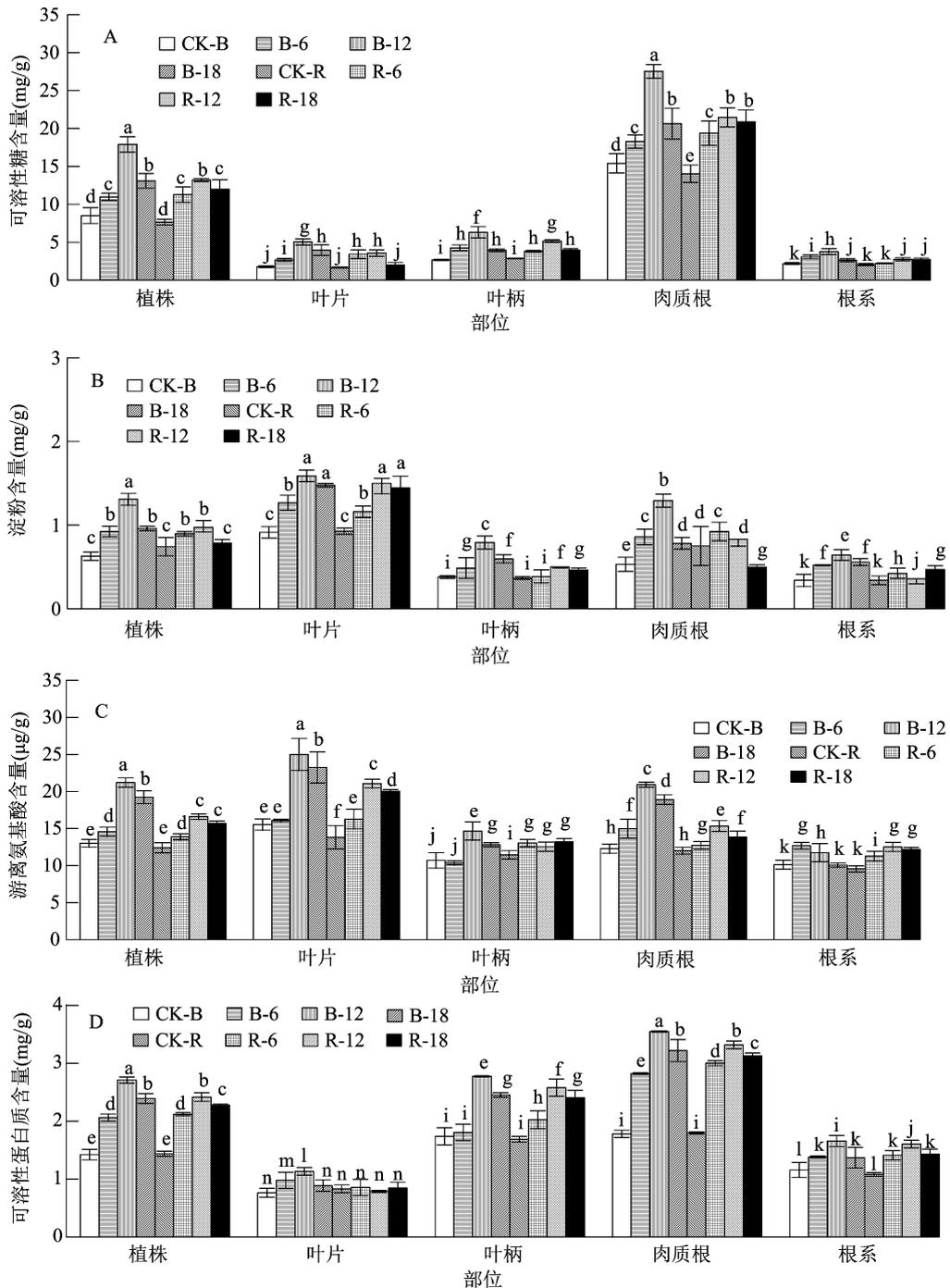
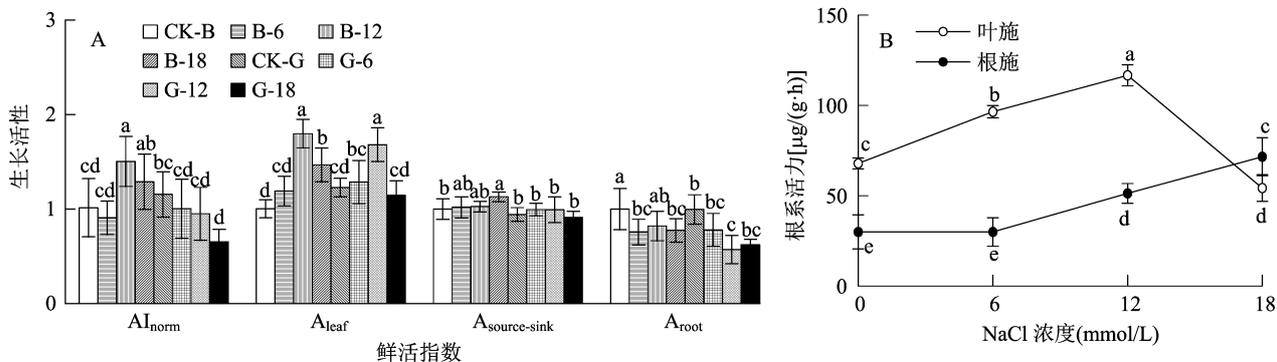


图2 不同浓度 NaCl 根施或叶施对樱桃萝卜各器官营养物质的影响

径增加了 33.8%。众所周知,肉质根由根头、根茎(下胚轴所占比例最大)、真根 3 个部分组成。这意味着肉质根的生长主要与下胚轴的伸长和加粗有关。王国霞等在盐胁迫试验中也观察到,低浓度(10~80 mmol/L)的 NaCl 促进了红心萝卜幼苗下胚轴伸长的效应^[18]。

植物主要通过根系来吸收矿质养分,还会通过叶片表面进行吸收利用。Na⁺、Cl⁻从根部被吸收,

在离子浓度梯度和蒸腾拉力的双重推动下,通过茎器官的木质部向上运输至叶片,直至叶片表皮的气孔保卫细胞中以及叶肉细胞中,随水分运输会分布在质外体和共质体、液泡 3 个相对独立的空间来直接或间接参与代谢^[19]。Na⁺和 Cl⁻直接从叶源吸收,经气孔进入叶肉细胞,或通过叶表面角质膜、胞间连丝进入叶片表皮细胞,随着水分运输途径主要进入共质体和液泡来直接或间接参与代谢^[20]。



柱上或线上不同小写英文字母表示同一指标各处理间差异显著($P < 0.05$)。下图同

图3 不同浓度 NaCl 根施或叶施对樱桃萝卜植株生长活性和根系活力的影响

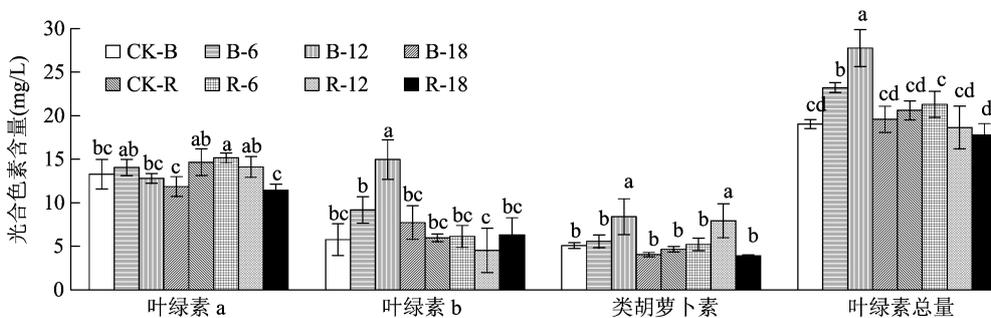


图4 不同浓度 NaCl 根施或叶施对樱桃萝卜叶片光合色素的影响

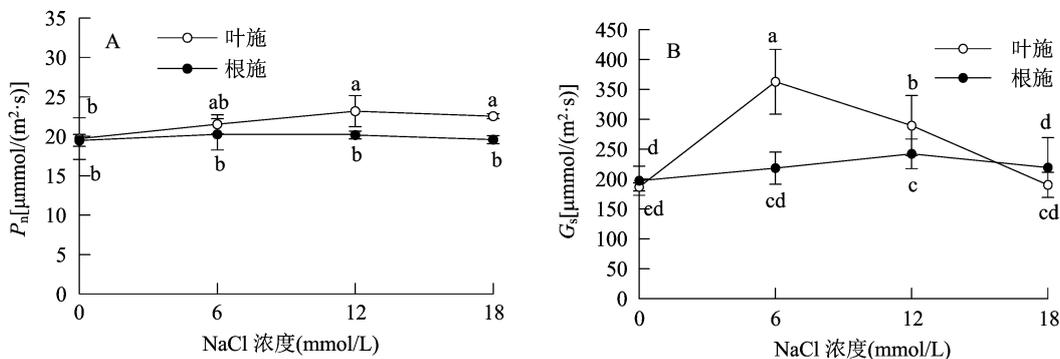


图5 不同浓度 NaCl 根施或叶施对樱桃萝卜叶片光合碳吸收活性的影响

不同的栽培模式和养分供给方式会因养分的吸收位点、运输途径及其分布的差异而呈现出生物学效应的差异。一般来说,在水培栽培模式下,向根际营养液中添加低浓度 NaCl,经过数周的持续供给,植株会在较为恒定的浓度下持续吸收 Na^+ 和 Cl^- ,并运输至地上部在体内累积到大量元素水平,呈现出促进生长的有益效应^[21]。报道显示,向水培根际营养液添加低浓度(4~5 mmol/L) Cl^- 进行长达 6~30 周培养下,植物组织中 Cl^- 的累积量可达 25~50 mg/g^[21-22],呈现出类似于大量元素 K^+ 的生长有益效应^[21]。

在穴盘基质栽培模式下,叶施 NaCl 时,通过每天 1 次的数天连续叶面喷洒频度供给,植株叶片会

在非恒定的浓度下持续吸收 Na^+ 和 Cl^- ,并向体内吸收累积,而呈现出促进生长的有益效应。孟闯等采用 10 mmol/L NaCl 在黄瓜穴盘基质育苗上叶施 21 d 后,观察到植株干质量、叶面积、光合速率明显增加^[14]。本试验结果与孟闯等的研究结果^[14]相一致,采用 12 mmol/L NaCl 叶施 3 周(21 d)对穴盘基质栽培樱桃萝卜的全株鲜质量、全株干质量、肉质根鲜质量、叶面积、 P_n 均呈现明显的促进效应。因此,与水培根际营养液添加 NaCl 方式相比,叶施 NaCl 直接从叶片吸收向体内累积,未经过根系吸收及茎器官木质部的向上运输过程,其生物学效应的显效期会缩短,但是叶施适宜浓度会有所提高。

在穴盘基质栽培模式下,根施 NaCl 时,通过每

天1次的数天连续根部浇淋频度供给,植株根系会在非恒定的浓度下持续吸收 Na^+ 和 Cl^- ,并向体内吸收累积,而呈现出促进生长的有益效应。本试验中观察到,采用 12 mmol/L 的 NaCl 根施3周(21 d)对穴盘基质栽培樱桃萝卜的全株干质量、全株鲜质量、肉质根鲜质量、叶面积也呈现出明显的促进效应。因此,根施 NaCl 方式的生物学效应会介于水培根际营养液添加 NaCl 方式和叶施 NaCl 方式之间。与水培根际营养液添加 NaCl 恒定浓度供给方式不同的是,根施 NaCl 为非恒定浓度供给方式,其根施适宜浓度会有所提高,且倾向于叶施 NaCl 方式的适宜浓度,其生物学效应的显效期也会倾向于叶施方式。

众所周知,作物的干物质累积与光合速率、截获光能叶面积和光合功能期相关联^[23]。本试验采用叶面喷施和根部浇淋低浓度 NaCl 处理后,樱桃萝卜全株干质量与叶面积之间均呈极显著相关关系($r=0.6326^{**}$ 、 $r=0.7128^{**}$)。这种全株干物质累积主要与叶面积增加的光能截获相关联的现象,与 Franco-Navarro 等的试验结果^[21]相一致。姚岭柏等在盐胁迫(20~120 mmol/L)试验中还观察到低浓度 NaCl (20~40 mmol/L)有增加叶长的效应^[12]。另外,产品器官的生长还依赖于植株干物质的分配。孟闯等在试验中观察到,叶施低浓度 NaCl 有促进黄瓜幼苗叶片干物质向茎转移分配的效应^[14]。与之相似的是,本试验中也观察到叶施、根施 12~18 mmol/L NaCl 促进了樱桃萝卜干物质从叶片向肉质根(主要是下胚轴)转移分配的特征。

Na^+ 、 Cl^- 会影响植物体内碳水化合物的累积^[24], Cl^- 还能调节植物体内淀粉酶活性和天冬酰胺合成酶活性^[25-26]。在根际营养液中添加 5~10 mmol/L 低浓度 NaCl 促进了苜蓿^[27]以及菠菜^[28]叶片可溶性蛋白质含量的增加;另外 60 mmol/L NaCl 下樱桃萝卜的肉质根可溶性糖含量明显增加^[12]。本试验中发现,不仅叶施 12 mmol/L NaCl 处理下肉质根的可溶性糖、淀粉、游离氨基酸、可溶性蛋白质含量呈现出明显的增加效应,而且根施 12 mmol/L NaCl 处理下肉质根中各营养物质含量也有增加效果。这反映出叶施、根施低浓度 NaCl 通过积累较多的碳水化合物来提高樱桃萝卜植株的健壮生长,增强氮代谢途径的碳骨架,促进植株及肉质根中氨基酸、蛋白质的合成,不仅有利于樱桃萝卜肉质根营养物质的累积,而且进一步提高了樱桃萝卜产品器官的营养品质。

综上所述,无论是叶施还是根施适宜低浓度 NaCl 均具有促进樱桃萝卜生长及物质累积的效应。根施尤其是叶施 12 mmol/L NaCl 不仅增加了叶面积,而且提高了肉质根的形态生长及物质累积,其肉质根的可溶性糖、淀粉、游离氨基酸、可溶性蛋白质含量呈现出大量累积的特征。另外,叶施、根施 12~18 mmol/L NaCl 具有促进干物质从叶片向肉质根转移分配的效应。

参考文献:

- [1] 谢龙. 不同水肥量对樱桃萝卜种子萌发和生长发育的影响研究[D]. 长春:吉林大学,2018:13-14.
- [2] 毕高嵩,许明,张欣,等. 樱桃萝卜核质互作雄性不育系细胞学形态观察[J]. 江苏农业科学,2010,38(3):177-179.
- [3] 吴斌,蒋秋枫,顾婷婷,等. 高温胁迫下不同耐热性萝卜幼苗生理响应分析[J]. 中国蔬菜,2010(10):25-28.
- [4] 查凌雁,刘文科. 不同光强下红蓝光配比对樱桃萝卜生长与产量的影响[J]. 中国农业气象,2018,39(3):162-167.
- [5] 陈冰星,王晓倩,刘涛,等. 不同光质光周期对樱桃萝卜生长发育及营养品质的影响[J]. 西北植物学报,2020,40(1):77-86.
- [6] 高昆,耿睿曼. 动物粪肥对樱桃萝卜生长状况及光合特性的影响[J]. 山西农业科学,2020,48(5):751-755.
- [7] 杨婧,钟慧,潘欢,等. 富磷型猪粪基生物炭肥对土壤-萝卜系统的影响[J]. 生态与农村环境学报,2020,36(9):1169-1176.
- [8] 鲁少尉,齐飞,李天来. NaCl 、单 Na^+ 、 Cl^- 盐胁迫对番茄叶片光合特性及蔗糖代谢的影响[J]. 河南农业科学,2012,41(3):107-112.
- [9] Rogers M E, Noble C L, Pederick R J. Identifying suitable temperate forage legume species for saline areas[J]. Australian Journal of Experimental Agriculture, 1997,37(6):639.
- [10] 季延海,于平彬,武占会,等. 低浓度 NaCl 对水培韭菜生长、产量及品质的影响[J]. 中国生态农业学报,2015,23(5):628-633.
- [11] 廖建良,何坤锡,郭友明. 营养液中添加低浓度氯化钠对大白菜生长的影响[J]. 北方园艺,2018(16):70-75.
- [12] 姚岭柏,韩海霞. 盐胁迫对樱桃萝卜生长及生理生化指标的影响[J]. 北方园艺,2016(13):5-8.
- [13] 李媛媛,闫庆燕,潘友恩. NaCl 处理对萝卜芽苗菜生长和异硫氰酸盐含量的影响[J]. 上海交通大学学报(农业科学版),2018,36(6):21-25.
- [14] 孟闯,薛占军,杨继龙,等. 设施调温模式下叶施低浓度 NaCl 对黄瓜幼苗生长和生理指标的影响[J]. 应用生态学报,2021,32(1):222-230.
- [15] 李玲. 植物生理学模块实验指导[M]. 北京:科学出版社,2009:54-55.
- [16] 努尔凯尔·木拉提,杨亚杰,帕尔哈提·阿布都克日木,等. 小麦叶绿素含量测定方法比较[J]. 江苏农业科学,2021,49(9):156-159.
- [17] 张雄. 用“TTC”法(红四氮唑)测定小麦根和花粉的活力及

侯江涛,杨雅兰,赵莹菲,等. 海藻精对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗抗性生理的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(13):165-170.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.13.027

海藻精对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗抗性生理的影响

侯江涛,杨雅兰,赵莹菲,王诗赞,张志芳

(商丘学院风景园林学院,河南商丘 476000)

摘要:以黄瓜幼苗为研究对象,通过测定幼苗生长特性、叶片色素含量、光合特性、渗透调节物质、抗氧化酶活性及丙二醛(MDA)含量,研究不同浓度海藻精叶面喷施对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗抗性生理的影响。结果表明,200 mmol/L NaCl 处理使黄瓜幼苗的正常生长受到显著抑制,而叶面喷施海藻精能有效缓解盐胁迫对黄瓜幼苗造成的不利影响,其中以 2 000 倍稀释液喷施效果最佳。叶面喷施海藻精后黄瓜幼苗叶片中过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性均出现不同程度的提高;可溶性糖、可溶性蛋白和脯氨酸含量增加,MDA 含量降低;叶片色素含量、净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)及气孔导度(G_s)增加,胞间 CO_2 浓度(C_i)降低。因此推测通过叶面喷施海藻精溶液可能使盐胁迫下植株体内渗透调节物质含量增加,从而加强植物渗透调节能力;使叶片中抗氧化酶活性增强,MDA 含量下降,以减少盐胁迫对膜的损伤程度;此外,叶片色素含量的升高有效增强了植物的光合特性,在这些因素的综合作用下提高了黄瓜幼苗的耐盐能力。

关键词:黄瓜;盐胁迫;海藻精;抗性生理;光合特性;抗氧化酶活性

中图分类号:S642.201 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)13-0165-06

土壤盐渍化问题已成为当前农业发展面临的主要问题之一。据不完全统计,我国各类盐碱地面积总计 9 913.3 万 hm^2 ^[1]。幼苗是植物产量形成的关键时期,也是对外界胁迫最敏感的阶段。在盐胁迫条件下, Na^+ 、 Cl^- 等一些离子会对植物产生毒害

作用,破坏酶和细胞的结构,导致光合强度下降,抗氧化酶活性降低^[2],同时由于土壤中过量的盐离子,使植物难以吸水,地上部分生长缓慢,叶片枯黄^[3]。因此,如何缓解盐胁迫对植物造成的危害,在实践上具有重要意义。海藻精是一种以天然海藻为主要原料的新型植物生长调节剂,因其对植物无毒无残留且对环境无污染,在蔬菜^[4]、水果^[5]等植物中被广泛利用。许多研究表明,海藻精可有效缓解干旱^[6]、水分胁迫^[7]和病菌侵染^[8]等对植物造

收稿日期:2022-01-18

基金项目:河南省科技攻关项目(编号:122102110178)。

作者简介:侯江涛(1980—),女,河南新乡人,硕士,副教授,从事园艺植物栽培及应用。E-mail:250647155@qq.com。

其应用[J]. 植物生理学通讯,1982,18(3):48-50,56.

[18] 王国霞,张宁,杨玉珍,等. 盐胁迫对红心萝卜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 西北农业学报,2016,25(5):744-749.

[19] 印莉萍,黄勤妮,吴平. 植物营养分子生物学及信号转导[M]. 2版. 北京:科学出版社,2006:310-352.

[20] Warne P, Guy R D, Rollins L, et al. The effects of sodium sulphate and sodium chloride on growth, morphology, photosynthesis, and water use efficiency of *Chenopodium rubrum* [J]. Canadian Journal of Botany, 1990, 68(5):999-1006.

[21] Franco-Navarro J D, Brumós J, Rosales M A, et al. Chloride regulates leaf cell size and water relations in tobacco plants [J]. Journal of Experimental Botany, 2015, 67(3):873-891.

[22] Ge T D, Sui F G, Bai L P, et al. Effects of water stress on growth, biomass partitioning, and water-use efficiency in summer maize (*Zea mays* L.) throughout the growth cycle [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2012, 34(3):1043-1053.

[23] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2002:108-109.

[24] Guo J R, Du M, Lu C X, et al. NaCl improves reproduction by enhancing starch accumulation in the ovules of the euhalophyte *Suaeda salsa* [J]. BMC Plant Biology, 2020, 20:262.

[25] Broadley M, Brown P, Çakmak I, et al. Function of nutrients: micronutrients [M] // Marschner P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd ed. Pittsburgh: Academic Press, 2012:197-248.

[26] Rognes S E. Anion regulation of lupin asparagine synthetase: chloride activation of the glutamine-utilizing reactions [J]. Phytochemistry, 1980, 19(11):2287-2293.

[27] 王宝增,姚冬琳,王桂香. 低浓度 NaCl 对莧菜生长的影响[J]. 北方园艺, 2010(20):64-66.

[28] 周峰,张边江,华春,等. 氯化胆碱对低盐处理下菠菜光合生理和抗氧化酶的效应[J]. 华北农学报, 2012, 27(1):164-167.