

柳雪,李雪芳,王西娜,等. 氯盐种类与浓度对西瓜生长及养分吸收分配的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(24):133-141.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.24.018

氯盐种类与浓度对西瓜生长及养分吸收分配的影响

柳雪¹,李雪芳¹,王西娜¹,郝雯悦¹,霍庆柱¹,谭军利²

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

摘要:采用水培试验,研究不同氯盐种类及浓度对西瓜生长及养分吸收运输的影响,以探索氯盐对西瓜生长抑制的生理机制,为安全利用含氯微咸水和含氯肥料提供理论依据。结果表明:(1)与对照相比,中、高浓度氯处理(80 mmol/L 和 160 mmol/L)的西瓜鲜质量和干物质均降低,中高浓度 NaCl 处理叶绿素含量降低,中浓度 NH₄Cl 处理增加,CaCl₂、KCl 处理叶绿素含量无显著变化,不同浓度外源氯能够促进 N、Cl⁻ 吸收、抑制 P、K 吸收,同时促使 Cl⁻、P、K 向地上部运输,养分吸收运输表现出不连贯性,整株植株氯离子含量显著增加,全氮含量随氯浓度增加大体呈先增后降的趋势,高氯下全磷含量以 CaCl₂ 处理最高,中氯处理的根系全钾含量亦以 CaCl₂ 处理最高,营养元素比例失调,养分吸收利用受阻,抑制了西瓜植株生长;(2)中浓度 CaCl₂ 和中高浓度 KCl 处理对西瓜干物质无明显影响,CaCl₂ 处理较其他氯源能够抑制根系对 Cl⁻ 的吸收,同时也能促进 K⁺ 向地上部运输,且高浓度植株全磷含量比其他氯源处理高;KCl 会促进根系钾离子吸收,且高浓度 KCl 处理 Cl⁻ 运输比最低,NH₄Cl 处理的叶绿素含量与 CaCl₂ 和 KCl 处理间无显著差异,但比 NaCl 处理高,在 NH₄Cl 处理下全氮含量最高。可见,减少根系对氯吸收,促进钾元素吸收运输,使西瓜保持低水平氯离子含量和高浓度 K⁺ 含量,有利于提高西瓜的耐氯性。

关键词:西瓜;叶绿素;Cl⁻;N、P、K 含量;养分吸收;养分运输

中图分类号:S651.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)24-0133-08

氯(Cl)是高等植物生长发育所必需的微量元素之一,生长介质中氯亏缺或过量均会抑制植物生长^[1]。大多数植物可以从降水及灌溉水中获得足够数量的氯,因此不需额外施用氯肥。西瓜是宁夏自治区的主要经济作物之一,由于当地干旱少雨,农民长期采用含氯 30 mmol/L 左右的地下微咸水进行补灌,这在一定年限内有效缓解了干旱缺水的状况,保障了西瓜的生产,但长期灌溉会导致土壤中累积大量氯离子(Cl⁻),进而影响西瓜的生长。因此,阐明氯对西瓜生长抑制的机制对安全利用含氯微咸水具有重要意义。Cl⁻ 通过稳定光系统 II(PS II)的水裂解过程或析氧复合体参与光合作用,并能调节气孔开放、提高氮利用效率^[2-4]。但当 Cl⁻ 在植物中积累过多时则可能变成细胞质中的主

要有毒元素,对植物生长产生不利影响^[5],Cl⁻ 还通过渗透胁迫,造成植物内部水分亏缺,以及 K⁺、NO₃⁻ 等其他离子的不平衡或缺乏来阻碍植物生长^[6-8]。适量的氯会促进根系对养分离子的吸收,增加干物质^[9]及地上部全氮含量,地上和地下部全磷、全钾含量^[10],增加作物生物量,促进作物对氮、钾、磷的吸收^[11]。然而,氯过量则抑制根系对养分的吸收^[12]。在外源氯胁迫下,为维持渗透平衡植物根系会吸收大量的无机氯离子,但高浓度的氯离子会对植株造成离子毒害,影响植物对营养元素的吸收运输及分配^[13]。NaCl 胁迫时会显著抑制黄瓜幼苗的生长,降低叶片叶绿素含量^[14],并显著降低苜蓿和羊角草的钾含量,对全氮、全磷含量无明显影响^[15]。康文钦等通过 NaCl 对小麦和燕麦的胁迫试验发现,随着 NaCl 浓度的增加,植株全氮、全钾含量有所下降,而全磷含量增加^[16]。张科等发现,相对于土壤介质,盐角草根离子吸收倍数为 3.7~129.4,地上部相对于根部的运输倍数为 1.1~2.8^[17]。前人研究大多集中于 NaCl 胁迫下氯离子对作物生长及养分吸收、分配、运输的影响,而不同氯化物所携带的阳离子不同,其对作物生长发育的影响也必

收稿日期:2023-03-13

基金项目:国家自然科学基金(编号:31860590、31460546);宁夏自然科学基金(编号:2022AAC02013)。

作者简介:柳雪(1995—),女,甘肃定西人,硕士研究生,从事农业资源与环境研究。E-mail:2537531809@qq.com。

通信作者:王西娜,博士,副教授,从事植物营养高效利用与调控研究。E-mail:eunicexina-w@163.com。

然不同。本研究通过水培试验,研究了不同氯化物及浓度对西瓜生长及养分吸收分配的影响,探索不同情况下,氯对作物的抑制机制,以期为安全利用含氯微咸水和含氯肥料提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为当地普遍使用的西瓜嫁接苗,砧木为金城雪峰白籽南瓜,接穗西瓜品种为金城 5 号。

1.2 试验设计

盆栽试验于 2021 年 4—6 月在宁夏大学农科实训基地日光温室中进行。选择 CaCl_2 、 NaCl 、 KCl 、 NH_4Cl 等 4 种氯化物,每种氯化物设置无氯(CK, 0 mmol/L)、中氯浓度(80 mmol/L)、高氯浓度(160 mmol/L)3 个浓度水平,共 12 个处理,每个处理重复 6 次,共 72 盆,每盆 3 株。试验盆钵直径为 18 cm,高为 12 cm。栽培基质采用石英砂与蛭石以体积比为 2:1 混合。营养液为霍格兰氏营养液,每隔 2 d 浇灌 1 次,浇灌前用 0.5 mol/L H_2SO_4 调节使 pH 值维持在 6.0~6.5。

为防止高浓度盐刺激,营养液的氯浓度处理采用逐渐递增的方式,即从 20 mmol/L 开始,每次增加 20 mmol/L,每 2 d 增加 1 次,当达到处理浓度时,继续培养 7 d,然后进行第 1 次样品采集,此后每隔 7 d 取样 1 次,共取 5 次。

1.3 测定指标与方法

鲜质量和干物质量测定:将西瓜植株洗净之后,立即吸干外部水分,称鲜质量,然后在 105 °C 杀青 30 min,最后调节到 75 °C 烘干,称干质量;用乙醇提取法^[18]测叶绿素含量;采用莫尔法^[19]测定氯离子含量;植株样品经 $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$ 消煮,用凯氏定氮法测定全氮含量,钼锑抗比色法测定全磷含量,火焰光度计测定全钾含量。

1.4 数据计算与处理

Cl^- 吸收比和运输比的计算^[17]:

吸收比(ARCl^-) = 根 Cl^- / 介质中 Cl^- ; (1)

运输比(TRCl^-) = a 器官(X) / b 器官(X)。 (2)

式中: a 表示地上部; b 表示根系; X 表示离子含量。

利用 Excel 和 DPS 进行数据处理及分析作图。

2 结果与分析

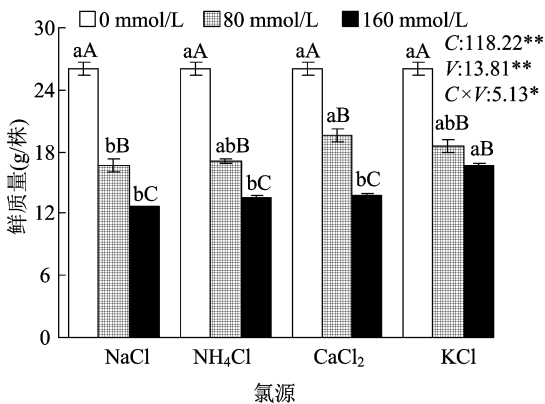
2.1 氯盐种类及浓度对西瓜生物量的影响

植物受到外界胁迫时最直接的生理响应是生

长被抑制、生物量降低。由图 1 可知,氯胁迫会极显著抑制西瓜生长。与对照相比,不同氯处理的鲜质量和干物质量显著降低,且氯化物浓度对生物量影响的交互作用达显著水平($P < 0.05$)。同一氯化物下不同浓度会显著影响西瓜鲜质量和干物质。与无氯对照相比,不同氯化物中浓度和高浓度氯下西瓜鲜质量和干物质均降低,其中 NaCl 处理的鲜质量显著降低 36.08% 和 51.25%,干物质量降低 34.88% 和 62.21%; NH_4Cl 处理的鲜质量、干物质量分别降低 36.08% 和 51.25%、20.16% 和 47.48%; CaCl_2 处理的鲜质量、干质量显著降低 25.07% 和 47.52%、11.24% 和 50.58%; KCl 处理的鲜质量分别降低了 28.75% 和 36.28%,干物质量虽有降低趋势但与对照间差异不显著。同一浓度处理的不同氯化物对西瓜鲜质量和干物质的影响达显著水平,均以 NaCl 处理最低。氯浓度在 80 mmol/L 时,西瓜鲜质量以 CaCl_2 处理最高,与 NH_4Cl 和 KCl 处理无显著差异,比 NaCl 处理显著提高 17.24%;西瓜干物质量以 KCl 处理最高,比 NaCl 处理显著提高 44.35%,与 NH_4Cl 和 CaCl_2 处理均无显著差异;氯浓度在 160 mmol/L 时,西瓜鲜质量与干物质量均以 KCl 处理最高,分别比 NaCl 、 NH_4Cl 、 CaCl_2 处理高 30.70% 和 109.23%、23.15% 和 50.55%、21.43% 和 60.00%。可见,中、高浓度的氯均会在一定程度上抑制西瓜鲜质量和干物质的合成,但 NaCl 对西瓜生长的抑制作用最强,其次为 NH_4Cl 、 CaCl_2 、 KCl ,但中浓度 NH_4Cl 、 CaCl_2 处理和中、高浓度 KCl 对西瓜干物质影响均不显著。

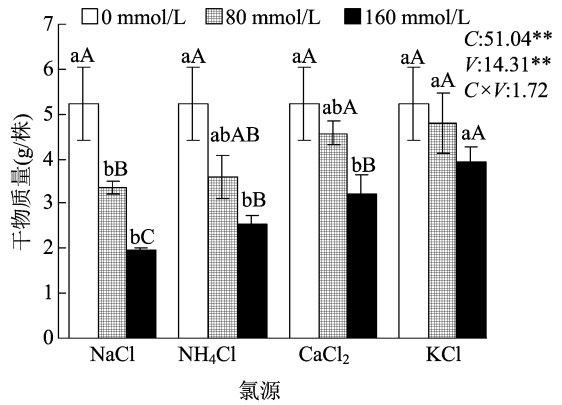
2.2 氯盐种类及浓度对西瓜叶绿素含量的影响

生长环境中氯含量变化会对植物各种生理过程造成影响,从而间接或直接地影响叶绿素含量。双因素方差分析结果表明,不同氯化物对叶绿素含量的主效应达极显著水平(图 2)。相同氯浓度下不同氯化物会显著影响叶片叶绿素含量。氯浓度在 80 mmol/L 时, NH_4Cl 处理西瓜叶片叶绿素含量比 NaCl 处理显著提高 94.84%,与 CaCl_2 和 KCl 处理差异不显著;氯浓度在 160 mmol/L 时,叶片叶绿素含量仍以 NH_4Cl 处理最高, NaCl 处理最低,两者相差 87.84%。从浓度角度来看, NaCl 处理的叶片叶绿素含量随氯浓度增加呈降低趋势,中、高氯浓度处理的叶绿素含量比对照分别显著降低 32.64%、48.61%; NH_4Cl 处理时,中浓度的叶绿素含量比对照显著增加 29.45%,高浓度的则与对照无显著差



C表示浓度；V表示种类；C×V代表浓度和种类交互作用。柱上不同大写字母表示同一氯源不同浓度在0.05水平上差异显著，柱上不同小写字母表示同一浓度不同氯源在0.05水平上差异显著。*、**分别表示多重比较的F值在0.05、0.01水平上显著。图2同

图1 外源氯处理对西瓜植株生物量的影响



NH₄Cl处理最高，比NaCl和KCl处理显著提高23.10%和35.11%；160 mmol/L氯浓度，不同氯化物处理之间根系氯离子含量无显著差异，茎中氯含量以NH₄Cl处理最高，比NaCl、KCl处理显著提高40.51%、82.06%，与CaCl₂处理无显著差异，叶片氯含量以CaCl₂处理最高，比NaCl、NH₄Cl、KCl处理显著提高46.42%、34.39%、50.18%，整株氯含量以CaCl₂处理最高，比NaCl和KCl处理显著增加33.12%、49.93%。可见，添加氯化物均会增加西瓜植株体内的Cl⁻含量，但增加幅度以NH₄Cl和CaCl₂处理较高，NaCl处理次之，而KCl处理最低，说明钾离子可在一定程度上抑制植株对氯离子的过度吸收。

氯盐浓度和氯源种类对Cl⁻吸收运输的交互作用未达显著水平。以NH₄Cl和CaCl₂为氯源时，Cl⁻运输比随氯离子浓度增加而升高，以NaCl和KCl为氯源时，氯运输比在80 mmol/L时最高；与对照相比，中高氯浓度下Cl⁻运输比显著增加。地上部Cl⁻分配率随浓度增加呈先增后减的趋势；中、高水平NaCl处理的Cl⁻分配与对照无显著差异，而其他氯源处理时Cl⁻在地上部分配率比对照显著增加。氯盐种类会显著影响Cl⁻吸收运输和分配。80 mmol/L时，各氯源间的Cl⁻吸收比和运输比无显著差异，氯在地上部的分配率以NH₄Cl处理最高，比NaCl、CaCl₂处理显著升高2.58%、1.83%；160 mmol/L时，各氯化物处理的Cl⁻吸收比无显著性差异，CaCl₂与NaCl、NH₄Cl处理的氯运输比间差异不显著，但CaCl₂处理比KCl处理显著提高74.30%，NH₄Cl与CaCl₂、KCl处理间氯在地上部的分配率差异不显著，但NH₄Cl处理比NaCl处理显

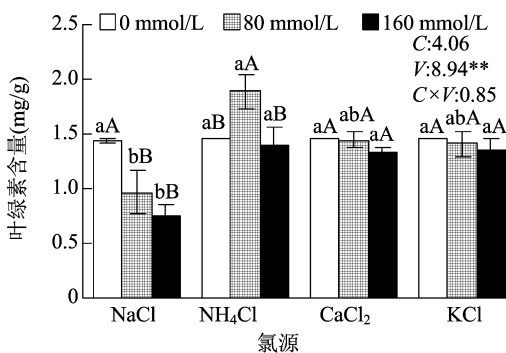


图2 外源氯处理对西瓜植株叶绿素含量的影响

异；CaCl₂和KCl为氯源时，随浓度增加叶绿素含量无显著变化。可见，添加NaCl会显著降低西瓜叶片的叶绿素含量，而适量浓度NH₄Cl则会增加叶片叶绿素含量，CaCl₂和KCl对叶绿素含量无显著影响。

2.3 氯对西瓜养分含量及吸收分配的影响

2.3.1 氯对西瓜Cl⁻含量的影响 双因素方差分析结果(表1)表明，氯源种类和浓度对西瓜根、茎、叶和整株Cl⁻含量的主效应均达到极显著水平，而二者的交互作用对茎和整株Cl⁻含量的影响分别达到了极显著和显著水平。对于同种氯源来说，西瓜各器官和整个植株Cl⁻含量均随着氯离子浓度的增加而显著增加。与对照相比，中、高浓度氯浓度下，NaCl、NH₄Cl、CaCl₂、KCl处理的西瓜植株体内氯离子含量分别增加2.33倍和3.17倍、3.10倍和4.31倍、3.05倍和4.61倍、2.03倍和2.70倍。对于同一氯浓度来说，80 mmol/L时，不同氯源种类根系氯离子含量之间无显著差异，茎中氯离子含量以CaCl₂处理最高，比KCl处理显著提高41.88%，叶片氯离子含量以CaCl₂处理最高，比NaCl和KCl处理分别显著提高32.80%和38.38%，整株氯含量以

著增加 5.46%，CaCl₂、KCl 处理氯地上部分分配较 NaCl 有所增加但差异不显著。进一步说明，施加外源氯可促进氯由地下部向地上部的运输，增加氯在地上部的分配比率；NaCl 处理不会对氯吸收运输和

分配造成显著差异，NH₄Cl 处理会一定程度促进 Cl⁻ 吸收，增加地上部分分配率，CaCl₂ 则促进氯向地上部运输，KCl 则抑制氯向西瓜地上部的运输，减少过量氯对地上部生长的毒害。

表 1 氯对西瓜氯离子含量的影响

氯源	氯浓度 (mmol/L)	氯离子含量(g/kg)				吸收比	运输比(地 下部→地上部)	分配率(%)	
		根	茎	叶	整株			地上部	地下部
NaCl	0	1.43 ± 0.04Ba	1.45 ± 0.10Ca	2.63 ± 0.12Ba	1.86 ± 0.03Ca	—	1.38 ± 0.08Ba	91.16Aa	8.84Aa
	80	2.49 ± 0.15Aa	8.65 ± 0.56Bab	7.44 ± 0.20Ab	6.19 ± 0.25Bb	0.88 ± 0.05a	3.27 ± 0.24Aa	95.07Ab	4.73Aa
	160	3.20 ± 0.18Aa	11.70 ± 0.13Ab	8.38 ± 0.55Ab	7.76 ± 0.18Ab	0.58 ± 0.03a	3.17 ± 0.26Aab	91.22Ab	8.78Aa
NH ₄ Cl	0	1.43 ± 0.04Ba	1.48 ± 0.14Ca	2.66 ± 0.05Ba	1.86 ± 0.02Ca	—	1.46 ± 0.07Ba	91.33Ba	8.67Ba
	80	3.35 ± 0.20Aa	10.52 ± 0.57Ba	9.01 ± 0.12Aa	7.62 ± 0.13Ba	1.18 ± 0.07a	2.96 ± 0.25Aa	97.52Aa	2.48Ab
	160	4.09 ± 0.12Aa	16.44 ± 0.46Aa	9.13 ± 0.25Ab	9.88 ± 0.12Aa	0.72 ± 0.05a	3.18 ± 0.25Aab	96.20Aa	3.80Ab
CaCl ₂	0	1.42 ± 0.04Ba	1.45 ± 0.10Ca	2.63 ± 0.12Ba	1.84 ± 0.02Ca	—	1.43 ± 0.04Ba	91.33Ba	8.67Ba
	80	2.38 ± 0.17Aa	10.13 ± 0.44Ba	9.88 ± 0.07Aa	7.46 ± 0.17Ba	0.84 ± 0.06a	4.27 ± 0.34Aa	95.77Ab	4.23Aa
	160	3.28 ± 0.25Aa	15.43 ± 0.57Aa	12.27 ± 0.47Aa	10.33 ± 0.27Aa	0.58 ± 0.04a	4.34 ± 0.50Aa	94.53Aab	5.47Aab
KCl	0	1.43 ± 0.04Ba	1.48 ± 0.14Ca	2.66 ± 0.05Ba	1.86 ± 0.02Ca	—	1.46 ± 0.08Ba	91.15Ba	8.85Ba
	80	2.63 ± 0.11Aa	7.14 ± 0.07Bb	7.14 ± 0.20Ab	5.64 ± 0.10Bb	0.93 ± 0.04a	2.73 ± 0.08Aa	96.11Aab	3.89Aab
	160	3.48 ± 0.22Aa	9.03 ± 0.06Ac	8.17 ± 0.42Ab	6.89 ± 0.20Ab	0.61 ± 0.04a	2.49 ± 0.11Ab	94.39ABab	5.61ABab
F 值	V	5.44 **	48.00 **	30.26 **	65.39 **	6.40 **	8.630 **	9.18 **	
	C	20.15 **	124.95 **	15.59 **	151.13 **	57.96 **	0.002	14.49 **	
	C × V	0.06	6.86 **	2.75	4.95 *	0.93	0.160	1.52	

注：不同大写字母表示同一氯源不同浓度在 0.05 水平上差异显著，不同小写字母表示同一浓度不同氯源在 0.05 水平上差异显著。*、** 分别表示在 0.05、0.01 水平上影响显著。表 2 至表 4 同。

2.3.2 氯对西瓜全氮含量的影响 由表 2 可知，不同氯化物和浓度对西瓜叶片全氮含量的影响存在显著交互效应，氯浓度对根、茎、叶、整株的全氮含量影响显著或极显著，氯化物种类对西瓜茎、叶和整株全氮含量的影响均达到极显著水平。NaCl、NH₄Cl、KCl 处理的西瓜根系中全氮含量受氯浓度的影响不显著，而 CaCl₂ 处理时，中浓度氯浓度的根系全氮含量比对照显著增加 61.33%。与无氯对照相比，中浓度 NaCl 和 KCl 处理时，茎中全氮含量显著提高 41.69% 和 32.26%；CaCl₂ 为氯源时无显著差异；NH₄Cl 处理中高浓度下茎中全氮含量分别显著增加 114.82% 和 114.52%，叶片全氮含量分别显著增加 61.76% 和 77.82%；高浓度 NaCl 处理下显著降低 20.55%。西瓜整株全氮含量在中、高浓度 NH₄Cl 处理时分别比不施氯增加 121.10% 和 81.64%。同一氯浓度时，不同氯化物对根系氮含量的主效应不显著，但对茎、叶、整株的全氮含量影响极显著。80 mmol/L 和 160 mmol/L 氯浓度下，茎、叶、整株的全氮含量均以 NH₄Cl 处理最高，且与 NaCl、CaCl₂、KCl 处理间存在显著差异，原因可能是

其携带的 NH₄⁺ 可作为氮源被西瓜吸收，用于合成氨基酸，参与蛋白质合成。

氯浓度和氯化物种类的交互作用对西瓜全氮吸收运输及分配的影响均未达显著水平，氯浓度对氮吸收比和分配率的影响达显著水平，氯化物对氮运输和分配率的影响达极显著水平。对氮吸收比来说，中氯浓度 CaCl₂ 处理比对照显著增加 61.26%。氮运输比在中、高氯浓度下均以 NH₄Cl 处理的最高，分别比 NaCl、CaCl₂、KCl 处理显著高 62.50%、115.64%、102.22% 和 103.31%、126.73%、138.83%。在 80 mmol/L 氯浓度下，氮在地上部的分配率以 NH₄Cl 处理时最高，CaCl₂ 处理最低，两者相差 5.42%，氮在地下部的分配率则表现为 NH₄Cl 最低，CaCl₂ 处理最高；160 mmol/L 时，氮在地上部的分配率仍以 NH₄Cl 最高，但与其他氯化物处理间无显著差异。可见，中浓度外源氯能促进氮素吸收，除 NH₄Cl 处理外，其他氯化物处理抑制氮素向地上部的运输，NaCl 抑制氮素吸收和地上部分配，NH₄Cl 为氯源时会促进氮素的吸收和地上部分配，中浓度 CaCl₂ 和 KCl 可比 NH₄Cl 更大程度

表 2 氯对西瓜全氮含量的影响

氯源	氯浓度 (mmol/L)	全氮含量(g/kg)				吸收比	运输比(地 下部→地上部)	分配率(%)	
		根	茎	叶	整株			地上部	地下部
NaCl	0	5.56 ± 0.40Aa	13.36 ± 0.89Ba	17.18 ± 1.14Aa	12.03 ± 0.55ABa	24.84 ± 1.78Aa	2.83 ± 0.42Aa	94.15Aa	5.85Aa
	80	7.33 ± 0.93Aa	18.93 ± 0.94Ab	20.07 ± 1.13Ab	14.55 ± 0.30Ab	32.70 ± 4.16Aa	2.80 ± 0.38Ab	93.52Aab	6.48Aab
	160	4.71 ± 0.18Aa	13.45 ± 0.15Bb	13.65 ± 0.73Bb	9.49 ± 0.48Bb	21.01 ± 0.82Aa	2.42 ± 0.10Ab	90.40Aa	9.60Aa
NH ₄ Cl	0	5.56 ± 0.40Aa	13.36 ± 0.89Ba	17.18 ± 1.14Ba	12.04 ± 0.55Ca	24.84 ± 1.75Aa	2.83 ± 0.42Aa	94.15Ba	5.85Aa
	80	6.31 ± 0.54Aa	28.70 ± 0.84Aa	27.79 ± 2.28Aa	26.62 ± 0.69Aa	28.16 ± 2.41Aa	4.55 ± 0.28Aa	98.36Aa	1.64Bb
	160	6.38 ± 0.82Aa	28.66 ± 0.66Aa	30.55 ± 1.59Aa	21.87 ± 0.17Ba	28.50 ± 3.66Aa	4.92 ± 1.27Aa	97.30ABa	2.70ABa
CaCl ₂	0	5.56 ± 0.40Ba	13.36 ± 0.89Aa	17.18 ± 1.14ABa	12.03 ± 0.55ABa	24.83 ± 1.78Ba	2.83 ± 0.72Aa	94.15Aa	5.85Aa
	80	8.97 ± 1.21Aa	18.81 ± 2.14Ab	18.23 ± 0.91Ab	15.33 ± 1.41Ab	40.04 ± 5.38Aa	2.11 ± 0.19Ab	93.30Ab	6.70Aa
	160	6.18 ± 0.24Ba	13.33 ± 0.61Ab	13.34 ± 0.30Bb	10.95 ± 0.11Bb	27.60 ± 1.07ABa	2.17 ± 0.12Ab	87.33Aa	12.67Aa
KCl	0	5.56 ± 0.40Aa	13.36 ± 0.89Ba	17.18 ± 1.14Aa	12.03 ± 0.55ABa	24.84 ± 1.78Aa	2.83 ± 0.42Aa	94.15Aa	5.85Aa
	80	7.30 ± 0.38Aa	17.67 ± 0.27Ab	14.94 ± 0.58Ab	13.30 ± 0.04Ab	32.59 ± 1.68Aa	2.25 ± 0.13Ab	96.15Aab	3.85Aab
	160	6.31 ± 0.46Aa	13.28 ± 0.61Bb	12.39 ± 1.58Ab	10.66 ± 0.56Bb	28.17 ± 2.03Aa	2.06 ± 0.17Ab	94.46Aa	5.54Aa
F 值	V	1.31	21.22 **	43.37 **	120.99 **	1.31	19.10 **	18.58 **	
	C	7.14 *	58.69 **	6.83 *	60.50 **	7.14 *	0.02	4.86 *	
	C × V	1.34	2.40	3.58 *	1.00	1.34	0.33	0.49	

促进氮素吸收。

2.3.3 氯对西瓜全磷含量的影响 由表 3 可知,氯化物种类对西瓜全磷吸收、运输和分配的影响均达到极显著水平,而氯浓度仅对氯在地上和地下部分配的影响极显著,两者的交互作用对氯吸收和运输的影响作用显著。氯浓度为 80 mmol/L 时,KCl 处理的根系全磷含量最高,与 NaCl 处理无显著差异,比 CaCl₂ 和 NH₄Cl 处理显著提高 24.65%、142.47%;叶片全磷含量以 NH₄Cl 处理最高,比 NaCl、CaCl₂、KCl 处理分别提高 79.87%、97.79%、77.48%;茎和整株的全磷含量在各氯源处理间未表现出显著差异。氯浓度在 160 mmol/L 时,根、茎和整株的全磷含量均以 CaCl₂ 处理最高,并显著高于 NaCl、NH₄Cl 处理;叶片全磷含量以 NH₄Cl 处理的最高,比 NaCl、CaCl₂、KCl 处理显著增加 54.43%、26.25%、106.97%。从氯浓度的影响来看,以 NaCl 为氯源时,高氯浓度处理的根系全磷含量较不施氯显著降低 26.51%,中高浓度氯处理的茎、叶全磷含量与不施氯处理间无显著差异;以 NH₄Cl 为氯源时,相较于不施氯对照,中高氯浓度处理均对茎中磷含量无显著影响,根系全磷含量显著降低 56.02% 和 30.42%,叶片全磷含量显著增加 75.16% 和 65.03%,高浓度氯处理下整株磷含量显著增加 13.50%;以 CaCl₂ 为氯源时,中氯浓度处理的全磷含量与对照无显著性差异,高浓度氯处理时

茎、叶、整株的磷含量比对照显著增加 60.36%、30.72%、31.60%;KCl 为氯源时,中高浓度氯处理的根系和叶片中全磷含量均与对照未表现出显著差异,高浓度处理的茎和整株磷含量显著降低 20.12% 和 19.33%。

氯源种类和浓度的交互作用对全磷吸收运输的影响达极显著水平。Cl⁻ 浓度极显著影响全磷分配。与对照相比,中高浓度 NaCl 处理的全磷运输、分配无显著影响,吸收比在以高浓度氯处理时显著降低 26.69%;中高浓度 NH₄Cl 处理全磷吸收比较对照显著降低 56.09% 和 30.26%,地上部分配率显著增加 12.90% 和 8.63%,比对照显著增加全磷运输比 213.40% 和 97.94%;CaCl₂ 为氯源时,中氯浓度处理的吸收比显著增加 1.92%,而高氯浓度的运输比显著增加 40.21%;中高浓度 KCl 处理对磷运输和分配无显著影响,高浓度 KCl 处理的磷吸收比相较于对照显著降低 17.43%。对于不同氯源种类,80 mmol/L 时,全磷吸收比以 KCl 处理最高,比 NH₄Cl 处理高出 143.24%,与其他氯源处理间不存在显著差异;运输比以 NH₄Cl 处理最高,分别比 NaCl、CaCl₂、KCl 处理的高 189.52%、257.65%、245.45%;磷在地上部的分配率亦以 NH₄Cl 处理最高,分别比 NaCl、CaCl₂、KCl 处理显著高 13.48%、15.33%、9.87%。160 mmol/L 时,各氯源种类的磷分配率无显著差异,运输比以 NH₄Cl 处理最高,比

NaCl、CaCl₂、KCl 处理显著高 56.10%、41.18%、104.26%。可见,外源 NH₄Cl 和高浓度 NaCl 处理会降低根系对磷的吸收,且 NH₄Cl 会显著促进磷向地

上部运输,显著提高磷在地上部分配,中浓度 CaCl₂ 和 KCl 增进磷吸收且不会显著影响磷运输分配,而高浓度则会抑制磷吸收。

表 3 氯对西瓜全磷含量的影响

氯源	氯浓度 (mmol/L)	全磷含量(g/kg)				吸收比	运输比(地 下部→地上部)	分配率(%)	
		根	茎	叶	整株			地上部	地下部
NaCl	0	3.32 ± 0.10Aa	3.38 ± 0.13ABa	3.06 ± 0.11Aa	3.26 ± 0.07ABa	53.58 ± 1.59Aa	0.97 ± 0.05Aa	86.82Aa	13.18Aa
	80	3.24 ± 0.07Aab	3.83 ± 0.23Aa	2.98 ± 0.11Ab	3.35 ± 0.11Aa	52.19 ± 1.07Aa	1.05 ± 0.06Ab	85.93Ab	14.07Aa
	160	2.44 ± 0.20Bb	2.65 ± 0.14Bc	3.27 ± 0.15Ac	2.78 ± 0.11Bc	39.28 ± 3.28Bb	1.23 ± 0.08Ab	80.03Aa	19.97Aa
NH ₄ Cl	0	3.32 ± 0.10Aa	3.38 ± 0.13Aa	3.06 ± 0.11Ba	3.26 ± 0.07Ba	53.57 ± 1.60Aa	0.97 ± 0.05Ba	86.37Ba	13.63Aa
	80	1.46 ± 0.11Cc	3.32 ± 0.16Aa	5.36 ± 0.14Aa	3.38 ± 0.07ABa	23.52 ± 1.83Cb	3.04 ± 0.28Aa	97.51Aa	2.49Bb
	160	2.31 ± 0.12Bb	3.72 ± 0.12Ab	5.05 ± 0.11Aa	3.70 ± 0.04Ab	37.36 ± 2.00Bb	1.92 ± 0.13Aa	93.82Aa	6.18Ba
CaCl ₂	0	3.32 ± 0.10ABa	3.38 ± 0.13Ba	3.06 ± 0.11Ba	3.26 ± 0.07Ba	53.58 ± 1.59Aa	0.97 ± 0.05Ba	86.82Aa	13.18Aa
	80	2.84 ± 0.05Bb	3.23 ± 0.14Ba	2.71 ± 0.10Bb	2.93 ± 0.04Ba	54.61 ± 2.90Aa	0.85 ± 0.02Bb	84.55Ab	15.45Aa
	160	3.45 ± 0.03Aa	5.42 ± 0.28Aa	4.00 ± 0.10Ab	4.29 ± 0.12Aa	43.93 ± 2.17Bab	1.36 ± 0.10Ab	85.48Aa	14.52Aa
KCl	0	3.32 ± 0.10ABa	3.38 ± 0.13Aa	3.06 ± 0.11Aa	3.26 ± 0.07Aa	53.59 ± 1.57Aa	0.97 ± 0.05Aa	86.89Aa	13.11Aa
	80	3.54 ± 0.10Aa	3.17 ± 0.15ABa	3.02 ± 0.06Ab	3.25 ± 0.06Aa	57.21 ± 1.62Aa	0.88 ± 0.02Ab	88.75Ab	11.25Aa
	160	2.74 ± 0.12Bab	2.70 ± 0.14Bc	2.44 ± 0.12Ac	2.63 ± 0.05Bc	44.25 ± 1.91Ba	0.94 ± 0.03Ab	86.45Aa	13.55Aa
F 值	V	37.44 **	20.97 **	123.49 **	22.96 **	9.82 **	49.34 **	37.53 **	
	C	0.12	3.18	3.08	3.13	0.12	1.93	9.09 **	
	C × V	20.99 **	31.12 **	17.59 **	44.08 **	20.99 **	10.83 **	2.48	

2.3.4 氯对全钾含量的影响 植株保持较高的全钾含量有助于无机渗透调节,缓解外界环境中盐浓度过高造成的生理干旱,减轻离子毒害。由表 4 可知,氯源种类和浓度对茎、叶、整株全钾含量的交互作用显著,氯源种类和浓度对根系全钾含量的影响达极显著水平。80 mmol/L 氯浓度时,根系全钾含量以 KCl 处理最高,并显著高于 CaCl₂ 处理;茎、叶和整株全钾含量均以 KCl 处理最高,并与 NaCl、NH₄Cl、CaCl₂ 处理之间存在显著差异。160 mmol/L 时,不同种类氯源处理之间的根系全钾含量无显著差异,茎、叶、整株的全钾含量以 KCl 处理显著较高,其中整株全钾含量比 NaCl、NH₄Cl、CaCl₂ 处理的提高 404.93%、269.42%、261.76%。在同一氯源下,与对照相比,中高氯浓度 NaCl 处理时,根、茎、整株全钾含量显著降低 38.87% 和 52.23%、18.53% 和 57.98%、17.84% 和 47.40%,叶片全钾含量降低但无显著差异;中高浓度 NH₄Cl 处理根、叶中全钾含量降低 35.88% 和 56.75%、12.04% 和 41.67%,中浓度 NH₄Cl 处理的茎全钾含量比对照显著增加 19.73%,而高浓度 NH₄Cl 处理的茎和整株全钾含量则显著降低;中、高浓度 CaCl₂ 处理会显著降低根系全钾含量 71.67% 和 79.13%,中浓度 CaCl₂ 处理会使茎和整株的全钾含量分别增加 24.01% 和

15.38%,而高浓度 CaCl₂ 处理则会显著降低茎和整株的全钾含量;中高浓度 KCl 处理的茎、叶、整株全钾含量均显著增加 46.76% 和 135.43%、1.84 和 3.32 倍、75.88% 和 165.59%,但根系的全钾含量则表现为降低趋势,其中高浓度 KCl 处理会使根系钾含量显著降低 50.76%。可见,KCl 会显著增加西瓜地上部全钾含量,而 NaCl 抑制了西瓜对钾素的吸收,适中浓度的 NH₄Cl 促进钾素在茎中累积,而 CaCl₂ 在中浓度时促进钾在茎中的累积,高浓度则表现出抑制作用。

氯源种类和浓度对根系 K⁺ 吸收的影响达极显著水平,二者对 K⁺ 运输和分配具有显著的交互作用。与对照相比,中高氯浓度 NaCl 处理的 K⁺ 吸收比显著降低 38.85% 和 52.21%;中高氯浓度 NH₄Cl 处理的钾吸收比显著降低 35.85% 和 56.72%,运输比显著增加 73.35% 和 79.67%,中氯处理下钾在地下部的分配率显著降低 70.72%;中高氯浓度 CaCl₂ 处理的钾吸收比显著降低 71.64% 和 79.14%,运输比显著增加 377.75% 和 291.21%,地下部钾分配显著降低 73.18% 和 61.88%;KCl 为氯源时,不同氯浓度的 K 吸收比无显著差异,中氯浓度下的钾运输比较对照显著增加 130.77%,钾在地下部的分配率显著降低 67.42%,160 mmol/L 浓度下运输比显著

增加 528.02%，地下部分配率降低 83.21%。对于不同氯源种类来说，80 mmol/L 时，K⁺ 吸收比以 CaCl₂ 处理最低，分别与 NaCl、NH₄Cl、KCl 处理相差 53.63%、55.80%、65.46%，而 K⁺ 运输比以 CaCl₂ 处理最高；160 mmol/L 时，各氯源之间钾吸收比无显著差异，钾运输比和在地上部的分配率以 KCl 处理最高，其中运输比分别比 NaCl、NH₄Cl 处理显著

增高 4.26、2.50 倍，地上部分配率比 NaCl 和 NH₄Cl 处理显著升高 6.67% 和 1.27%。可见，施加外源氯均会在一定程度上阻碍西瓜根系从介质中吸收 K⁺，但 KCl 处理不会对钾的吸收造成显著影响，且各氯盐处理均促进 K⁺ 由根系向地上部的运输，增加 K⁺ 在地上部分配率。其中 KCl 和 CaCl₂ 的促进作用较强。

表 4 氯对西瓜全钾含量的影响

氯源	氯浓度 (mmol/L)	全钾含量(g/kg)				吸收比	运输比(地 下部→地上部)	分配率(%)	
		根	茎	叶	整株			地上部	地下部
NaCl	0	22.38 ± 0.95Aa	113.14 ± 3.00Aa	49.68 ± 0.70Aa	61.73 ± 0.91Aa	95.22 ± 4.02Aa	3.66 ± 0.15Aa	96.03Aa	3.97Aa
	80	13.68 ± 1.44Ba	92.17 ± 1.24Bc	46.30 ± 3.72Ac	50.72 ± 0.98Bc	58.23 ± 6.14Ba	5.30 ± 0.77Ab	96.75Aa	3.25Aa
	160	10.69 ± 1.66Ba	47.54 ± 3.15Cc	39.16 ± 2.62Abc	32.47 ± 1.66Cc	45.51 ± 7.08Ba	4.35 ± 0.64Ac	93.12Ac	6.88Aa
NH ₄ Cl	0	22.38 ± 0.94Aa	113.14 ± 3.00Ba	49.68 ± 0.70Aa	61.51 ± 1.28Aa	95.22 ± 4.02Aa	3.64 ± 0.16Ba	95.97Ba	4.03Aa
	80	14.35 ± 0.94Ba	135.46 ± 1.21Ab	43.70 ± 1.58Ac	64.50 ± 0.79Ab	61.08 ± 4.02Ba	6.31 ± 0.37Ab	98.82Aa	1.18Ba
	160	9.68 ± 1.09Ba	94.47 ± 3.42Cb	28.98 ± 2.07Bc	44.38 ± 1.96Bb	41.21 ± 4.64Ba	6.54 ± 0.55Abc	98.08ABb	1.92ABb
CaCl ₂	0	22.38 ± 0.94Aa	113.14 ± 3.00Ba	49.68 ± 0.70Aa	61.51 ± 1.28Aa	95.22 ± 4.02Aa	3.64 ± 0.16Ba	95.75Ba	4.25Ba
	80	6.34 ± 0.94Bb	140.31 ± 1.57Ab	66.24 ± 3.99Ab	70.97 ± 1.14Ab	27.00 ± 4.02Bb	17.39 ± 2.50Aa	98.86Aa	1.14Aa
	160	4.67 ± 0.27Ba	78.97 ± 3.23Cb	52.31 ± 5.07Ab	45.32 ± 2.74Bb	19.86 ± 1.15Ba	14.24 ± 1.37Aab	98.38ABab	1.62Aab
KCl	0	22.38 ± 0.94Aa	113.14 ± 3.00Ca	49.68 ± 0.70Ca	61.73 ± 0.91Ca	95.22 ± 4.02Aa	3.64 ± 0.17Ba	96.01Ca	3.99Aa
	80	18.37 ± 0.96Aa	166.04 ± 5.96Ba	141.29 ± 2.25Ba	108.57 ± 3.04Ba	78.17 ± 4.02Aa	8.40 ± 0.21Ab	98.70Ba	1.30Ba
	160	11.02 ± 1.44Ba	266.36 ± 7.06Aa	214.47 ± 3.74Aa	163.95 ± 1.70Aa	66.89 ± 6.13Aa	22.86 ± 2.68Aa	99.33Aa	0.67Bb
F 值	V	15.13 **	337.43 **	535.93 **	677.10 **	15.13 **	19.31 **	18.53 **	
	C	17.08 **	11.80 **	10.56 **	1.71	17.08 **	0.38	5.94 *	
	C × V	1.47	122.58 **	55.07 **	135.49 **	1.47	24.43 **	4.29 *	

3 讨论与结论

3.1 氯浓度对西瓜生长及养分吸收分配的影响

植物在环境盐分过多的条件下生长表现为吸水困难、生物膜破坏、光合速率下降、叶绿素破坏等生理代谢紊乱，最终导致植物生长受到抑制^[20]。本研究发现中高浓度外源氯会降低西瓜叶片叶绿素含量，鲜质量和干物质量，其主要原因可能是外源氯影响了根系对养分的吸收能力，从而直接影响叶绿素的合成与植株生长^[21]。外源氯处理促进了植株对 Cl⁻ 的吸收和运输，各器官中氯离子含量均显著增加，并且茎叶中氯含量高，根系最低。这与胡小婉在油菜上的研究结果^[22]一致。氯离子的存在及其在植物体内的累积势必对植物吸收 N、P、K 等矿质元素产生一定影响。从氮素来看，外源氯促进根系对 N 的吸收但抑制了 N 从根系向地上部的运输，在 80 mmol/L 时，西瓜植株全氮含量有所上升，而高浓度处理时 N 含量表现为降低趋势，氮在地上部的分配率降低。肖丽等研究发现叶片全氮累积

量随氯浓度的提高而降低，过量氯降低了植株对 N 的吸收并抑制 N 从根系到叶片的运输^[23]，本研究结果与之一致。可见，高浓度氯会抑制植物对氮的吸收。目前氯对磷吸收的影响仍存在争议，金世安等认为氯对磷吸收的影响作用不大^[24]，但也有人认为 Cl⁻ 和 H₂PO₄⁻ 因在质膜竞争同一结合位点相互拮抗而抑制 H₂PO₄⁻ 向地上部的吸收运输^[25]，抑制吸收的作用不会随浓度增加而提高，刘正祥等对沙枣幼苗的研究发现 NaCl 胁迫下根茎叶中 P 含量显著下降^[26]。本研究表明高浓度氯抑制植株对磷的吸收比，而 NH₄Cl 促进了磷向地上部运输和分配，这可能是由于 NH₄Cl 增加了叶片叶绿素含量，提高了光合作用，增加了对 P 的需要，使磷素向地上部运输，影响了磷养分再分配^[27]。对钾素而言，通常认为两者之间表现为协同作用^[28]，氯浓度适当时，K⁺ 作为平衡电荷的阳离子伴随阴离子 Cl⁻ 被吸收入植物体中，当氯浓度过高时，氯会造成植物离子失衡或离子毒害，干扰细胞的正常代谢，抑制植株对 K⁺ 的吸收。本研究结果与之一致，80 mmol/L 的氯

处理会降低根系中全钾含量,大多数处理会增加茎、叶中全钾含量,高浓度时茎叶全钾含量降低,抑制对钾的吸收但促进了 K 从根系到茎叶的运输,说明氯会减弱根系对 K^+ 的吸收,增加 K^+ 在地上部的分配。

3.2 氯化物对西瓜生长及养分吸收分配的影响

吸收比能够反映西瓜根系对外界环境中各种有效离子选择吸收的能力,且根细胞膜对各离子的选择吸收不同^[29]。本研究发现,各养分间吸收比差异较大,整体表现为全钾含量 > 全磷含量 > 全氮含量 > Cl^- 含量;而离子间的运输比差距较小,由茎到叶的离子运输中, $TR(Cl^-) > TR(K^+)$,表明离子的吸收和运输存在着不连贯性。 K^+ 和 Cl^- 是植物体内的渗透离子,参与细胞内渗透调节, K^+ 是植物所必需的唯一一种以相对高浓度存在的阳离子,细胞质中维持高于某特定浓度的 K^+ 对于植物生长及耐盐性都是必要的^[17],可避免根、叶生长活跃点 K^+ 养分亏缺,维持植株正常的生理活动。本研究发现,相同浓度时,多数氯盐品种处理间根系钾、氯含量无显著差异,叶片中钾含量整体表现为 $KCl > CaCl_2 > NH_4Cl > NaCl$,KCl 处理时茎、叶中氯离子浓度相对较低, $CaCl_2$ 会抑制根系对 Cl^- 的吸收,促进其向地上部运输,现在普遍认为降低植株地上部 Cl^- 浓度是植物盐适应机制之一^[30],同时耐氯植物能够抑制根系对 Na^+ 和 Cl^- 的吸收,促使这些离子在液泡中积累,降低 Cl^- 在细胞壁或细胞质中的浓度,减轻离子毒害^[31]。而 NH_4^+ 会促进 Cl^- 吸收,故 NH_4Cl 处理增加了地上部氯离子分配,造成离子毒害,而 NaCl 处理会显著降低西瓜叶片叶绿素含量。因此, $CaCl_2$ 和 KCl 处理可保持西瓜植株鲜质量与干物质质量较高, NH_4Cl 处理可以增加营养器官中全氮、全磷、叶绿素含量,促进全氮、全磷吸收运输,补充西瓜生长点所需营养元素,参与植物光合作用。说明,不同氯源的伴随阳离子不同是其导致西瓜养分吸收运输及生长产生差异的主要原因之一。

3.3 结论

高水平 NaCl 会抑制 N、P、K 吸收而促进 Cl^- 吸收运输,导致西瓜生长过程中必需养分亏缺和氯离子毒害,从而使叶绿素含量、鲜质量和干物质质量降低。高水平 NH_4Cl 会通过抑制 P、K 吸收和促进 P、K 向地上部运输而降低根系的 P、K 含量,抑制根系生长;同时, NH_4^+ 促进 Cl^- 吸收运输并增加氯在地上部的分配,氯离子毒害作用加强,西瓜生物量降低。 $CaCl_2$ 可抑制根系对氯的吸收而促进对氮素的

吸收,从而增强根系生长,并促进 K 在地上部的运输分配,因此,西瓜耐氯性较高,其干物质质量不会受到显著影响。KCl 不会显著影响 K^+ 吸收,高浓度 KCl 会抑制 P 吸收,降低西瓜 N、P 含量,增加 K 含量,未影响 P 运输分配而促进 K 在地上部的运输分配,虽然 KCl 促进 Cl^- 运输及分配,但相对其他氯源,KCl 处理下西瓜地上部的 Cl^- 含量较低,通过降低茎叶氯含量增强西瓜氯盐适应性,因此,KCl 处理下西瓜生物量降低但干物质累积未受到显著影响。可见,增加根系生长,抑制根系毒害盐离子 Cl^- 吸收以及降低地上部氯含量可能是提高西瓜氯盐适应性的机制之一。

参考文献:

- [1] 於丙军,刘友良. 植物中的氯、氯通道和耐氯性[J]. 植物学通报,2004,39(4):402-410.
- [2] Teakle N L, Tyerman S D. Mechanisms of Cl^- transport contributing to salt tolerance [J]. Plant, Cell & Environment, 2010, 33(4): 566-589.
- [3] Wege S, Gilliam M, Henderson S W. Chloride: not simply a 'cheap osmoticum', but a beneficial plant macronutrient [J]. Journal of Experimental Botany, 2017, 68(12): 3057-3069.
- [4] 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, 2016, 67(3): 873-891.
- [5] Wei P P, Che B N, Shen L K, et al. Identification and functional characterization of the chloride channel gene, *GsCLC-c2* from wild soybean [J]. BMC Plant Biology, 2019, 19(1): 121.
- [6] Gene Y, Oldach K, Taylor J, et al. Uncoupling of sodium and chloride to assist breeding for salinity tolerance in crops [J]. New Phytologist, 2016, 210(1): 145-156.
- [7] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress [J]. Plant, Cell & Environment, 2002, 25(2): 239-250.
- [8] Ismail A M, Horie T. Genomics, physiology, and molecular breeding approaches for improving salt tolerance [J]. Annual Review of Plant Biology, 2017, 68: 405-434.
- [9] Hasegawa P M, Bressan R A, Zhu J K, et al. Plant cellular and molecular responses to high salinity [J]. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 2000, 51: 463-499.
- [10] 周明园. Cl^- 对水稻幼苗生长、根系形态和 K^+ 吸收的影响 [D]. 扬州:扬州大学, 2015: 8-14.
- [11] 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, 33(4): 849-852.
- [12] 王晓琴, 袁继超, 柯永培, 等. 渗透胁迫对玉米幼苗根系活力和 K^+ 吸收动力学特征的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 27-32.
- [13] Tester M, Davenport R. Na^+ tolerance and Na^+ transport in higher plants [J]. Annals of Botany, 2003, 91(5): 503-527.
- [14] 朱进, 别之龙, 李妮娜. 盐胁迫对不同基因型黄瓜幼苗生长和光合作用的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(3): 476-478.

陈月红,黄莹,林久军,等. 基质中添加不同量发酵菜粕对草莓品质和产量的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(24):141-146.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.24.019

基质中添加不同量发酵菜粕对草莓品质和产量的影响

陈月红¹,黄莹¹,林久军¹,曹荣祥¹,唐泉¹,蒋立奔¹,何娟²,郭成宝¹

(1. 江苏丘陵地区南京农业科学研究所,江苏南京 210046; 2. 江苏省南京市栖霞区农业综合行政执法大队,江苏南京 210046)

摘要:在配比为草炭:蛭石:珍珠岩=4:1:1的基质中添加不同量发酵菜粕,按照体积比分别添加4%、8%、12%、16%的量,以不添加发酵菜粕的基质为对照(CK),研究其对宁玉草莓品质和产量的影响。结果表明,基质中发酵菜粕添加量为4%条件下草莓植株长势最优,果实采收最早,但果实品质和产量低于添加量8%和添加量12%;而8%添加量条件下草莓在12月至翌年3月果实可溶性固形物含量最高、产量也高,4—5月果实可溶性固形物含量降低,产量也降低;12%添加量条件下生长草莓果实产量最高;16%条件下生长草莓果实在12月至翌年3月果实可溶性固形物含量和产量较低,4—5月果实可溶性固形物含量最高。基质中添加适量发酵菜粕可显著提高草莓果实中果糖、蔗糖含量,产量也显著增加;发酵菜粕添加过量果实总酸含量高、果糖含量降低,产量也降低。结合草莓品质、产量和市场价格等因素,选择基质中添加8%的发酵菜粕最为适宜。

关键词:草莓;发酵菜粕;品质;产量;生物学特性;产值

中图分类号:S668.404 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)24-0141-06

草莓产业以生产周期短、见效快等优势成为农业增效、农民增收的特色产业。江苏省设施草莓栽培面积由2015年的1.87万hm²增加为2019年的

2.15万hm²^[1],增速明显。

党的二十大报告强调:推动绿色发展,促进人与自然和谐共生。江苏省地处长三角经济地区,草莓产业发展正逐步实现绿色生产、健康消费的产业新发展新模式^[1]。推进化肥与化学农药“两减”工作筑牢了农业发展绿色基底^[2]。施用有机肥在品质^[3-5]和抗病性^[3]等方面显著优于单施化肥。合理施用菜籽饼肥,可以增加烟叶香气物质成分总含量,提高烟叶品质^[6-7],可以增加土壤微生物活

收稿日期:2022-11-07

基金项目:江苏省亚夫科技服务项目[编号:KF(21)2015]。

作者简介:陈月红(1975—),女,江苏盐城人,硕士,副研究员,主要从事园艺植物栽培研究。E-mail:cyh2007104026@163.com。

通信作者:郭成宝,硕士,研究员,主要从事园艺植物研究。E-mail:gchengbao@163.com。

[15]侯振安,李品芳,龚元石. 盐渍条件下苜蓿和羊草生长与营养吸收的比较研究[J]. 草业学报,2000,9(4):68-73.

[16]康文钦,娜荷雅,张子义,等. NaCl胁迫对燕麦与小麦幼苗生长及其营养吸收的影响[J]. 华北农学报,2010,25(3):97-101.

[17]张科,张道远,王雷,等. 自然生境下盐角草的离子吸收-运输特征[J]. 干旱区研究,2007,24(4):480-486.

[18]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,2000:130-137.

[19]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.

[20]吴欣明,王运琦,刘建宁,等. 羊茅属植物耐盐性评价及其对盐胁迫的生理反应[J]. 草业学报,2007,16(6):67-73.

[21]李秧秧,刘文兆. 灌水对小麦旗叶光合功能衰退的影响[J]. 西北植物学报,2001,21(1):75-80.

[22]胡小婉. 氯对油菜生长与营养吸收利用的效应及其机制[D]. 南京:南京农业大学,2013:13-29.

[23]肖丽,孙宁波,隋方功. 氯对白菜幼苗的生长及养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(3):608-612.

[24]金安世,郭鹏程,张秀英. 氯对作物养分离子吸收与酶活性的影响[J]. 土壤通报,1993,24(1):35-36.

[25]卢红霞. 氯(Cl⁻)对马铃薯的某些生理效应及对土壤中氮肥行为的影响[D]. 杭州:浙江大学,2001.

[26]刘正祥,张华新,杨秀艳,等. 植物对氯化钠和硫酸钠胁迫生理响应研究进展[J]. 世界林业研究,2015,28(4):17-23.

[27]冯婵莹,郑成洋,田地. 氮添加对森林植物磷含量的影响及其机制[J]. 植物生态学报,2019,43(3):185-196.

[28]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.

[29]林瑞余,梁元元,蔡碧琼,等. 不同品种水稻产量形成过程的养分积累与分配特征研究[J]. 中国生态农业学报,2007,15(5):139-146.

[30]Adams P, Thomas J C, Vernon D M, et al. Distinct cellular and organismic responses to salt stress[J]. Plant and Cell Physiology, 1992,33(8):1215-1223.

[31]Greenway H, Munns R. Mechanisms of salt tolerance in nonhalophytes[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1980,31:149-190.