野生中国沙棘种子萌发期耐盐性及盐胁迫下对外源钙的响应*

侯冬花

(吕梁学院 生物与食品工程系, 山西 吕梁 033001)

摘　要: 为探究野生中国沙棘种子萌发期耐盐性及其盐胁迫下对外源钙的响应, 以2种野生中国沙棘种子(交1和交2)为试验材料, 对其进行5个浓度水平(30、60、90、120、150 mmol/L)的NaCl盐胁迫处理, 以蒸馏水处理作为对照组(CK), 比较2种野生中国沙棘种子耐盐性. 结果表明: 与对照组相比, 交1种子的发芽率、发芽势、发芽指数均随NaCl浓度的增加呈显著降低趋势($P<0.05$); 交2种子在30、60 mmol/L NaCl处理组的发芽指数高于对照组($P>0.05$), 发芽率显著高于对照组($P<0.05$). 2种野生中国沙棘种子在90 mmol/L NaCl胁迫时, 萌发期各项指标均较对照显著下降($P<0.05$); NaCl处理浓度高于90 mmol/L时, 发芽起始天数较对照组推迟1 d. 将交1、交2种子置于0.2%、0.3%、0.4%、0.5%(w/v) $CaCl_2$溶液中浸种24 h, 以蒸馏水浸种24 h作为对照组, 随后在90 mmol/L NaCl胁迫处理下进行萌发试验, 发现外源$CaCl_2$可不同程度缓解盐胁迫对交1、交2种子萌发的影响, 其中0.4% $CaCl_2$浸种处理对盐胁迫的缓解效果最优, 发芽率、发芽势和发芽指数均显著高于对照组($P<0.05$), 发芽起始天数与对照组相同. 综上可得, 交2种子萌发期耐盐性优于交1, 外源钙对2种野生中国沙棘种子萌发期的盐胁迫均有所缓解.

关键词: 盐胁迫; 种子萌发; 野生中国沙棘种子; 外源钙

中图分类号: S793.6　**文献标识码**: A　**文章编号**: 2097-5333(2025)01-0026-012

引文格式: 侯冬花. 野生中国沙棘种子萌发期耐盐性及盐胁迫下对外源钙的响应[J]. 新疆大学学报(自然科学版 汉文、维吾尔文), 2025, 40(1): 26-37.

英文引文格式: HOU Donghua. Salt tolerance of wild *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis* Rousi seeds during germination and response to exogenous calcium under salt stress[J]. Journal of Xinjiang University(Natural Science Edition in Chinese and Uyghur), 2025, 40(1): 26-37.

0　引言

土壤盐渍化是制约全球农业生产和粮食安全的关键障碍因子. 我国盐渍土总面积为1亿公顷, 约占全球盐渍土面积的10%, 且该面积仍在不断增加. 土壤盐渍化不仅会破坏土壤结构、影响微生物群落, 还会引发作物减产、地下水污染、土地荒漠化等一系列问题[1]. 故研究盐胁迫对植物的影响、植物对盐胁迫的响应以及如何缓解盐胁迫的危害, 对提高作物产量、保障食品安全具有重要意义[2].

种子萌发期是对盐胁迫响应较为敏感的时期, 盐胁迫引起的离子毒害作用限制了植物种子萌发[3]. 故缓解这一时期盐胁迫的不利影响, 可以促进盐渍土环境中植物的生长和产量形成[4]. 钙作为植物重要的营养元素, 在植物抵御不良环境过程中发挥了重要的作用, 对遭受盐胁迫的花生[5]、西瓜[6]施加一定浓度的钙, 可以有效缓解危害.

沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.), 属胡颓子科沙棘属, 又名醋柳、黑刺, 为多年生落叶灌木. 沙棘对环境有很强的适应性, 被广泛用于沙漠绿化和水土保持, 具有极高的生态学意义[7−10]. 此外, 沙棘还具有较高的经济价值, 其果实、叶片及种子富含生物活性物质, 被广泛用于食品加工、医药保健、农牧业饲料及化妆美容等众多产业领域[11−13]. 沙棘产业的大力发展推动了其需求量的增加, 选育新品种和创新栽培方式成为研究热点.

沙棘在地理分布上非常广泛, 横跨欧亚大陆的温带区域. 我国是全球沙棘资源分布最广的国家, 拥有世界上最丰富的天然沙棘种质资源[14]. 山西省作为主要分布区, 占全国天然沙棘林面积的24%, 位居全国第一, 素有"世界沙棘在中国, 中国沙棘在山西"的说法. 吕梁市拥有山西省面积最大的天然野生沙棘林, 全市天然沙

* **收稿日期**: 2025-07-02
基金项目: 山西省吕梁市重点研发项目(2024NY08).
作者简介: 侯冬花(1980—), 女, 硕士, 讲师, 从事植物逆境生理生态的研究, E-mail: 497041495@qq.com.

棘林约占全省天然沙棘林面积的20%，其主要品种为中国沙棘（*Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis* Rousi），该品种在栽培上的优势主要表现为地区适应性强、枝刺较少、成熟时间早、采收不易破裂且果实产量高等，已成为适宜生长区的主要栽培亚种[15−17]. 合理开发利用本土野生中国沙棘资源，对促进区域生态恢复和经济发展具有重要意义.

山西省天然沙棘资源最丰富的吕梁市存在较严重的土壤盐渍化问题，但关于该地区野生中国沙棘盐胁迫的相关研究较少，利用外源物质缓解野生沙棘盐胁迫的研究未见报道. 故本文对2种野生中国沙棘种子萌发期耐盐性，以及不同外源$CaCl_2$浸种对盐胁迫缓解效果展开研究，筛选抗盐性种质，寻找缓解沙棘盐胁迫的最适外源钙浓度，以期为野生中国沙棘优良种质筛选、盐渍化土地充分有效利用和沙棘经济效益的高效发挥提供参考.

1　材料与方法

1.1　材料

2024年10月，采集山西省吕梁市交城县庞泉沟的2种野生中国沙棘果实，挑选成熟无病虫害的果实，取出种子，标记为交1和交2，充分清洗晾干，挑选籽粒饱满的种子，于4 ℃冰箱冷藏备用.

1.2　方法

1.2.1　试验设计

2025年3月，挑选大小均匀、籽粒饱满的野生中国沙棘种子（交1和交2），用蒸馏水浸泡24 h后，再用1%次氯酸钠溶液消毒处理15 min，蒸馏水冲洗3~5次，最后用滤纸吸干其表面水分. 将处理好的种子均匀放置于铺有3层滤纸的9 cm培养皿中，每个处理组放置50粒种子，重复3次，于恒温培养箱中进行萌发试验.

试验1：以2种野生中国沙棘种子（交1和交2）为试验材料，设置30、60、90、120、150 mmol/L 5个NaCl浓度梯度的处理组，并以蒸馏水处理作为对照组，所有处理均在25 ℃恒温培养箱中进行萌发试验. 以胚根突破种皮达到种子长度1/2作为种子萌发标志，每天观测并记录种子萌发情况，适时更换滤纸并补充处理液.

试验2：以2种野生中国沙棘种子（交1和交2）为试验材料，设置0.2%、0.3%、0.4%和0.5%（w/v）4个浓度梯度的$CaCl_2$溶液处理组（浸种24 h），并以蒸馏水浸种24 h作为对照组，在试验1筛选出的具有代表性的盐胁迫条件下开展萌发试验. 恒温培养箱温度为25 ℃，逐日记录萌发情况.

1.2.2　测定指标

（1）发芽率=(最终发芽种子数/供试种子总数)×100%.

（2）发芽势=(前3 d内供试种子的发芽数/供试种子总数)×100%.

（3）发芽指数=$\sum(Gt/Dt)$（Gt为第t天萌发数，Dt为天数）.

（4）逐日发芽率=(逐日发芽种子数/供试种子总数)×100%.

1.2.3　数据处理

利用SPSS 26.0软件，采用单因素方差分析和最小差异显著法对数据进行差异显著性分析，并运用Excel进行制图.

2　结果与分析

2.1　盐胁迫对野生中国沙棘种子萌发的影响

2.1.1　盐胁迫对野生中国沙棘种子发芽率的影响

盐胁迫对2种野生中国沙棘种子发芽率的影响呈现显著差异（图1）. 交1种子的发芽率随NaCl处理浓度的增加而降低，且处理组与对照组均存在显著差异（P<0.05）. 交2种子的发芽率在30、60 mmol/L较低浓度NaCl处理条件下，较对照组呈现显著升高（P<0.05），说明低盐胁迫环境促进交2种子萌发；当NaCl处理浓度达到90 mmol/L及以上时，交2种子发芽率开始下降，且处理组与对照组存在显著差异（P<0.05）.

2.1.2　盐胁迫对野生中国沙棘种子发芽势的影响

交1、交2种子的发芽势均随NaCl处理浓度的增加而逐步下降（图2）. 交1种子所有处理组的发芽势与对照组均差异显著. 交2种子在30 mmol/L NaCl处理下的发芽势与对照组无显著差异，其他处理组均与对照组差异显著（P<0.05）. 交1、交2种子的发芽势均在NaCl处理浓度90 mmol/L时大幅下降，交1降幅大于交2，表明交1种子对盐胁迫更为敏感.

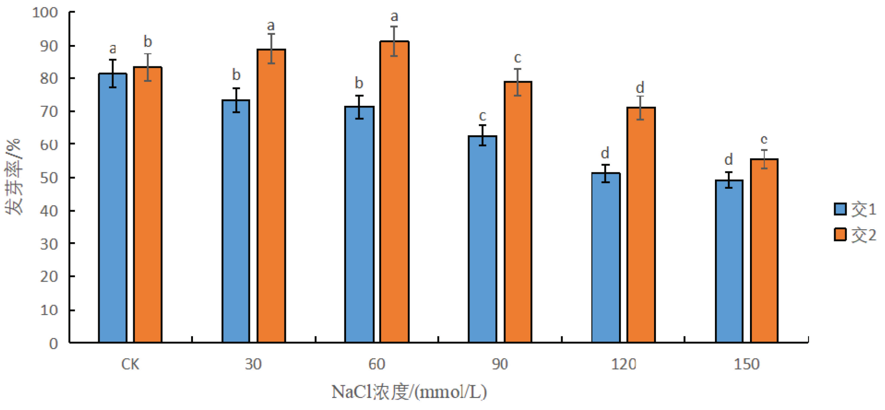

图 1 盐胁迫下野生中国沙棘种子发芽率

注:同一系列不同小写字母表示在0.05水平上差异显著($P<0.05$),下同

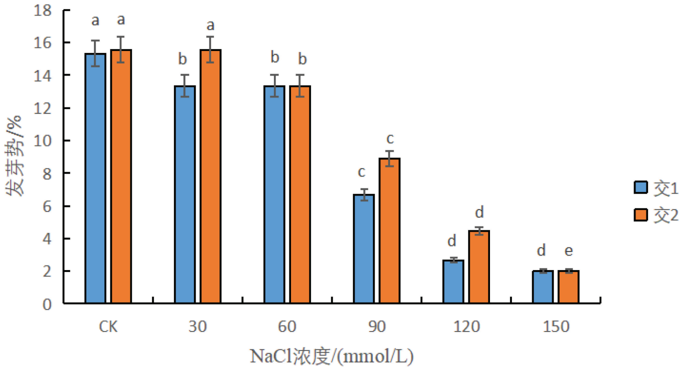

图 2 盐胁迫下野生中国沙棘种子发芽势

2.1.3 盐胁迫对野生中国沙棘种子发芽指数的影响

不同浓度NaCl处理对2种野生中国沙棘种子发芽指数的影响各异(图3). 交1种子的发芽指数随NaCl处理浓度的增加而降低,处理组与对照组间均存在显著差异($P<0.05$),表明交1种子对盐胁迫表现出高度敏感性. 与对照组相比,30、60 mmol/L NaCl处理组中交2种子的发芽指数有所提高,但差异不显著($P>0.05$);当NaCl处理浓度达到90 mmol/L及以上时,交2种子发芽指数开始显著下降,且处理组与对照组间均存在显著差异($P<0.05$).

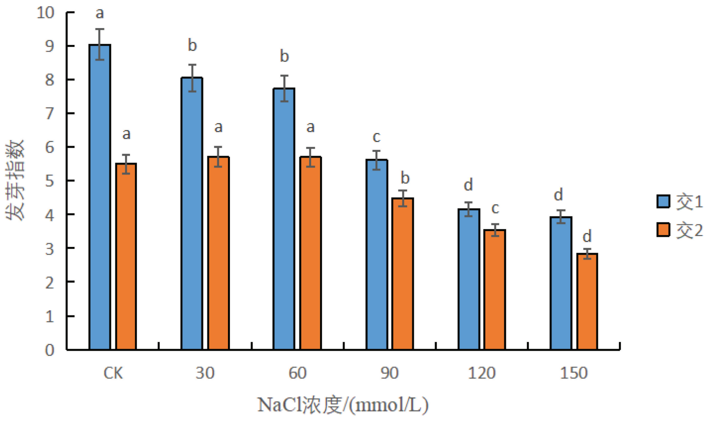

图 3 盐胁迫下野生中国沙棘种子发芽指数

2.1.4　盐胁迫对野生中国沙棘种子发芽进程的影响

不同浓度NaCl处理下，交1种子的逐日累积发芽率均呈先上升后趋于稳定的变化趋势，且所有处理组的逐日累积发芽率均低于对照组．在120、150 mmol/L NaCl处理组中，种子的萌发启动时间比对照组滞后1 d，其他处理组与对照组相同，均从第2 d开始萌发（图4）．

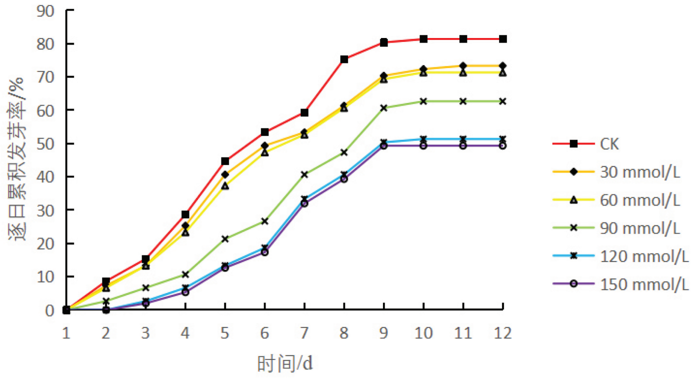

图 4　盐胁迫下交1种子萌发进程

所有处理组中，交2种子的逐日累积发芽率均呈先上升后趋于稳定的变化趋势，其中30、60 mmol/L NaCl处理组的逐日累积发芽率从萌发第5 d开始均高于对照组，最终发芽率也显著高于对照组，说明交2种子对低盐环境具有一定耐受性．在120、150 mmol/L NaCl处理组中，种子的萌发启动时间比对照组滞后1 d，其他处理组与对照组相同，均从第2 d开始萌发（图5）．

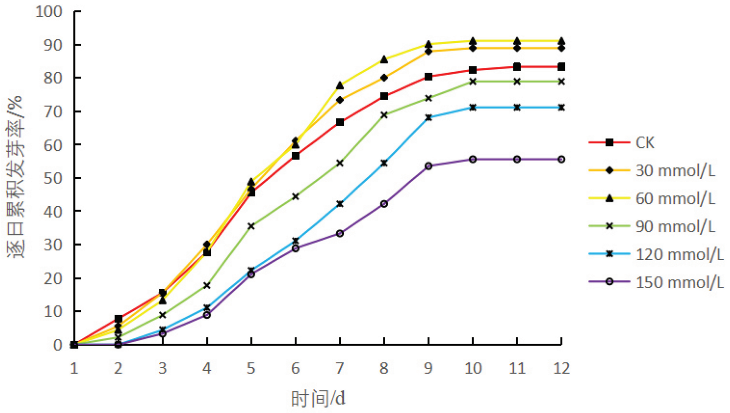

图 5　盐胁迫下交2种子萌发进程

综上所述，当NaCl浓度高于90 mmol/L时，交1、交2种子的萌发起始时间均被推迟．结合交1、交2种子的发芽率、发芽势及发芽指数均从90 mmol/L NaCl处理组开始大幅下降的情况，2种野生中国沙棘种子萌发被显著抑制的盐胁迫起始浓度为90 mmol/L NaCl，故将90 mmol/L NaCl作为试验2的盐胁迫处理．

2.2　外源钙对盐胁迫下野生中国沙棘种子萌发的影响

2.2.1　外源钙对盐胁迫下野生中国沙棘种子发芽率的影响

由图6可知，交1种子在0.2%、0.3%、0.4% $CaCl_2$处理组的发芽率随$CaCl_2$浓度升高而上升，0.5% $CaCl_2$处理组的发芽率虽有所下降，但所有处理组的发芽率均显著高于对照组（$P<0.05$）．交2种子在0.2%、0.3% $CaCl_2$处理组的发芽率与对照组无显著差异（$P>0.05$），其余处理组的发芽率显著高于对照组．交1、交2种子发芽率均在$CaCl_2$浓度为0.4%时达到峰值，随后显著下降，但仍显著高于对照组．

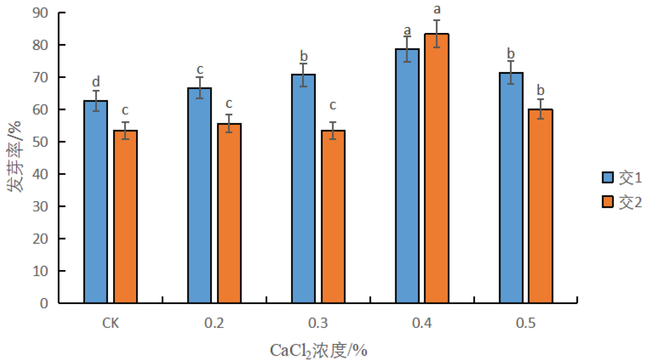

图 6 外源钙对盐胁迫下野生中国沙棘种子发芽率的影响

2.2.2 外源钙对盐胁迫下野生中国沙棘种子发芽势的影响

由图7可知，不同浓度$CaCl_2$处理对交1、交2种子在盐胁迫下的发芽势影响不同. 随着$CaCl_2$浓度升高，交1种子的发芽势呈先上升后下降的变化趋势，当$CaCl_2$浓度为0.4%时达到最高，与对照有显著差异，但与0.3% $CaCl_2$处理组差异不显著（$P>0.05$）. 交2种子在$CaCl_2$浓度为0.2%、0.3%的两个处理组的发芽势与对照组无显著差异（$P>0.05$），其余处理组显著高于对照组（$P<0.05$）. 交1、交2种子发芽势均在$CaCl_2$浓度为0.4%时达到最高，随后下降，但0.5% $CaCl_2$处理组仍显著高于对照组（$P<0.05$）.

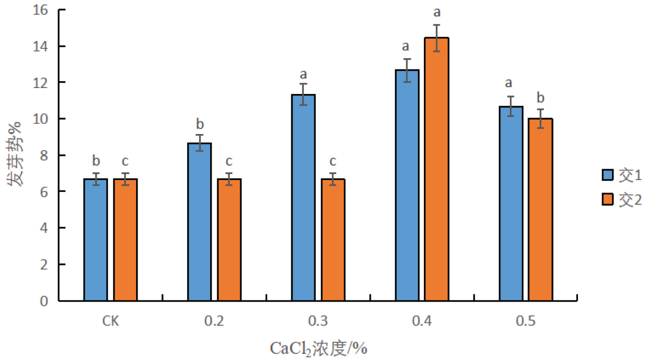

图 7 外源钙对盐胁迫下野生中国沙棘种子发芽势的影响

2.2.3 外源钙对盐胁迫下野生中国沙棘种子发芽指数的影响

由图8可知，交1、交2种子发芽指数随着$CaCl_2$浓度的增加，均呈先升高后降低的变化趋势，且均在$CaCl_2$浓度为0.4%时达到最高，与对照组有显著差异（$P<0.05$）. 交1种子的发芽指数在所有$CaCl_2$处理组中均显著高于对照组（$P<0.05$），而交2种子的发芽指数仅在0.4% $CaCl_2$处理组显著高于对照组（$P<0.05$）.

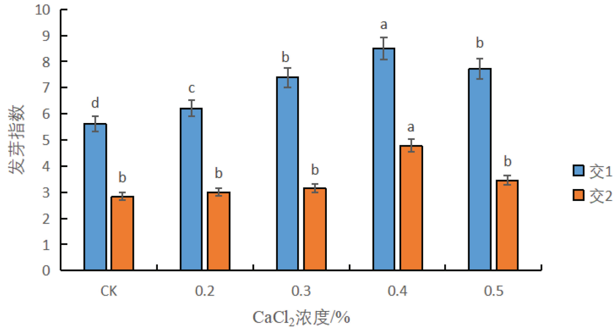

图 8 外源钙对盐胁迫下野生中国沙棘种子发芽指数的影响

2.2.4　外源钙对盐胁迫下野生中国沙棘种子萌发进程的影响

由图9可知，交1种子均于第2 d开始萌发，不同浓度$CaCl_2$处理对交1种子的逐日累积发芽率均呈先上升后趋于稳定的变化趋势．自第2 d起，所有处理组的逐日累积发芽率均高于对照组，且各处理组均与对照组最终发芽率差异显著（$P<0.05$）．其中$CaCl_2$浓度为0.4%的处理组表现最为突出，最终发芽率较对照组提高了16%.

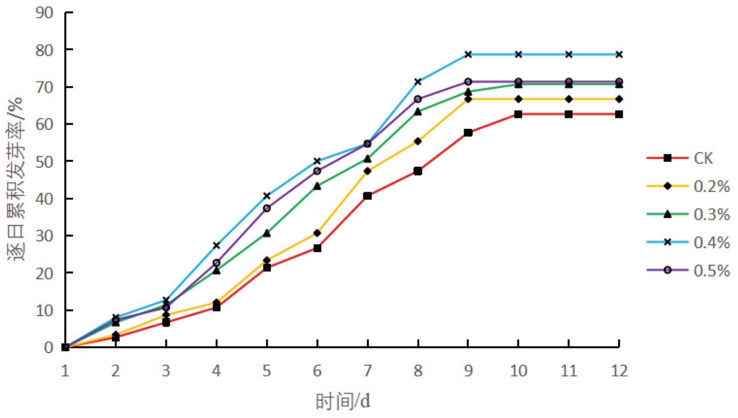

图 9　外源钙对盐胁迫下交1种子萌发进程的影响

交2种子均于第2 d开始萌发，逐日累积发芽率也呈先上升后趋于稳定的变化趋势（图10）．0.2%、0.3%、0.5% $CaCl_2$处理组在第2 d至第9 d内的逐日累积发芽率与对照组无显著差异．从最终发芽率来看，0.4%、0.5% $CaCl_2$处理组均显著高于对照组，其中以0.4% $CaCl_2$处理组表现最优，最终发芽率较对照组提高了30%.

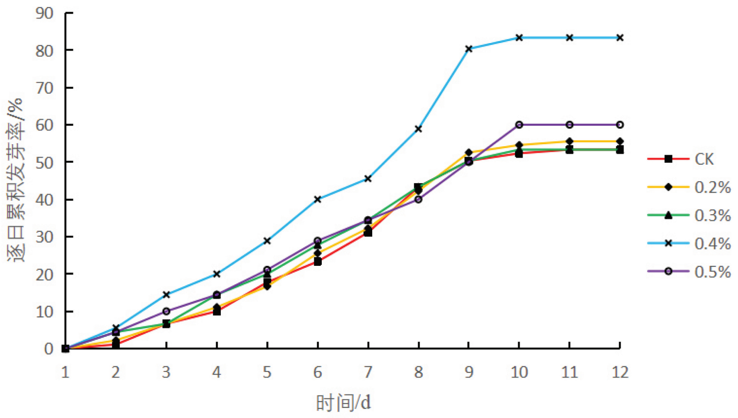

图 10　外源钙对盐胁迫下交2种子萌发进程的影响

综上所述，不同外源钙处理均减轻了盐胁迫对2种野生中国沙棘种子萌发的抑制作用，其中0.4% $CaCl_2$处理组缓解效果最好.

3　讨 论

对于种子植物而言，萌发期是植物整个生长周期中最为关键且敏感的阶段．种子萌发期的发芽率是衡量种子发芽能力的重要指标，发芽势和发芽指数反映种子发芽速度和整齐度，发芽指数能更敏感地体现种子活力，其数值越大，种子萌发速率就越快，进而影响发芽起始时间和持续时间．盐胁迫是影响种子萌发的最重要环境变量之一，主要原因是盐胁迫会改变植物质膜的完整性和通透性，产生渗透胁迫和离子毒害的双重效应[18−20]．高浓度的单盐胁迫对植物的伤害更大，会减缓种子吸水，抑制发芽和根的伸长[21−22]．本研究发现，野生中国沙棘交1种子的发芽率、发芽势及发芽指数均随NaCl处理浓度的增加而显著降低，与刘暾等[23]研究结果一致．交2种子的发芽率、发芽指数在低浓度（30、60 mmol/L）NaCl处理时较对照有所升高，可能是在种子萌发阶段，适当浓度的NaCl处理对种子内渗透调节有一定作用，降低了种子内渗透势，从而缓解了其对种子萌发的渗透胁

迫[24]. 当NaCl处理浓度达到90 mmol/L及以上时，2种野生中国沙棘种子的各萌发指标均显著低于对照组，发芽起始时间延后，表明随着盐胁迫强度增加，其对野生中国沙棘种子萌发的胁迫作用加重，与杨少辉等[25]、宋彬等[26]研究结果基本一致. 综上所述，交1种子萌发期对盐胁迫更敏感，低浓度盐胁迫下，交2种子萌发期的耐受性强于交1种子.

钙是植物生长发育所必需的大量元素之一，参与植物诸多生理过程，可维持细胞壁、细胞膜及膜结构蛋白的稳定性，调节无机离子的运输，缓解逆境胁迫伤害，具有提高植物抗逆性的作用[24]. 前人研究表明，Ca^{2+}可作为植物细胞内第二信使，传递盐碱胁迫信号，调节植株胞内离子平衡等. Ca^{2+}浓度的增加可以增强盐碱环境下植物细胞膜的稳定性与完整性，提升植株的盐碱耐受性[25,27]. 本研究发现，2种野生中国沙棘种子各萌发指标均随着外源钙浓度的增加，呈先上升后下降的变化趋势. 交1种子各$CaCl_2$处理组的发芽率、发芽势及发芽指数均高于对照组，交2种子在0.2%、0.3% $CaCl_2$处理组的萌发指标与对照组无显著差异，其他处理组显著高于对照组. 以$CaCl_2$浓度为0.4%的处理组对盐胁迫下2种野生中国沙棘种子萌发的缓解效果最优. 综上所述，外源钙缓解了盐胁迫对2种野生中国沙棘种子萌发的抑制，该结果与前人对于荆芥[28]、油菜[29]、小麦[2]、单叶蔷薇[30]等种子萌发的研究结果相一致.

4 结 论

盐胁迫会抑制2种野生中国沙棘种子的萌发，交1种子对盐胁迫更为敏感，所有处理组的发芽率、发芽势及发芽指数均显著低于对照组. 交2种子具有更高的耐盐性和生态适应性，可进一步进行选育推广. 采用外源$CaCl_2$浸种处理缓解了盐胁迫对2种野生中国沙棘种子萌发的影响，各处理组的发芽率、发芽势及发芽指数均较对照有所提高. 外源$CaCl_2$的最优浓度为0.4%，对盐胁迫的缓解效果最好. 盐胁迫下野生中国沙棘种子萌发特性的研究对吕梁市优良抗性种质资源的筛选及生态恢复具有重要意义.

参考文献:

[1] 牛宵宵，高素素，李王成，等. 基于文献计量的地下水动态变化对土壤水盐影响的研究进展与展望[J]. 水土保持通报，2024，44(5)：122-133+143.
NIU X X, GAO S S, LI W C, et al. Research progress and prospects on impacts of groundwater dynamics on soil water and salt based on bibliometrics[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(5): 122-133+143. (in Chinese)

[2] 侯颖，谢震. 盐胁迫下氯化钙对小麦种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 商丘师范学院学报，2021，37(3)：44-48.
HOU Y, XIE Z. Effect of calcium chloride on wheat seed germination and seedling growth under salt stress[J]. Journal of Shangqiu Normal University, 2021, 37(3): 44-48. (in Chinese)

[3] 王丽艳，杨帆，李睿瑞，等. 不同种类盐胁迫对绿豆种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报，2018，30(5)：20-26.
WANG L Y, YANG F, LI R R, et al. Effect of different salt stress on germination and seedling growth of mung bean seed[J]. Journal of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2018, 30(5): 20-26. (in Chinese)

[4] 王占军，王静，焦小雨，等. 盐胁迫及外源钙处理对盐肤木种子萌发的影响[J]. 基因组学与应用生物学，2016，35(3)：706-714.
WANG Z J, WANG J, JIAO X Y, et al. Effects of salt stress and exogenous calcium on seed germination of *Rhus chinensis*[J]. Genomics and Applied Biology, 2016, 35(3): 706-714. (in Chinese)

[5] 杨莎，侯林琳，郭峰，等. 盐胁迫下外源Ca^{2+}对花生生长发育、生理及产量的影响[J]. 应用生态学报，2017，28(3)：894-900.
YANG S, HOU L L, GUO F, et al. Effects of exogenous Ca^{2+} on growth and development, physiology and yield of peanut under salt stress[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(3): 894-900. (in Chinese)

[6] 马广民，赵孟如，怀婷婷，等. 水杨酸对盐胁迫下西瓜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国果树，2020(6)：36-40.
MA G M, ZHAO M R, HUAI T T, et al. Effects of salicylic acid on seed germination and seedling growth of watermelon under salt stress[J]. China Fruits, 2020(6): 36-40. (in Chinese)

[7] 苗恒录，张瑞强，王健，等. 沙棘的水土保持作用机制与效益[J]. 中国水土保持，2020(6)：34-36.
MIAO H L, ZHANG R Q, WANG J, et al. Mechanism and effect of seabuckthorn in soil and water conservation[J]. Soil and Water Conservation in China, 2020(6): 34-36. (in Chinese)

[8] 陈晓娜，赵纳祺，俞潇，等. 浅谈我国沙棘属植物生态适应性[J]. 温带林业研究，2023，6(4)：55-59.

CHEN X N, ZHAO N Q, YU X, et al. Research progress on ecological adaptability of *Hippophae* in China[J]. Journal of Temperate Forestry Research, 2023, 6(4): 55-59. (in Chinese)

[9] 张程慧，祁玉霞，程康蓉，等. 沙棘的综合价值研究进展[J]. 食品工业科技，2017，38(22)：331-335.
ZHANG C H, QI Y X, CHENG K R, et al. Advances on research and applications of *Hippophea rhamnoides*[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(22): 331-335. (in Chinese)

[10] 高月萍. 沙棘的开发利用价值研究[J]. 现代农业，2016(3)：82-83.
GAO Y P. Study on the development and utilization value of seabuckthorn[J]. Modern Agriculture, 2016(3): 82-83. (in Chinese)

[11] 何长廷，昂青才旦，才曾卓玛，等. 沙棘资源、药用状况及其对心血管疾病药理作用概述[J]. 中国野生植物资源，2023，42(4)：1-7+17.
HE C T, ANG Q, CAI Z, et al. Overview of *Hippophae rhamnoides* resources, medicinal status and pharmacological effects on cardiovascular diseases[J]. Chinese Wild Plant Resources, 2023, 42(4): 1-7+17. (in Chinese)

[12] 胡芳媛，申逸男，张文臣，等. 山西岚县沙棘产业现状与发展对策[J]. 山西林业科技，2023，52(1)：55-56.
HU F Y, SHEN Y N, ZHANG W C, et al. Current situation and development countermeasures of *Hippophae rhamnoides* industry in Lan County of Shanxi Province[J]. Shanxi Forestry Science and Technology, 2023, 52(1): 55-56. (in Chinese)

[13] 陈燕玲. 沙棘药用成分的研究及其活性初步探讨[D]. 无锡：江南大学，2017.
CHEN Y L. Study on the medicinal components of *Hippophae rhamnoides* and preliminary study on their activities[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017. (in Chinese)

[14] 林赫杰，陈钰. 沙棘研究现状、开发利用及发展前景[J]. 天津农业科学，2010，16(2)：128-130.
LIN H J, CHEN Y. Research status, development and prospects of seabuckthorn[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2010, 16(2): 128-130. (in Chinese)

[15] 侯冬花，张芊. 吕梁地区沙棘资源及产业开发研究[J]. 天津农业科学，2017，23(1)：44-46.
HOU D H, ZHANG Q. Study on the resources and industry development of sea-buckthorn in Lyuliang[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2017, 23(1): 44-46. (in Chinese)

[16] 王树青. 山西省吕梁市沙棘产业发展现状及对策分析[J]. 山西林业科技，2023，52(S1)：56-57.
WANG S Q. Present situation and countermeasures of seabuckthorn industry in Lyuliang City, Shanxi Province[J]. Shanxi Forestry Science and Technology, 2023, 52(S1): 56-57. (in Chinese)

[17] 张建国，黄铨，罗红梅. 沙棘优良杂种选育研究[J]. 林业科学研究，2005，18(4)：381-386.
ZHANG J G, HUANG Q, LUO H M. Hybrids breeding of seabuckthorn for multipurpose use[J]. Forest Research, 2005, 18(4): 381-386. (in Chinese)

[18] TOBE K, LI X M, OMASA K. Effects of five different salts on seed germination and seedling growth of *Haloxylon ammodendron* (Chenopodiaceae)[J]. Seed Science Research, 2004, 14(4): 345-353.

[19] MUNNS R. Genes and salt tolerance: Bringing them together[J]. The New Phytologist, 2005, 167(3): 645-663.

[20] WANG Y, JIANG G Q, HAN Y N, et al. Effects of salt, alkali and salt-alkali mixed stresses on seed germination of the halophyte *Salsola ferganica* (Chenopodiaceae)[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(6): 354-360.

[21] UHVITS R. Effect of osmotic pressure on water absorption and germination of alfalfa seeds[J]. American Journal of Botany, 1946, 33(4): 278-285.

[22] 王汉，乔枫. 沙棘属逆境生理研究进展[J]. 北方园艺，2021(9)：138-142.
WANG H, QIAO F. Research advances in stress physiology of *Hippophae rhamnoides* L.[J]. Northern Horticulture, 2021(9): 138-142. (in Chinese)

[23] 刘暾，债婕陶. 不同处理对中国沙棘种子萌发的影响试验[J]. 南方农业，2024，18(13)：262-264+273.
LIU T, ZHAI J T. Experiment on the effects of different treatments on seed germination of Chinese seabuckthorn[J]. South China Agriculture, 2024, 18(13): 262-264+273. (in Chinese)

[24] 张紫薇，庞春花，张永清，等. 等渗NaCl和PEG胁迫及复水处理对藜麦种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 作物杂志，2017(1)：119-126.
ZHANG Z W, PANG C H, ZHANG Y Q, et al. Effects of iso-osmotic NaCl and PEG stress and rewatering on seed germination and seedling growth of quinoa[J]. Crops, 2017(1): 119-126. (in Chinese)

[25] 杨少辉，季静，王罡. 盐胁迫对植物的影响及植物的抗盐机理[J]. 世界科技研究与发展，2006，28(4)：70-76.
YANG S H, JI J, WANG G. Effects of salt stress on plants and the mechanism of salt tolerance[J]. World Sci-Tech R &

D, 2006, 28(4): 70-76. (in Chinese)

[26] 宋彬,胡安鸿,海利力·库尔班. 温度及盐胁迫对新疆两种沙棘种子萌发的影响[J]. 江西农业大学学报,2017,39(6):1196-1204.
SONG B, HU A H, HAILILI K. Influence of temperature and salt stress on seed germination of two species of *Hippophae rhamnoides* L. in Xinjiang[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2017, 39(6): 1196-1204. (in Chinese)

[27] 熊露茜,冯国军,刘大军,等. 外源$CaCl_2$和Vc对干旱胁迫下菜豆种子萌发及生理活性的影响[J]. 黑龙江大学工程学报,2023,14(1):106-112.
XIONG L X, FENG G J, LIU D J, et al. Effects of exogenous $CaCl_2$ and Vc on germination and physiological activities of soybean seeds under drought stress[J]. Journal of Engineering of Heilongjiang University, 2023, 14(1): 106-112. (in Chinese)

[28] 张胜珍, 马艳芝. 氯化钙对盐胁迫下荆芥种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(7): 65-71.
ZHANG S Z, MA Y Z. Effects of $CaCl_2$ on seed germination and seedling physiological characteristics of *Schizonepeta tenuifolia* Briq. under salt stress[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2021, 23(7): 65-71. (in Chinese)

[29] 魏倩倩, 孙文轩, 李腾升, 等. 山梨醇螯合钙对NaCl胁迫下油菜种子萌发的影响[J]. 土壤, 2022, 54(2): 285-290.
WEI Q Q, SUN W X, LI T S, et al. Effect of sorbitol chelated calcium on seed germination of rapeseed under NaCl stress[J]. Soils, 2022, 54(2): 285-290. (in Chinese)

[30] 闫振,李进,阿丽努尔·阿卜来提,等. 外源钙对盐胁迫下单叶蔷薇种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 草地学报,2022,30(5):1185-1193.
YAN Z, LI J, ALINUER A, et al. Effects of exogenous calcium on seed germination and seedling growth of *Hulthemia berberifolia* under salt stress[J]. Acta Agrestia Sinica, 2022, 30(5): 1185-1193. (in Chinese)

责任编辑: 刘 敏

Salt Tolerance of Wild *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis* Rousi Seeds During Germination and Response to Exogenous Calcium under Salt Stress

HOU Donghua

(*Department of Biological and Food Engineering, Lyuliang University, Lyuliang Shanxi 033001, China*)

Abstract： To explore the salt tolerance of wild *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis* Rousi seeds during germination and their response to exogenous calcium under salt stress, two types of wild *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis* Rousi seeds (Jiao 1 and Jiao 2) are used as experimental materials. Firstly, the seeds are subjected to NaCl salt stress treatments at five concentration levels (30, 60, 90, 120, 150 mmol/L), with distilled water treatment as the control (CK), to compare the salt tolerance of the two types of wild *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis* Rousi seeds. The results show that, compared with the control group, the germination rate, germination energy, and germination index of Jiao 1 seeds are showed a significant decreasing trend with the increase of NaCl concentration (P<0.05). For Jiao 2 seeds, the germination index in the 30 and 60 mmol/L NaCl treatment groups is higher than that in the control group (P>0.05), and the germination rate is significantly higher than that in the control group (P<0.05). When the two types of wild *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis* Rousi seeds are under 90 mmol/L NaCl stress, all indicators during the germination period significantly decreased compared with the control (P<0.05). In the treatment groups with NaCl concentration higher than 90 mmol/L, the germination initiation days are delayed by 1 day compared with the control group. Seeds of Jiao 1 and Jiao 2 are soaked in 0.2%, 0.3%, 0.4%, and 0.5% (w/v) $CaCl_2$ solutions for 24 hours, with seeds soaked in distilled water for 24 hours as the control, followed by germination tests under 90 mmol/L NaCl stress. The results show that exogenous $CaCl_2$ could alleviate the effect of salt stress on the germination of Jiao 1 and Jiao 2 seeds to varying degrees. The soaking treatment with 0.4% $CaCl_2$ has the best alleviating effect on salt stress, with germination rate, germination energy, and germination index significantly higher than those of the control group (P<0.05), and the germination initiation days are the same as those of the control group. In conclusion, the salt tolerance of Jiao 2 seeds during germination is better than that of Jiao 1, and exogenous calcium can alleviate the salt stress during the germination period of the two types of wild *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis* Rousi seeds.

Key words： salt stress; seed germination; wild *Hippophae rhamnoides* subsp. *sinensis* Rousi; exogenous calcium

Fund Project: Key R&D Project of Lyuliang City, Shanxi Province (2024NY08).

Author Profile: HOU Donghua (1980—), female, master, lecturer, research field: plant stress physiological ecology, E-mail: 497041495@qq.com.

جۇڭگو ياۋا جىغىنى ئۇرۇقىنىڭ بىخلىنىش مەزگىلىدىكى شورغا چىدامچانلىقى ۋە شور تەھدىتى ئاستىدا سىرتقى مەنبەلىك كالتسىيغا ئىنكاسى

خوۋ دۇڭخۇا

(لۈلياڭ شۆيۈەنى بىيولوگىيە ۋە يېمەكلىك قۇرۇلۇشى فاكۇلتېتى شەنشى لۈلياڭ 033001)

1. مەقسەت

ماقالىدە، جۇڭگو ياۋا جىغىنى ئۇرۇقىنىڭ بىخلىنىش مەزگىلىدىكى شورغا چىدامچانلىقى ۋە شور تەھدىتى ئاستىدىكى سىرتقى مەنبەلىك كالتسىيغا بولغان ئىنكاسى ئۈستىدە ئىزدىنىش، شورغا چىدامىلىق سورتلارنى تال ـ لاپ چىقىش ۋە شور تەھدىتىنى يەڭگىللىتىدىغان ئەڭ مۇۋاپىق سىرتقى مەنبەلىك كالتسىينىڭ قويۇقلۇقىنى ئېنىقلاپ چىقىش ئۈچۈن، شەنشى ئۆلكىسى لۈلياڭ شەھىرى جياۋچېڭ ناھىيەسىدىكى لۇڭچۈەنگوۋدا ئۆسىدىغان ئىككى خىل جۇڭگو ياۋا جىغىنىنىڭ ئۇرۇقى (جياۋ1 ۋە جياۋ2) تەتقىقات ئوبيېكتى قىلىنىپ تەجرىبە ئىشلەندى، تەجرىبە سانلىق مەلۇماتلىرىنى ئىستاتىستىكىلاپ ئانالىز قىلىش ھەم يەكۈنلەش ئارقىلىق چىقىرىلغان خۇلاسە ئەلا سۈپەتلىك جۇڭگو ياۋا جىغان سورتىنى تاللاش، شورلاشقان يەرلەردىن ئۈنۈملۈك پايدىلىنىش، جىغاننىڭ ئې ـ كولوگىيەلىك ئۈنۈمى ۋە ئىقتىسادىي ئۈنۈمىنى جارى قىلدۇرۇشتىكى پايدىلانما سۈپىتىدە تەمىنلەندى.

2. ماتېرىيال ۋە ئۇسۇل

2024 ـ يىلى 10 ـ ئايدا شەنشى ئۆلكىسى لۈلياڭ شەھىرى جياۋچېڭ ناھىيەسىدىكى لۇڭچۈەنگوۋدىن ئىككى خىل جۇڭگو ياۋا جىغىنىنىڭ مېۋىسى يىغىۋېلىنىپ ئۇرۇقى ئېلىنىپ، يۇيۇپ قۇرۇتۇلغاندىن كېيىن، توق ئۇرۇق تاللىنىپ، 4 ℃ تا ساقلىنىپ، تەجرىبە ماتېرىيالى سۈپىتىدە ئىشلىتىشكە تەييارلاندى.

تەجرىبە لايىھەسى بويىچە، ئالدى بىلەن قويۇقلۇقى ئايرىم ـ ئايرىم ھالدا 30 mmol/L، 60 mmol/L، 90 mmol/L، 120 mmol/L، 150 mmol/L بولغان بەش گۇرۇپپا NaCl ئېرىتمىسى تەييارلاندى. دىستىللەنگەن سۇ سېلىشتۇرما (CK) گۇرۇپپا قىلىنىپ، ئىككى خىل ئۇرۇقنى 25 ℃ لۇق تۇراقلىق تېمپېراتۇرا شارائىتىدا بىخلاندۇرۇش تەجرىبىسى ئىشلەندى. ھەر كۈندىكى بىخلىنىش ئەھۋالى خاتىرىلەندى (ئۇرۇق پوستىنىڭ 1/2 نى يېرىپ چىققان تۆرەلمە يىلتىزى بىخلىنىش بەلگىسى قىلىندى)، ھەر بىر گۇرۇپپىدا 50 دانە ئۇرۇق تەجرىبىگە قاتناشتۇرۇلدى. ئۇنىڭدىن كېيىن، ئالدىنقى تەجرىبىدىكى 90 mmol/L قويۇقلۇقتىكى NaCl ئېرىتمىسى شور تەھدىتى سىناق ئېرىتمىسى قىلىندى، 0.2%، 0.3%، 0.4%، 0.5% لىك بەش گۇرۇپپا $CaCl_2$ ئېرىتمىسى بىر تەرەپ قىلىش گۇرۇپپىسى قىلىنىپ، ئۇرۇق 24 سائەت چىلاندى، بىر گۇرۇپپا ئۇرۇق دىستىللەنگەن سۇغا چىلد ـ نىپ سېلىشتۇرما (CK) قىلىندى، كېيىنكى قەدەمدە ئۇرۇق ئوخشاش شارائىتتا بىخلاندۇرۇلۇپ، ھەر كۈندىكى بىخلىنىش ئەھۋالى خاتىرىلەندى. ئاخىرىدا، بىخلىنىش نىسبىتى، بىخلىنىش كۈچى، بىخلىنىش كۆرسەتكۈ ـ چى، تەدرىجىي بىخلىنىش نىسبىتى قاتارلىق كۆرسەتكۈچلەر ئۆلچەندى .

ئاپتور: خوۋ دۇڭخۇا (1980 ــ)، ئايال، ماگىستىر، لېكتور، ئاساسلىقى ئۆسۈملۈكلەرنىڭ ئوڭۇشسىز شارائىتتىكى فىزىيولوگىيەسى ۋە ئېكولوگىيەسى تەتقىقاتى بىلەن شۇغۇللىنىدۇ، E - mail: 497041495@qq.com.

3. نەتىجە

جياۋ1 گۇرۇپپىسىدىكى ئۇرۇقنىڭ بىخلىنىش نىسبىتى، بىخلىنىش كۈچى، بىخلىنىش كۆرسەتكۈچى NaCl قويۇقلۇقىنىڭ ئېشىشىغا ئەگىشىپ كۆرۈنەرلىك تۆۋەنلىدى($P < 0.05$)؛ جياۋ2 گۇرۇپپىسىدىكى ئۇرۇقنى 30 mmol/L، 60 mmol/L قويۇقلۇقتىكى ئېرىتمىدە بىر تەرەپ قىلغاندا، بىخلىنىش نىسبىتى سېلىشتۇرمىغا قارىغاندا كۆرۈنەرلىك يۇقىرى بولدى ($P < 0.05$)، بىخلىنىش كۆرسەتكۈچى سېلىشتۇرما بىلەن روشەن پەرقلەنمىدى ($P > 0.05$)، NaCl ئېرىتمىسىنىڭ قويۇقلۇقى 90 mmol/L ھەم ئۇنىڭدىن يۇقىرى بولغاندا، ئىككى گۇرۇپپىدىكى ئۇرۇقنىڭ ھەر قايسى بىخلىنىش كۆرسەتكۈچلىرى كۆرۈنەرلىك تۆۋەن بولدى ($P < 0.05$). NaCl ئېرىتمىسىنىڭ قويۇقلۇقى 90 mmol/Lدىن يۇقىرى بولغاندا ئىككى گۇرۇپپىدىكى ئۇرۇقنىڭ بىخلىنىشقا باشلىغان ۋاقتى سېلىشتۇرمىغا قارىغاندا بىر كۈن كېيىن بولدى، 90 mmol/L قويۇقلۇقتىكى NaCl ئېرىتمىسى كېيىنكى شور تەھدىتى ئېرىتمىسىنىڭ قويۇقلۇقى قىلىپ بېكىتىلدى.

سىرتقى مەنبەلىك $CaCl_2$نىڭ شور تەھدىتى ئاستىدىكى ئۇرۇقنىڭ بىخلىنىشىغا بولغان تەسىرى ئىككى جەھەتتە ئىپادىلەندى: بىرىنچى، سىرتقى مەنبەلىك $CaCl_2$ شور تەھدىتىنىڭ تىزگىنلەش رولىنى تۆۋەنلەتتى، ئىككى گۇرۇپپا ئۇرۇقنىڭ بىخلىنىش نىسبىتى، بىخلىنىش كۈچى، بىخلىنىش كۆرسەتكۈچى $CaCl_2$ ئېرىتمىسى قويۇقلۇقىنىڭ ئېشىشىغا ئەگىشىپ ئاۋۋال ئېشىپ كېيىن تۆۋەنلىدى. ئىككىنچى، 0.4%لىك $CaCl_2$تا بىر تەرەپ قىلغاندا ئۈنۈمى ئەڭ ياخشى بولدى، ئىككى گۇرۇپپا ئۇرۇقنىڭ بىخلىنىش نىسبىتى، بىخلىنىش كۈچى، بىخلىنىش كۆرسەتكۈچى سېلىشتۇرمىغا قارىغاندا كۆرۈنەرلىك يۇقىرى بولدى($P < 0.05$)، بىخلىنىشقا باشلىغان ۋاقتى سېلىشتۇرما بىلەن بىردەك بولدى. جياۋ1نى ھەرقايسى قويۇقلۇقتىكى $CaCl_2$دا بىر تەرەپ قىلغاندا كۆرسەتكۈچلەر سېلىشتۇرمىدىن روشەن يۇقىرى بولدى، جياۋ2 نىڭ 0.4% ۋە 0.5%لىك $CaCl_2$دا بىر تەرەپ قىلغاندىكى كۆرسەتكۈچلىرى سېلىشتۇرمىغا قارىغاندا كۆرۈنەرلىك يۇقىرى بولدى.

4. خۇلاسە

شور تەھدىتى ئىككى خىل جۇڭگو ياۋا جىغىنىنىڭ بىخلىنىشىنى تىزگىنلەيدىغان بولۇپ، جياۋ2نىڭ بىخلىنىش مەزگىلىدە شورنىڭ تەسىرىگە ئۇچرىشى جياۋ1نىڭكىدىن ئاجىز؛ جىغان ئۇرۇقىنى سىرتقى مەنبەلىك كالتسىيغا چىلىغاندا شور تەھدىتىنىڭ ئىككى گۇرۇپپا ئۇرۇقنىڭ بىخلىنىشىغا كۆرسىتىدىغان تەسىرىنى ئاجىزلاشتۇرغىلى بولىدۇ. سىرتقى مەنبەلىك كالتسىينىڭ ئەڭ ئۈنۈملۈك قويۇقلۇقى 0.4%.

5. يېڭىلىق يارىتىش نۇقتىسى

بىرىنچى، شەنشى ئۆلكىسى لۇلياڭ شەھىرىنىڭ تۇپرىقى شورلاشقان رايونلىرىدا جۇڭگو ياۋا جىغىنى ئۆستۈرۈش توغرىسىدا تەتقىقات ئىشلىنىپ، بۇ رايوندا ياۋا جىغاننىڭ شور تەھدىتى ۋە سىرتقى مەنبەلىك كالتسىينىڭ شور تەھدىتىنى ئازايتىش تەتقىقاتىدىكى بوشلۇق تولدۇرۇلدى.

ئىككىنچى، ئىككى خىل جۇڭگو ياۋا جىغان ئۇرۇقىنىڭ بىخلىنىش مەزگىلىدە شورغا چىدامچانلىقىدىكى پەرق ھەم شور تەھدىتى كۆرۈنەرلىك رول ئوينىشقا باشلىغان قويۇقلۇق (90 mmol/L) ئېنىقلىنىپ، شورغا چىدامىلىق سورتلارنى تاللاپ چىقىش ئاساس بىلەن تەمىنلەندى.

ئۈچىنچى، شور تەھدىتىنى يەڭگىللىتىدىغان سىرتقى مەنبەلىك $CaCl_2$نىڭ ئەڭ مۇۋاپىق قويۇقلۇقى (0.4%) ئېنىقلىنىپ، شورلاشقان تۇپراقتا جىغان ئۆستۈرۈشتە شور زىيىنىنى يەڭگىللىتىش ئەمەلىي ئاساس بىلەن تەمىنلەندى.

ئاچقۇچلۇق سۆزلەر: شور تەھدىتى؛ ئۇرۇق بىخلىنىش؛ جۇڭگو ياۋا جىغىنى؛ سىرتقى مەنبەلىك كالتسىي