

# 氯对西瓜幼苗生长的影响及毒害阈值

马 瑞<sup>1</sup>, 王西娜<sup>1</sup>, 谭军利<sup>2</sup>, 柳 雪<sup>1</sup>, 王湘银<sup>1</sup>

(1. 宁夏大学农学院 银川 750021; 2. 宁夏大学土木与水利工程学院 银川 750021)

**摘要:** 为明确氯对西瓜植株生长的影响及其毒害阈值, 并为安全利用含氯微咸水和含氯肥料提供理论依据, 以金城 5 号西瓜为供试材料, 进行无土栽培试验, 在 0、20、40、60、80、100 mmol·L<sup>-1</sup> Cl<sup>-</sup> 溶液处理下, 观测西瓜植株生长指标、叶绿素相对含量、相对生物量及 Cl<sup>-</sup> 含量的差异。结果表明, 与对照相比, 西瓜的主蔓长、茎粗、叶片数均随着 Cl<sup>-</sup> 水平的增加呈降低趋势。在生长后期, 100 mmol·L<sup>-1</sup> Cl<sup>-</sup> 处理的西瓜主蔓长、茎粗及叶片叶绿素相对含量均显著降低。西瓜的相对生物量随着生长天数的增加也有所降低, 受氯的毒害程度较大。由于第一批施氯方式为直接进行各浓度 Cl<sup>-</sup> 溶液的处理, 第二批则是由低浓度至高浓度依次进行 Cl<sup>-</sup> 溶液的处理(达到缓苗的效果), 因此第一批西瓜植株较第二批对不同 Cl<sup>-</sup> 浓度处理表现的更加敏感。第一批西瓜植株在 100 mmol·L<sup>-1</sup> Cl<sup>-</sup> 处理下较其他处理及第二批西瓜植株更早出现枯萎死亡现象。相关性分析结果表明, 植株中所含 Cl<sup>-</sup> 含量与西瓜茎粗、叶绿素相对含量、叶片数、生物量呈负相关关系。因此, 适当的 Cl<sup>-</sup> (0~40 mmol·L<sup>-1</sup>) 对西瓜植株生长发育有促进作用, 当外源 Cl<sup>-</sup> 浓度超过 85.34 mmol·L<sup>-1</sup>、西瓜植株 Cl<sup>-</sup> 浓度为 121.12 mmol·L<sup>-1</sup> 时, 西瓜幼苗的生长发育受到抑制并产生毒害现象。

**关键词:** 西瓜; 氯离子; 生长动态; 毒害阈值

中图分类号: S651

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2022)09-031-07

## Effect of chlorine on the growth of watermelon seedlings and the threshold of toxicity

MA Rui<sup>1</sup>, WANG Xina<sup>1</sup>, TAN Junli<sup>2</sup>, LIU Xue<sup>1</sup>, WANG Xiangyin<sup>1</sup>

(1. School of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia, China; 2. School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

**Abstract:** To explore the effect of chlorine on the growth of watermelon plants and the toxicity threshold, so as to provide a theoretical basis for the safe use of chlorine containing brackish water and chlorine containing fertilizer. Soilless cultivation experiments were conducted with watermelon Jincheng No. 5 cultivar as the test material, and the differences of watermelon growth index, SPAD value, biomass and Cl<sup>-</sup> content were analyzed under 0, 20, 40, 60, 80 and 100 mmol·L<sup>-1</sup> Cl<sup>-</sup> content. The results showed that the main vine length, stem thickness and leaf number of watermelon tended to decrease with the increase of Cl<sup>-</sup> concentration compared with the control. At the late growth stage, the growth of main vine length, stem thickness, and SPAD value for 100 mmol·L<sup>-1</sup> Cl<sup>-</sup> treatment were all significantly reduced. The relative biomass of watermelon decreased with growing days and Cl<sup>-</sup> concentration. The first batch of chlorine application method is to directly carry out the treatment of each Cl<sup>-</sup> concentration, and the second batch is to carry out the treatment of Cl<sup>-</sup> concentration in sequence from low concentration to high concentration (to achieve the effect of slowing the seedlings). The first plot of watermelon plants was more sensitive to different Cl<sup>-</sup> concentrations than the second one. The first plot of watermelon plants withered and died earlier than other treatments and that in the second one under 100 mmol·L<sup>-1</sup> chlorine treatment. The results of correlation analysis showed that the content of chloride ion in plants was negatively correlated with stem thickness, SPAD value, leaf number and biomass of watermelon. Therefore, appropriate chlorine (0~40 mmol·L<sup>-1</sup>) can promote the growth and development of watermelon plants. When the exogenous chlorine concentration exceeds 85.34 mmol·L<sup>-1</sup> and the chlorine concentration of watermelon plants is 121.12 mmol·L<sup>-1</sup>, the growth and development of watermelon seedlings are inhibited and toxic phenomenon occurs.

**Key words:** Watermelon; Chloride ion; Growth dynamics; Toxic threshold

收稿日期: 2022-02-17; 修回日期: 2022-06-26

基金项目: 国家自然科学基金(31860590, 31460546); 宁夏自然科学基金(2020AAC03090); 宁夏高等学校一流学科建设(水利工程)项目(NXYLXK2021A03)

作者简介: 马 瑞, 女, 在读硕士研究生, 研究方向为农业资源高效利用。E-mail: nxdxmr0306@163.com

通信作者: 王西娜, 女, 副教授, 研究方向为植物营养高效利用与调控。E-mail: eunicexina-w@163.com

氯(Cl)作为植株必需的微量元素,在植物生长过程中必不可少。作物主要从土壤、雨水、灌溉水、大气等中获得氯离子( $\text{Cl}^-$ ),而土壤中Cl元素主要来自于肥料、雨水、海水、工业(尤其是核工业)垃圾及含氯地下水等<sup>[1]</sup>。灌溉的盐水中的 $\text{Cl}^-$ 浓度介于 $2\sim 30\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间<sup>[2]</sup>,在土壤中很容易变化,其含量与降水量、地势及是否盐渍化有密切关系。在我国,含氯化物地下水主要分布在北部及西北部的干旱地区,从半干旱、半湿润到湿润地区,地下水矿化度呈降低的趋势<sup>[1,3]</sup>。压砂西瓜是宁夏中部干旱带的主要农业产业之一,由于干旱缺水,近年来农民普遍利用地下微咸水进行补灌,有效缓解了西瓜栽培缺水的现状。然而,长期的微咸水灌溉导致土壤中 $\text{Cl}^-$ 含量不断增加<sup>[4]</sup>。因此,明确氯元素对西瓜幼苗生长的影响及其毒害阈值对西瓜的安全生长至关重要。

植物在生长过程中对氯的需求量很少,其体内含氯量在0.1%即可满足生长需求<sup>[5]</sup>。胡小婉等<sup>[5]</sup>发现,适量施氯可促进植株的光合作用及生长。郑青松等<sup>[6]</sup>研究发现,适量浓度的外源氯可以促进植株生物量的积累,并显著降低叶片中硝酸盐的含量,提高了氮元素的利用效率。可见,适量的氯元素对不同植株的生长有一定程度的促进作用,而过量的氯元素则会抑制植株生长发育<sup>[5,7-9]</sup>。研究表明,氯含量过多导致植株体内代谢受阻,激素发生分解,细胞停止生长<sup>[10-12]</sup>。对氯元素越敏感的作物,其耐氯力往往越低。植物的耐氯性由根系吸收 $\text{Cl}^-$ 的区域化分配和抑制氯离子运输能力的高低决定,耐氯作物能够抑制氯离子从根部向地上部运输及分配,而敏感作物则将氯离子迅速转移到叶片中<sup>[13]</sup>。当植株中的氯含量超过其耐氯临界值时,会出现毒害症状,主要表现为生长减缓、植株矮小、叶尖和叶缘呈灼烧状,发生早熟性叶片发黄和叶片脱落现象,作物生长明显受阻等<sup>[14]</sup>。

西瓜作为忌氯作物,对氯较为敏感,掌握氯离子对西瓜植株生长的影响及其毒害阈值具有重要意义。笔者通过2次无土栽培试验,研究不同 $\text{Cl}^-$ 浓度对西瓜幼苗生长发育的影响,分析西瓜生长对不同 $\text{Cl}^-$ 浓度的敏感程度,初步确定西瓜生长受抑制时的外源氯浓度范围,为宁夏压砂地西瓜安全利用地下微咸水及含氯肥料提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 设计

试验于宁夏大学温室进行,采用霍格兰营养液进行无土栽培试验,供试材料砧木为金城雪峰白籽南瓜,接穗西瓜品种为金城5号,由中卫市金城种业有限责任公司提供,基质为蛭石。根据通用的霍格兰营养液配方<sup>[15]</sup>,设置6个 $\text{Cl}^-$ 浓度水平(以 $\text{CaCl}_2$ 为氯源):不施 $\text{Cl}^-$ (CK);施 $20\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Cl}^-$ (T1);施 $40\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Cl}^-$ (T2);施 $60\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Cl}^-$ (T3);施 $80\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Cl}^-$ (T4);施 $100\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{Cl}^-$ (T5),施入的营养液总量为3510 mL。用白瓷盆(直径11 cm、高度18.5 cm)进行移栽,每盆2株,每处理10次重复,每次选取2盆进行测定。

施 $\text{Cl}^-$ 前根据每盆的基质质量和所要达到的含水量计算每盆用量,待植株缓苗后施加。根据霍格兰营养液配方,配置不同浓度处理的 $\text{Cl}^-$ 溶液。第1批试验于2019年5月15日开始至6月20日结束,在西瓜植株缓苗后,开始按不同 $\text{Cl}^-$ 浓度的营养液直接全部加入;第2批试验于8月7日开始至9月11日结束,根据第1批试验的结果,将第2批调整为在缓苗后的第一天开始,先从最低 $\text{Cl}^-$ 水平依次逐天增加 $\text{Cl}^-$ 浓度加入营养液。根据温度、光照等条件调整施入营养液的量。每隔7 d采样测量西瓜的茎粗、主蔓长、叶片数以及叶绿素、生物量相对含量等。

### 1.2 测定方法

在 $\text{Cl}^-$ 处理后7、14、21、28 d分别对每个处理选取3株进行生长指标的测定,并对每个处理采取4株进行生物量、 $\text{Cl}^-$ 含量的测定,具体测定方法如下:

1.2.1 西瓜植株生长指标的测定 用钢卷尺测量主蔓长(西瓜植株叶柄基部到主叶柄交汇顶端的长度);用游标卡尺测量主蔓茎粗(西瓜主茎基部);叶片数为主茎基部到各个分枝的总叶片数;用叶绿素测定仪测定西瓜基部第1片展开叶的叶绿素相对含量。

1.2.2 西瓜植株生物量的测定 每个处理取4株,用电子天平称量鲜质量,于 $105\text{ }^\circ\text{C}$ 杀青30 min,于 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 烘至恒质量,称量干质量,用差减法计算植株干物质含量和水分含量。烘干的植物样品研磨成粉末备用。

1.2.3 西瓜植株氯离子含量的测定 取整株西瓜植株的生物量称质量后,再分别取其根、茎、叶称质量,将各器官烘干样进行粉碎,采用硝酸银滴定法测定西瓜植株中的 $\text{Cl}^-$ 含量。

1.2.4 计算公式 相对生物量/%=各浓度 $\text{Cl}^-$ 处理的生物量/对照的生物量 $\times 100$ 。

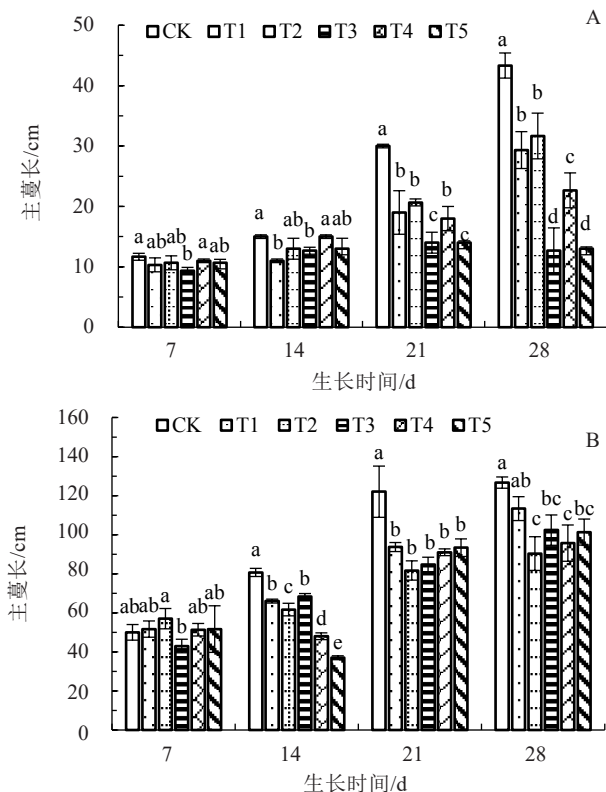
### 1.3 数据处理与分析

使用 Excel 2010 软件进行数据整理,用 SPSS 25 软件进行统计和差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 氯胁迫对西瓜主蔓长的影响

随着 Cl 浓度的增加,西瓜植株主蔓长总体呈下降趋势。由图 1-A 可知,Cl 处理 7 d,T3 处理的西瓜主蔓长显著低于 CK,较 CK 降低了 20.05%。Cl 处理 14 d 时,T1、T3 处理显著低于 CK,分别较 CK 降低了 26.67%、15.53%。Cl 处理 21 d 和 28 d 时,随着 Cl 浓度的增加西瓜主蔓长呈降低的趋势,T5 处理分别比 CK 降低了 53.33%和 70.00%。由图 1-B 可知,西瓜植株 Cl 处理 14 d 时,各处理甜瓜主蔓长均显著降低,T4、T5 处理分别较 CK 降低了 40.50%、54.13%。Cl 处理 21 d 时,T1~T5 处理的西瓜植株主蔓长均显著低于 CK,但 T1~T5 处理间差异不显著。Cl 处理 28 d,随着 Cl 浓度的增加,T4、T5 处理分别较 CK 显著降低 24.47%、20.00%。结果表明,高浓度的 Cl 会抑制西瓜主蔓的伸长。

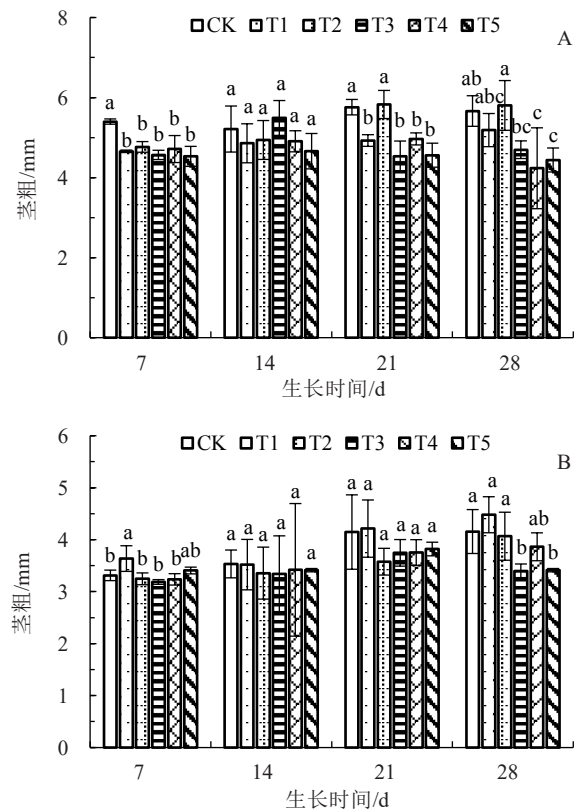


注: A. 第 1 批试验结果; B. 第 2 批试验结果。不同小写字母表示同一生长期不同处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

图 1 不同浓度氯胁迫处理对西瓜主蔓长的影响

### 2.2 氯胁迫对西瓜茎粗的影响

由图 2-A 可看出,西瓜植株 Cl 处理 7 d,各处理茎粗均显著低于对照,分别较 CK 降低了 13.70%、11.67%、15.37%、12.78%、16.11%。Cl 处理 21 d 时,T3、T4、T5 处理均显著低于 CK,较 CK 分别降低了 21.35%、13.71%、20.83%。Cl 处理 28 d,T3、T4、T5 处理显著低于 CK,分别较 CK 降低了 16.96%、25.27%、21.55%。由图 2-B 可看出,西瓜植株在氯处理 7 d 时,T1 处理的茎粗显著高于 CK,较 CK 增加了 9.97%。Cl 处理 28 d,随着 Cl 浓度增加,T3、T5 处理显著低于 CK,且分别降低了 18.27%、18.03%。结果表明,低浓度的外源氯对西瓜植株茎粗无明显的抑制作用,但高浓度的 Cl 会抑制西瓜茎的增粗。

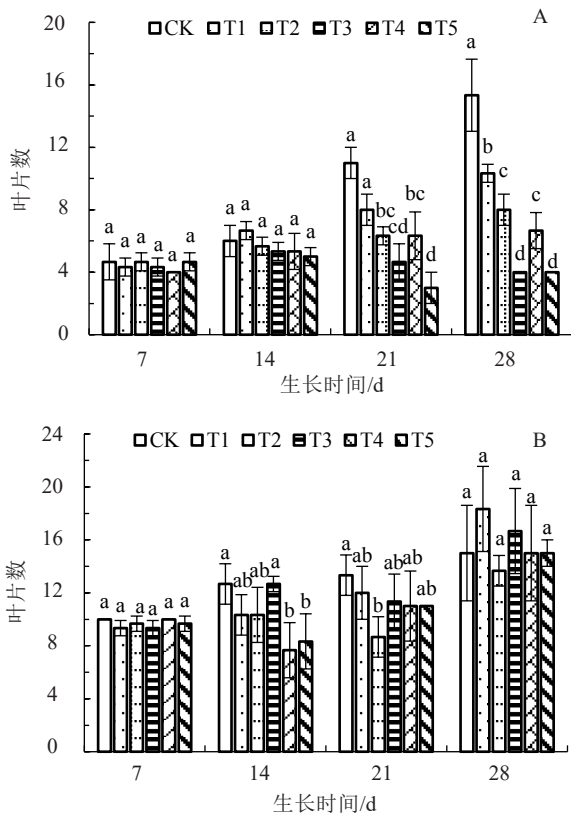


注: A. 第 1 批试验; B. 第 2 批试验。

图 2 不同浓度氯胁迫处理对西瓜茎粗的影响

### 2.3 氯胁迫对西瓜叶片数的影响

由图 3-A 可知,氯处理 7~14 d,各处理西瓜的叶片数无显著差异。氯处理 21 d 时,西瓜叶片数随 Cl 浓度的增加呈下降的趋势,T2、T3、T4、T5 处理均显著低于 CK,分别降低了 42.45%、57.55%、42.45%、72.73%。Cl 处理 28 d 时,各处理叶片数显著低于对照,T3、T4、T5 处理分别较 CK 降低了



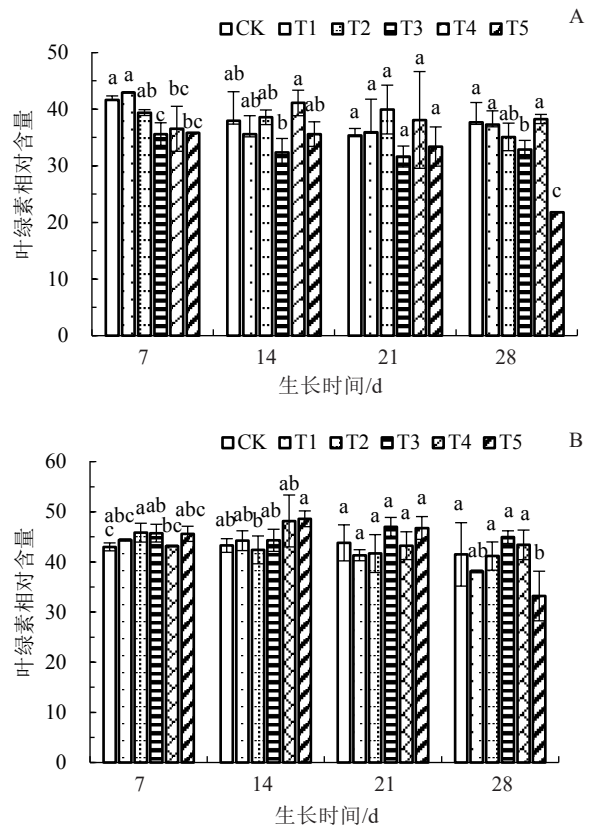
注: A. 第 1 批试验; B. 第 2 批试验。

图 3 不同浓度氯胁迫处理对西瓜叶片数的影响

73.91%、56.49%、73.91%。由图 3-B 可以看出,氯处理 14 d 时, T4、T5 处理显著低于 CK, 分别降低了 39.46%、34.25%。CI 处理 21 d, T2 处理显著低于 CK, 较 CK 降低了 34.96%。由此可知, 第 1 批试验西瓜植株在外源 CI 处理 21~28 d, 随着外源 CI 浓度的增加, 生长受到明显抑制, 且随着施加时间的延长抑制作用愈加显著, T5 处理甚至出现枯萎死亡的现象; 第 2 批试验西瓜植株在外源 CI 处理 14~21 d 时对 CI 较敏感, 随着外源 CI 浓度的增加生长受到抑制。

#### 2.4 氯胁迫对西瓜叶绿素相对含量的影响

由图 4-A 可知, 在 CI 处理 7 d 时, T3、T4、T5 处理的西瓜叶片叶绿素相对含量与 CK 相比有显著差异, 较 CK 分别降低了 14.48%、12.25%、14.00%。CI 处理 28 d, T3、T5 处理的叶绿素相对含量分别较 CK 降低了 12.81%、42.18%。由图 4-B 可知, CI 处理 7 d, T2、T3 处理与 CK 相比差异显著, 较 CK 分别升高了 6.58%、6.35%。CI 处理 28 d, T5 处理与 CK 相比差异显著, 较 CK 降低 20.00%。结果表明, 随着 CI 的增加, 西瓜植株叶绿素相对含量呈先升高后降低的趋势, 高浓度 CI (100 mmol·L<sup>-1</sup>) 显著抑制



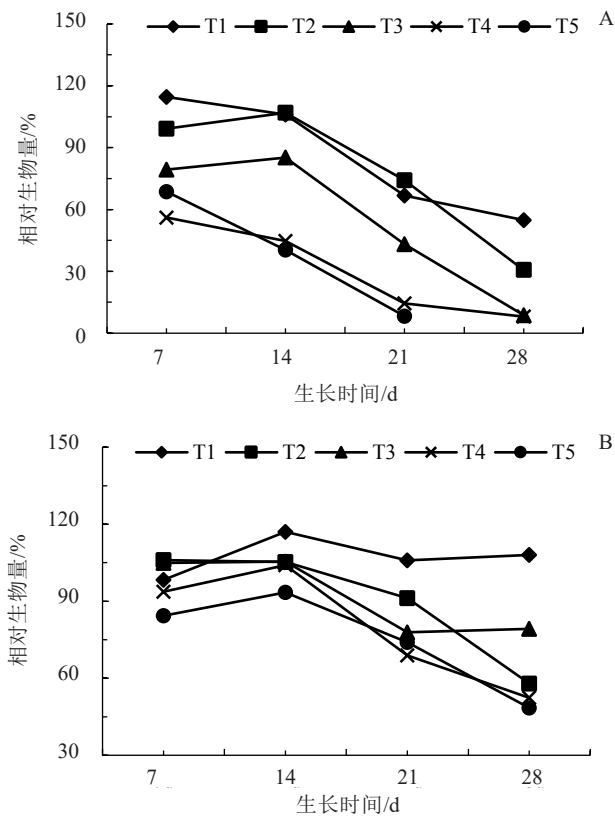
注: A. 第 1 批试验; B. 第 2 批试验。

图 4 不同浓度氯胁迫处理对西瓜叶绿素相对含量的影响

叶片叶绿素的合成。

#### 2.5 氯胁迫对西瓜相对生物量的影响

随着 CI 浓度和培养时间的增加, 西瓜的相对生物量呈降低趋势(图 5)。由图 5-A 可知, 各处理西瓜相对生物量随着生长天数的增加呈下降趋势。CI 处理 7~14 d 时, T2、T3 处理的相对生物量升高, CI 处理 14 d 时, 其相对生物量分别达到 106.91%、85.19%, 此时 T4、T5 处理的相对生物量最低, 分别为 44.79%、40.44%。在 CI 处理 14~21 d 时, 各处理的相对生物量均呈下降趋势。CI 处理 21 d 时, 各处理相对生物量表现为 T2>T1>T3>T4>T5, 相对生物量分别为 74.29%、66.84%、43.17%、14.52%、8.27%。CI 处理 21~28 d 时, T5 处理的西瓜植株受 CI 毒害死亡, 此时各处理相对生物量表现为 T1>T2>T3>T4。由图 5-B 可知, 随着生长天数的增加, T1 处理的相对生物量有所增加, T2 至 T5 处理的西瓜相对生物量总体呈降低趋势。CI 处理 7~14 d 时, T1、T4、T5 处理的西瓜相对生物量有上升的趋势。CI 处理 14~21 d 时, 各处理均有不同程度的降低, 至 21 d 时, 其相对生物量表现为 T1>T2>T3>T5>T4。CI 处理 21~28 d 时, T1、T3 处理相对稳



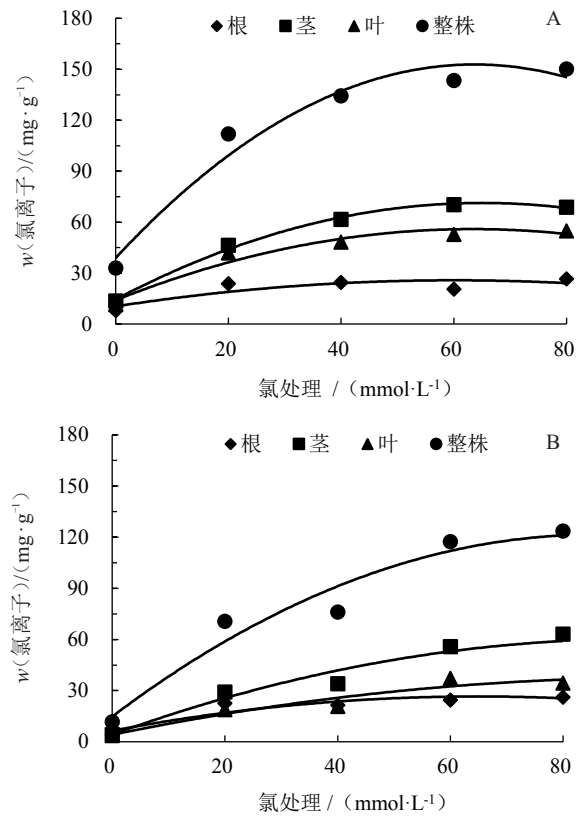
注: A. 第 1 批试验; B. 第 2 批试验。

图 5 不同浓度氯胁迫处理对西瓜相对生物量的影响

定, T2、T4、T5 处理相对生物量仍在降低, 至 28 d 时, 其相对生物量分别为 57.96%、52.37%、48.45%。可见, 随着 Cl<sup>-</sup>浓度的增加, 西瓜植株的相对生物量受毒害程度增大, 施 100 mmol·L<sup>-1</sup>Cl<sup>-</sup>较其他处理更早出现毒害症状, 导致西瓜枯萎和死亡。

### 2.6 氯胁迫对西瓜植株体内氯离子含量分布的影响

由图 6 和表 1 可知随着 Cl<sup>-</sup>浓度的增加, 西瓜植株体内 Cl<sup>-</sup>含量不断增加, 且主要分布在地上部。其中, 茎部 Cl<sup>-</sup>分布最多, 其次是叶和根。第 1 批西瓜植株在 Cl<sup>-</sup>浓度为 100 mmol·L<sup>-1</sup>时死亡, 且 Cl<sup>-</sup>含量



注: A. 第 1 批试验; B. 第 2 批试验。

图 6 不同浓度氯胁迫处理西瓜氯离子含量的分布状况

呈茎>叶>根。80 mmol·L<sup>-1</sup>Cl<sup>-</sup>处理下的茎部 Cl<sup>-</sup>含量(w, 后同)较不施 Cl<sup>-</sup>增加了 55.35 mg·g<sup>-1</sup>, 叶部 Cl<sup>-</sup>含量较不施 Cl<sup>-</sup>处理增加了 43.24 mg·g<sup>-1</sup>, 根部 Cl<sup>-</sup>含量较不施 Cl<sup>-</sup>处理增加了 18.71 mg·g<sup>-1</sup>。茎、叶部 Cl<sup>-</sup>含量与不同浓度 Cl<sup>-</sup>处理呈极显著相关, 与根部呈显著相关。第 2 批西瓜植株仍然是西瓜茎部 Cl<sup>-</sup>含量最高, 其次是叶部, 根部 Cl<sup>-</sup>含量最低。100 mmol·L<sup>-1</sup>Cl<sup>-</sup>处理的西瓜茎、叶、根部 Cl<sup>-</sup>含量较不施 Cl<sup>-</sup>处理分别增加了 53.56 mg·g<sup>-1</sup>、34.41 mg·g<sup>-1</sup>、17.17 mg·g<sup>-1</sup>。西瓜 Cl<sup>-</sup>含量与不同浓度 Cl<sup>-</sup>处理呈极显著相关。可见, 西瓜体内 Cl<sup>-</sup>含量受 Cl<sup>-</sup>浓度影

表 1 西瓜植株体内氯离子含量的回归分析

批次	部位	回归方程	相关系数	外源氯临界浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )	植株氯临界值/(mg·g <sup>-1</sup> )
第 1 批	根	$y = -0.0043x^2 + 0.5116x + 10.3700$	0.8437*	59.49	25.80
	茎	$y = -0.0134x^2 + 1.7462x + 14.4700$	0.9980**	65.16	71.36
	叶	$y = -0.0105x^2 + 1.3236x + 13.9940$	0.9788**	63.03	56.06
	整株	$y = -0.0281x^2 + 3.5813x + 38.8340$	0.9831**	63.72	152.94
第 2 批	根	$y = -0.0048x^2 + 0.6203x + 6.4604$	0.9246**	64.61	26.50
	茎	$y = -0.0064x^2 + 1.1948x + 4.2032$	0.9792**	93.34	59.97
	叶	$y = -0.0034x^2 + 0.6770x + 4.1200$	0.9666**	99.56	37.82
	整株	$y = -0.0146x^2 + 2.4920x + 14.7840$	0.9772**	85.34	121.12

注: \*表示在 0.05 水平差异显著, \*\*表示在 0.01 水平差异极显著。下同。

响较大,第2批西瓜幼苗较第1批幼苗耐氯性更强,整体Cl<sup>-</sup>含量低于第1批。两批西瓜植株中Cl<sup>-</sup>含量表现为茎>叶>根,当Cl<sup>-</sup>浓度在63.72~85.34 mmol·L<sup>-1</sup>时,植株体内的Cl<sup>-</sup>含量最大,超过这一范围西瓜体内Cl<sup>-</sup>含量呈降低趋势。

### 2.7 西瓜氯离子含量与生长指标的相关性分析

西瓜整株Cl<sup>-</sup>含量与各生长指标呈负相关关系(表2~表3)。第1批试验中,西瓜植株的Cl<sup>-</sup>含量与相对生物量呈极显著负相关,与叶片数呈显著负相关,与主蔓长、茎粗、叶绿素相对含量均呈负相关(-0.97~-0.59)。第2批试验时,西瓜植株Cl<sup>-</sup>含量与茎粗、叶绿素相对含量、叶片数、相对生物量呈负相关,其中,Cl<sup>-</sup>含量与西瓜茎粗、叶片数呈显著负相关,与叶绿素相对含量呈极显著负相关。西瓜Cl<sup>-</sup>累积含量与茎粗、叶绿素相对含量、叶片数、相对生物量也呈负相关(-0.86~-0.19)。结果表明,过多Cl<sup>-</sup>会抑制西瓜幼苗的生长发育。

表2 西瓜氯离子含量与生长指标的相关性分析(第1批)

性状	主蔓长	茎粗	叶绿素相对含量	叶片数	相对生物量	氯离子含量	氯离子累积量
蔓长	1						
茎粗	0.81	1					
叶绿素相对含量	0.38	0.82	1				
叶片数	0.80	0.96**	0.71	1			
相对生物量	0.60	0.88*	0.70	0.96**	1		
氯离子含量	-0.61	-0.83	-0.59	-0.94*	-0.97**	1	
氯离子累积量	-0.09	0.29	0.62	0.13	0.19	0.04	1

表3 西瓜氯离子含量与生长指标的相关性分析(第2批)

性状	主蔓长	茎粗	叶绿素相对含量	叶片数	相对生物量	氯离子含量	氯离子累积量
蔓长	1						
茎粗	-0.16	1					
叶绿素相对含量	-0.35	0.95**	1				
叶片数	-0.03	0.79	0.78	1			
相对生物量	0.05	0.63	0.57	0.91*	1		
氯离子含量	0.18	-0.90*	-0.94**	-0.87*	-0.75	1	
氯离子累积量	0.35	-0.78	-0.86*	-0.42	-0.19	0.78	1

## 3 讨论

不同品种及生长环境的植株对氯的响应不同。郑青松等<sup>[14]</sup>研究表明,施用外源氯25~50 mmol·L<sup>-1</sup>可显著促进番茄生长和干物质积累,200~300 mmol·L<sup>-1</sup>时幼苗干物质积累速率显著下降。胡小婉等<sup>[15]</sup>研究也表明,低氯(25~100 mmol·L<sup>-1</sup>)显著促进油菜幼苗生长,高氯(200 mmol·L<sup>-1</sup>)则抑

制其生长。这表明不同作物对Cl<sup>-</sup>的耐受程度不同,但均表现出适量的Cl<sup>-</sup>有一定促进生长的作用,超过耐氯范围则会产生毒害。曾睿等<sup>[16]</sup>研究表明,在0~112.50 kg·hm<sup>-2</sup>的施氯水平范围内,对烟叶具有增产、增加产值和提高中上等烟叶比例的效应。张兆辉等<sup>[17]</sup>研究表明,一定范围(44.2~84.4 mmol·L<sup>-1</sup>)的外源氯处理,对西瓜幼苗没有产生毒害,而在168.8~295.4 mmol·L<sup>-1</sup>范围内,西瓜幼苗生长明显受阻,外源氯对幼苗的毒害也比较严重,这与笔者的研究结果一致。笔者的研究表明,Cl<sup>-</sup>对西瓜植株幼苗有一定毒害作用,当Cl<sup>-</sup>浓度达到100 mmol·L<sup>-1</sup>时,明显抑制西瓜植株生长。植株对高浓度的外源氯直接施入的耐受能力弱,较外源氯由低浓度向高浓度逐渐施入表现得更加敏感。

Cl<sup>-</sup>浓度过高不利于叶绿素的合成和积累<sup>[17]</sup>,叶绿素通过接收传递和转化光能为光合作用提供能量,叶绿素的减少会直接降低光合产量<sup>[18]</sup>。肖丽等<sup>[19]</sup>研究结果表明,较低浓度氯处理(0.1~1.0 mol·L<sup>-1</sup>)对大白菜幼苗叶绿素含量和光合作用没有明显影响,高浓度氯胁迫显著降低了净光合速率、气孔导度和蒸腾速率等。郑青松等<sup>[6]</sup>对向日葵的研究也表明,在100 mmol·L<sup>-1</sup>氯处理下,幼苗叶片叶绿素含量显著下降,氯处理增大到200 mmol·L<sup>-1</sup>,叶片叶绿素含量急剧下降,这可能与Cl<sup>-</sup>对参与光合作用的酶和叶片中水分等影响有关。笔者研究表明,28 d时,100 mmol·L<sup>-1</sup>Cl<sup>-</sup>处理的西瓜叶片叶绿素相对含量明显下降,这进一步证实了Cl<sup>-</sup>会影响植株叶片叶绿素合成,进而影响光合作用的观点。

西瓜相对生物量的变化直接反映了西瓜的毒害程度,随着外源氯浓度和胁迫时间的增加,100 mmol·L<sup>-1</sup>处理的西瓜相对生物量最低,西瓜叶片枯萎并出现死亡症状,说明其对西瓜毒害程度较大,这可能与施氯方式有关,直接施入高浓度Cl<sup>-</sup>使西瓜植株对氯不耐受导致出现毒害症状。西瓜根部吸收Cl<sup>-</sup>向茎叶部运输,茎部氯含量最高,其次是叶部,且西瓜体内Cl<sup>-</sup>含量达到一定程度则不再增加。戚冰洁等<sup>[8]</sup>研究也表明,低浓度(Cl<sup>-</sup>浓度≤84.4 mmol·L<sup>-1</sup>)外源氯处理21 d可以增加苏薯11和宁紫1号幼苗生物量,徐薯22植株鲜质量则随着Cl<sup>-</sup>浓度升高而降低但仍可维持在一定水平,这与笔者的研究结果一致。当Cl<sup>-</sup>累积到一定程度,植株就会发出信号,最典型的症状就是叶片焦枯<sup>[20]</sup>。笔者的研究表明,当外源Cl<sup>-</sup>浓度在63.72~85.34 mmol·L<sup>-1</sup>时,

对西瓜幼苗有抑制作用,各生长指标都出现了不同程度的下降趋势甚至西瓜植株枯萎死亡,此时,植株体内的Cl<sup>-</sup>浓度亦达到最高,为152.94 mmol·L<sup>-1</sup>。通过相关性分析发现,西瓜体内Cl<sup>-</sup>含量与Cl<sup>-</sup>累积量与其生长指标呈显著负相关。可见,高浓度Cl<sup>-</sup>对西瓜植株的生长有抑制作用,Cl<sup>-</sup>含量超过耐氯临界值就会对西瓜产生毒害。

## 4 结 论

适宜浓度的Cl<sup>-</sup>(0~40 mmol·L<sup>-1</sup>)能促进西瓜的生长发育,提高其生物量、叶绿素的合成和积累。而高浓度的Cl<sup>-</sup>则会抑制其生长、降低叶绿素相对含量,严重时甚至使植株枯萎死亡。且在2种施氯方式下,西瓜植株对直接施入Cl<sup>-</sup>与逐次按浓度从低到高施入相比,植株的生长更加敏感。当外源Cl<sup>-</sup>浓度在63.72~85.34 mmol·L<sup>-1</sup>时,植株体内Cl<sup>-</sup>含量达最大。当Cl<sup>-</sup>浓度超过85.34 mmol·L<sup>-1</sup>,西瓜幼苗不再吸收Cl<sup>-</sup>,此时西瓜植株Cl<sup>-</sup>浓度达到121.12 mmol·L<sup>-1</sup>,抑制西瓜生长并对西瓜植株产生毒害。

### 参考文献

- [1] 孙慧敏. 农田土壤氯离子累积与迁移机理[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2004.
- [2] 於丙军, 刘友良. 植物中的氯、氯通道和耐氯性[J]. 植物学通报, 2004, 21(4): 402-410.
- [3] 毛知耘, 周则芳, 石孝均, 等. 植物氯素营养与含氯化肥科学施用[J]. 中国工程科学, 2000, 2(6): 64-66.
- [4] HUANG M, ZHANG Z, SHENG Z, et al. Effect on soil properties and maize growth by alternate irrigation with brackish water[J]. Transactions of the ASABE, 2019, 62(2): 485-493.
- [5] 胡小婉, 刘兆普, 郑青松, 等. 外施氯对油菜幼苗生长和光合特征影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 932-940.
- [6] 郑青松, 杨文杰, 刘兆普, 等. 外源氯处理对向日葵幼苗生长、养分吸收及植株硝态氮含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 27(6): 1161-1165.
- [7] 张兆辉, 汪李平, 王林, 等. 外源氯对西瓜幼苗生长及离子分配的影响[J]. 华中农业大学学报, 2009, 28(3): 316-319.
- [8] 戚冰洁, 曹月阳, 张珮琪, 等. 外源氯对甘薯幼苗生长及养分吸收的影响[J]. 江苏农业学报, 2014, 30(1): 80-86.
- [9] 辜涛, 刘海利, 牛义, 等. 外源氯对花魔芋苗期生长发育及Cl<sup>-</sup>分配的影响[J]. 西南农业学报, 2017, 30(11): 2562-2567.
- [10] 李金凤, 郭鹏程, 王德清. 氯对大豆生长发育及产量和品质的影响[J]. 土壤通报, 1989, 20(2): 80-82.
- [11] 邹邦基. 土壤与植物中的卤族元素(II)氯[J]. 土壤学进展, 1984, 23(6): 1-7.
- [12] 刘春生, 李西双. 氯对植物的营养功效、毒害及含氯化肥的合理施用[J]. 山东农业大学学报, 1996, 27(1): 118-122.
- [13] 於丙军, 罗庆云, 刘友良. NaCl胁迫下野生和栽培大豆幼苗体内离子的再转运[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2003, 29(1): 39-44.
- [14] 郑青松, 杜爽, 刘兆普, 等. 外源氯对番茄幼苗生长及养分吸收、利用的影响[J]. 园艺学报, 2006, 48(4): 849-852.
- [15] 戴必胜, 杨敏, 陈秀虎. 霍格兰溶液培养对水仙生长发育的影响[J]. 武汉植物学研究, 2006, 24(5): 485-488.
- [16] 曾睿, 董文汉, 何忠俊, 等. 不同施氯水平对云南烤烟生长、产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(21): 212-216.
- [17] 辜涛. 外源施氯对魔芋生长发育影响[D]. 重庆: 西南大学, 2017.
- [18] 尹勇刚, 袁军伟, 刘长江, 等. NaCl胁迫对葡萄砧木光合特性与叶绿素荧光参数的影响[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(8): 49-55.
- [19] 肖丽, 高瑞凤, 隋方功. 氯胁迫对大白菜幼苗叶绿素含量及光合作用的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2008(2): 44-47.
- [20] 王德清, 郭鹏程, 董翔云. 氯对作物毒害作用的研究[J]. 土壤通报, 1990, 21(6): 258-261.