

盐胁迫下钙离子对苜蓿种子萌发的影响

常青山¹, 张利霞², 郑轶琦¹, 王 宁¹, 张巧明¹, 楚爱香¹

(1. 河南科技大学 林学院, 河南 洛阳 471003; 2. 河南科技大学 农学院, 河南 洛阳 471003)

摘 要:以苜蓿为试材, 采用不同浓度 CaCl_2 溶液对苜蓿进行浸种处理, 研究了盐胁迫下钙离子对苜蓿种子发芽和生长的影响, 以期寻找苜蓿发芽阶段缓解盐胁迫的最佳浸种浓度。结果表明: 随着钙溶液处理浓度的升高, 盐胁迫下苜蓿种子发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、鲜重、苗高、根长均呈现先增加后下降的趋势; 隶属函数综合分析表明, 钙溶液浸种对盐胁迫下苜蓿种子发芽能力影响效果由大到小依次为 20、40、10、80、5、0 mmol/L, 以 20 mmol/L 的钙溶液浸种处理对提高苜蓿种子发芽阶段抗盐胁迫的效果最佳。

关键词:苜蓿; 氯化钙溶液; 盐胁迫; 种子萌发; 隶属函数分析

中图分类号:S 551⁺.703.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)10-0064-05

世界上盐碱地占陆地面积的 25%, 在中国有 $9\,913 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 的盐渍地^[1], 其开发利用对于提高农业生产具有重要意义。盐渍土中通常含有较高的盐分, 容易形成渗透胁迫, 影响离子平衡, 产生盐害, 从而严重影响植物的正常的生长发育^[2]。一般地, 植物种子在萌发与幼苗阶段比较敏感, 极易受到盐胁迫的不良影响^[3]。因此, 许多逆境胁迫的相关研究均在种子萌发与植物幼苗阶段展开^[4-7]。大量研究表明, 外源钙处理可以维持细胞膜的稳定性、提高酶活性、减轻逆境胁迫造成的氧化伤害^[8-9]、缓解盐胁迫等多种胁迫伤害^[6, 10-11]。

牧草种子在不同盐渍地条件下萌发率高低是这类草地建植的核心问题之一, 提高牧草种子在盐渍地的萌发能力是草场建植成功的关键^[12]。苜蓿 (*Medicago sativa*) 因其蛋白质含量高, 适口性好等优点而被誉为“牧草之王”。研究外源钙对苜蓿在盐胁迫下的萌发能力缓解作用, 对于在盐渍地苜蓿草场的建植具有重要意义。现以苜蓿种子为试材, 研究了不同浓度 CaCl_2 溶液浸种对盐胁迫下苜蓿种子萌发特性的影响, 以期为北方盐渍地苜蓿草场的建植提供理论与实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试苜蓿 (*Medicago sativa*) 品种‘标杆’种子, 购自江苏省农业科学院, 从澳大利亚进口, 室内袋装贮

藏。RXZ-300D 人工智能气候箱 (宁波江南仪器制造厂)。

1.2 试验方法

利用 RXZ-300D 人工智能气候箱进行种子发芽试验。培养条件: 温度 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$, 光照变幅 12 h/12h, 相对湿度 80%。准确称取无水 CaCl_2 , 以去离子水配制成 0、5、10、20、40、80 mmol/L 的 CaCl_2 溶液。选取大小基本一致足量的苜蓿种子, 用 75% 的酒精浸泡消毒 30 min, 再经去离子水漂洗 3 次并用吸水纸吸干表面水分, 晾干后在上述配好的各种浓度 CaCl_2 溶液及去离子水 (对照) 中浸泡 12 h 后, 用去离子水漂洗种子 3 次, 吸水纸吸干种子表面的水分晾干备用。将浸种晾干后的种子放入预先铺上 2 层滤纸的培养皿中, 每皿 50 粒, 3 次重复, 保持间距尽量一致。每个培养皿加入适量 150 mmol/L 的 NaCl 溶液进行胁迫处理, 设置 2 个对照 (CK1, 去离子水浸种, 去离子水中发芽; CK2, 去离子水浸种, 盐胁迫下进行发芽) (表 1)。每 2 d 换一次盐胁迫溶液, 每天打开 2 次, 与外界换气 5 min, 每 24 h 观察记录发芽情况; 最后一天记录最终发芽数, 幼苗鲜重、苗高与根长。采用国家标准^[13]规定的苜蓿末次计数时间 (第 10 天), 从第 1 天开始每天统计发芽的种子数, 10 d 后计算以下相关指标^[14-15]。发芽率 (GR) = $(n/N) \times 100\%$ (n 为最终达到的正常发芽粒数, N 为供试种子数); 发芽势 (GP) = $(n_4/N) \times 100\%$ (n_4 为种子第 4 天的正常发芽粒数, N 为供试种子数); 发芽指数 (GI) = $\sum (G_t/D_t)$ (G_t 在 t 天的发芽数, D_t 为相应的发芽天数); 活力指数 = $GI \times S$ (GI 为发芽指数, S 为单株生长总长度); 随机抽取 10 株, 测量苜蓿幼苗鲜重, 并测定苗高与根长。

1.3 数据分析

数据采用 SPSS 13.0 进行方差分析与多重比较

第一作者简介:常青山 (1979-), 男, 博士, 讲师, 现主要从事园林植物与草坪学等研究工作。E-mail: mehero2010@126.com.

基金项目:河南科技大学博士科研启动基金资助项目 (09001697, 09001690)。

收稿日期:2013-12-31

(Duncan 新复极差法),然后采用 Origin 8.0 作图。采用隶属函数法进行综合评价^[16]。隶属函数值计算公式: $R(X_j) = (X_j - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$ (1); 反隶属函数值计算公式: $R(X_j) = 1 - (X_j - X_{min}) / (X_{max} - X_{min})$ (2)。式中, X_j 为第 j 个综合指标, X_{min} 、 X_{max} 分别为第 j 个综合指标的最小值和最大值。若所测指标与抗性指标正相关则采用公式(1),反之采用公式(2)。最后用各处理各指标的隶属函数值的累加值进行抗性大小比较,累加值越大,说明缓解效果越好。

表 1 苜蓿种子的不同处理组合

Table 1 The different treatment on the seeds of *Medicago sativa*

处理 Treatment	NaCl	Ca ²⁺
清水对照 (CK1)	0	0
盐胁迫对照 (CK2)	150	0
T1	150	5
T2	150	10
T3	150	20
T4	150	40
T5	150	80

2 结果与分析

2.1 CaCl₂ 溶液浸种对苜蓿种子发芽率和发芽势的影响

由图 1-A~B 可知,在盐胁迫条件下,经过 CaCl₂ 浸种的苜蓿种子发芽率与发芽势均呈现先增加后降低的趋势。与 CK1 相比,CaCl₂ 浸种各处理的发芽率与发芽

势均低于 CK1,但均高于 CK2,其中 10~40 mmol/L CaCl₂ 处理的发芽率和发芽势与 CK2 相比均达到显著水平。随着 CaCl₂ 溶液浓度的升高,20 mmol/L CaCl₂ 溶液浸种处理下苜蓿发芽率与发芽势达到最大值,其次为在 40~80 mmol/L CaCl₂ 溶液浸种处理,其发芽率与发芽势有所下降,但仍旧高于 CK2。在 20 mmol/L CaCl₂ 溶液浸种下苜蓿的发芽率与发芽势分别比 CK2 增加了 14.14%和 17.78%;在 40 mmol/L CaCl₂ 溶液浸种下,苜蓿的发芽率与发芽势分别比 CK2 增加了 11.11%与 16.67%。

2.2 CaCl₂ 溶液浸种对苜蓿种子发芽指数与活力指数的影响

从图 1-C~D 可以看出,5~80 mmol/L CaCl₂ 处理对盐胁迫下的苜蓿种子的发芽指数与活力指数处理效果均高于 CK2,但均低于 CK1;CK2 的发芽指数与活力指数均显著低于 CK1,说明盐胁迫可以显著降低苜蓿的发芽指数与活力指数。随着 CaCl₂ 溶液浸种浓度升高,苜蓿种子发芽指数与活力指数呈现先上升后下降的趋势,在高浓度 80 mmol/L CaCl₂ 浓度下,苜蓿的发芽指数与活力指数下降。就发芽指数来说,10~40 mmol/L CaCl₂ 溶液处理与 CK2 相比差异显著,20、40 mmol/L 处理分别比 CK2 增加了 12.27%与 13.39%;对于活力指数而言,20、40 mmol/L CaCl₂ 处理分别比 CK2 增加了 134.44%与 122.36%。

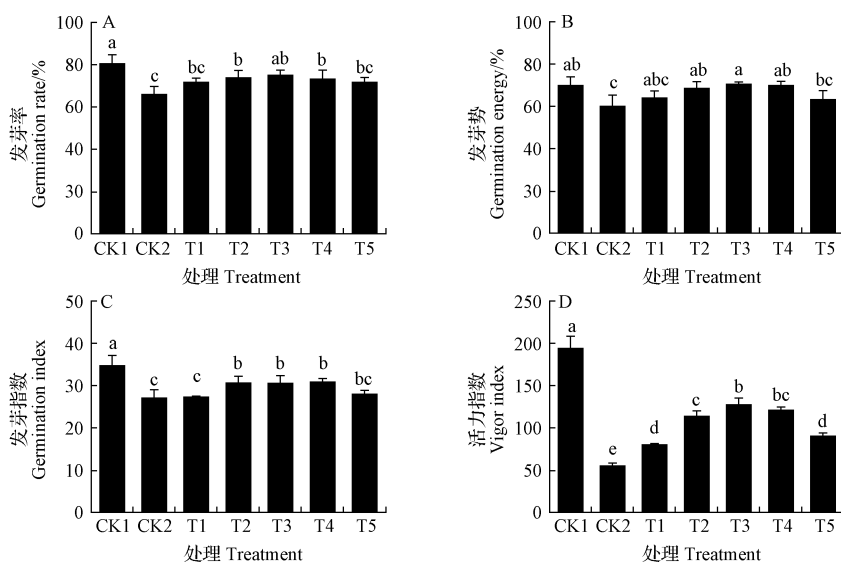


图 1 CaCl₂ 溶液浸种对盐胁迫下苜蓿种子发芽率(A)、发芽势(B)、发芽指数(C)、活力指数(D)的影响

注:不同小写字母代表 0.05 水平下差异显著,下同。

Fig. 1 Effects of seeds soaking in CaCl₂ solution on germination rate (A), germination energy (B), germination index (C), vigor index (D) of the seeds of *Medicago sativa* under salt stress

Note: Different lowercase letters mean significant difference at 0.05 level, the same below.

2.3 CaCl₂ 溶液浸种对盐胁迫下苜蓿幼苗生长的影响

由图 2-A 可知,不同浓度下 CaCl₂ 溶液浸种处理对

盐胁迫下苜蓿种子幼苗鲜重的处理效果均高于 CK2,其中 10~80 mmol/L CaCl₂ 浓度处理下的鲜重显著高于

CK2 和 CK1。随着 CaCl_2 浓度的增加,苜蓿鲜重的变化呈现先增加后下降的趋势,其中 20、40 mmol/L CaCl_2 浓度处理下的苜蓿鲜重分别比 CK2 增加了 30.53% 与 24.22%。CK1 的鲜重与 CK2 相比未达显著水平,较高浓度的 CaCl_2 浓度处理却可以有效地提高苜蓿幼苗鲜重并与对照和 5 mmol/L CaCl_2 处理达显著水平。从图2-B 可以看出,CK2 处理下的苗高低于 CK1,但未达显著水平,说明盐胁迫对幼苗的苗高影响较小。随着 CaCl_2 浓度的增加,苜蓿苗高的变化呈现先增加后下降的趋势,10~40 mmol/L CaCl_2 浓度处理下苜蓿幼苗苗高均显著高于

CK2 和 CK1,其中,20、40 mmol/L CaCl_2 浓度处理的幼苗苗高分别比 CK2 提高了 33.81% 与 23.87%。而从根长数据来看,苜蓿根长的变化同样随着 CaCl_2 浓度的增加呈现先增加后下降的趋势,CK2 显著低于 CK1 处理下的根长,与其相比降低了 72.50%。5~80 mmol/L CaCl_2 浓度处理下的幼苗根长均显著高于 CK2,其中 20、40 mmol/L CaCl_2 浓度处理分别比 CK2 增加了 143.36% 与 129.35%。从增加的幅度来看, CaCl_2 浸种处理对苗高的影响较小,对根长的影响要高于对苗高的影响。

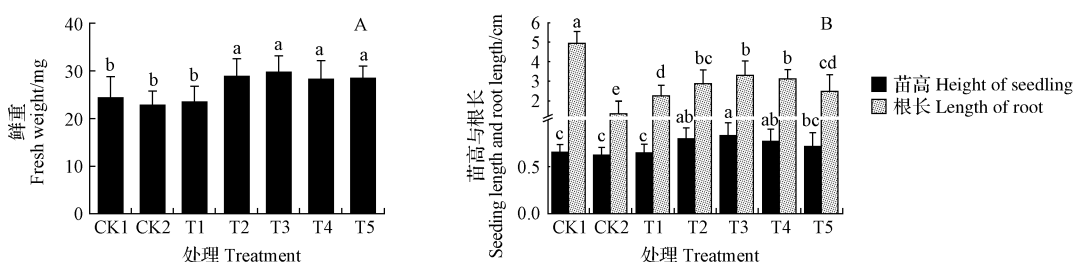


图2 CaCl_2 溶液浸种对盐胁迫下苜蓿幼苗鲜重(A)、苗高与根长(B)的影响

Fig. 2 Effect of seeds soaking in CaCl_2 solution on fresh weight (A), seedling length and root length (B) of the seedlings of *Medicago sativa* under salt stress

2.4 不同浓度 CaCl_2 浸种处理对模拟盐胁迫下苜蓿种子萌发的综合评定

为避免单一指标的片面性并克服多个指标的复杂性,全面而准确地评价 CaCl_2 溶液浸种处理对苜蓿种子萌发特性及幼苗生长状况的影响,采用隶属函数法来评价不同 CaCl_2 溶液浸种处理对盐胁迫下苜蓿种子萌发的影响大小。依据各指标的隶属函数值(表2),其综合评

定值越大,表明该处理对苜蓿在盐胁迫下萌发能力影响愈明显。由表2可知,钙溶液浸种处理对盐胁迫下苜蓿种子萌发能力的影响由强到弱的顺序依次为 20、40、10、80、5、0 mmol/L CaCl_2 溶液处理,而 CK1 综合评定值最大,说明在无胁迫条件下苜蓿的各项指标最好,而在 20 mmol/L CaCl_2 浓度处理下可以达到与 CK1 较为接近的效果。

表2 CaCl_2 浸种对盐胁迫下的苜蓿萌发各指标影响的隶属函数分析

Table 2 Effect of soaking in CaCl_2 solution on the indices of seeds germination in *Medicago sativa* under salt stress

CaCl ₂ 浓度 /mmol · L ⁻¹	隶属函数值 Subjection value							综合评定	排名 Ranking
	发芽率 Germination rate	发芽势 Germination energy	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index	鲜重 Fresh weight	苗高 Seedling length	根长 Root length	Comprehensive evaluation value	
CK1	1.000	0.938	1.000	1.000	0.208	0.143	1.000	5.289	1
CK2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7
5	0.409	0.375	0.015	0.260	0.114	0.120	0.252	1.545	6
10	0.545	0.813	0.469	0.437	0.863	0.810	0.429	4.366	4
20	0.636	1.000	0.455	0.561	1.000	1.000	0.544	5.196	2
40	0.500	0.938	0.497	0.539	0.794	0.706	0.491	4.464	3
80	0.409	0.312	0.094	0.417	0.819	0.443	0.318	2.813	5

3 讨论与结论

大量研究证明钙在细胞膜构成、促进细胞伸长、分裂等方面具有重要作用,并可以有效地提高种子活力^[7-8,17]。在该研究中,与 CK2 相比,适宜的 CaCl_2 溶液浸种可以显著提高种子的发芽率、发芽势及幼苗的鲜重、苗高等指标,说明 CaCl_2 溶液浸种在提高种子发芽率的同时,也可以有效地提高种子的萌发质量,这与前人的相关研究结果一致^[11,17]。钙溶液浸种可以提高盐胁迫

下苜蓿种子的萌发能力,原因可能在于一方面外源钙可以减弱盐胁迫所带来的次生伤害,提高植物的耐盐性^[18];另一方面在于钙可以维持离子的平衡,同时激活部分保护酶活性,从而减轻盐胁迫对细胞膜结构的破坏,增强植物细胞对盐胁迫的抗性^[2,19-20]。

钙处理对盐胁迫下苜蓿萌发的各指标中的幼苗根长提高作用最大,20 mmol/L CaCl_2 溶液浸种处理的根长比 CK2 提高了 143.36%,其次是活力指数,20 mmol/L

CaCl₂ 溶液浸种处理的活力指数比 CK2 提高了 134.44%, 该处理下的苗高与鲜重分别比 CK2 提高了 33.81% 与 30.53%, 其对发芽率与发芽势的影响相对较小, 只比 CK2 提高 14.14% 与 17.78%。盐胁迫不但抑制苜蓿的地上部的生长也抑制根系的生长, 从数据分析来看其对根长的影响要显著大于对幼苗苗高的影响, 原因可能是试验处理的盐胁迫的浓度处理较大, 超过了 75 mmol/L, 因此盐胁迫对根生长的影响大于对苗高的影响^[21]。钙溶液浸种处理则可显著减少盐胁迫对幼苗苗高与根长生长的影响, 对根长的影响效果显著大于对幼苗苗高的影响效果。原因可能在于随着钙对盐胁迫的缓解, 苜蓿种子的胚根生长速度快于胚芽, 因而钙处理表现对苜蓿根长的生长影响较大。在钙处理对盐胁迫下苜蓿种子的萌发研究中, 高浓度钙处理对苜蓿种子萌发会产生一定伤害, 过高浓度则会使钙处理效果下降, 所以钙处理浓度存在一个适宜浓度问题^[11]。

钙对细胞膜结构的保持与修复, 维持植物细胞内离子的平衡, 调节酶活性, 提高植物的抗逆性具有重要意义^[7, 22]。适宜的外源钙处理, 可以维持细胞内离子的平衡, 维持钙信号系统的正常运行, 提高植物的耐盐性。从该研究结果也可以看出, 适宜浓度的 CaCl₂ 溶液浸种可以有效地提高苜蓿种子的发芽率、发芽势等指标, 而在超过一定浓度的 CaCl₂ 溶液浸种处理下这种提高作用则随钙浓度增加而下降。原因可能在于过高浓度的钙处理可能导致细胞内的离子平衡被打破, 形成渗透胁迫, 增加盐害的破坏作用从而降低钙处理的效果^[11]。

综合分析认为, 钙溶液浸种可有效地提高盐胁迫下苜蓿种子的萌发能力, 随着 CaCl₂ 处理浓度的增加, 苜蓿在盐胁迫下种子萌发能力逐渐提高, 但超过一定浓度后对苜蓿种子的萌发能力的影响则下降。其中以 20 mmol/L CaCl₂ 浓度处理对盐胁迫下的苜蓿种子萌发影响作用最好, 该研究可以对盐渍地苜蓿种子播种生产提供一定的参考。

参考文献

- [1] 牛东玲, 王启基. 盐碱地治理研究进展[J]. 土壤通报, 2002, 33(6): 449-455.
- [2] 景艳霞, 袁庆华. NaCl 胁迫对苜蓿幼苗生长及不同器官中盐离子分布的影响[J]. 草业学报, 2011, 20(2): 134-139.
- [3] Al-Khatib M, Neneilly T, Collins J C. The potential of selection and

breeding for improved salt tolerance in lucerne (*Medicago sativa* L.) [J]. Euphytica, 1993, 65: 43-51.

- [4] 陈金峰, 胡斌杰, 韩艳霞, 等. 钙对铜胁迫下大豆种子的解毒作用[J]. 大豆科学, 2008, 27(6): 1072-1075.
- [5] 边才苗, 王锦文. 镧对西葫芦幼苗模拟酸雨胁迫的缓解效应[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(4): 1030-1034.
- [6] 常青山, 张利霞, 万涛, 等. 钙浸种对模拟酸雨胁迫下高羊茅种子发芽的缓解效应[J]. 草业科学, 2012, 29(12): 1903-1909.
- [7] 薛延丰, 刘兆普. 钙离子对盐胁迫下菊芋幼苗的生长、生理反应[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 44-47.
- [8] Lin S Z, Zhang Z Y, Lin Y Z, et al. The role of calcium and calmodulin in freezing-induced freezing resistance of *Populus tomentosa* cuttings[J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2004, 30(1): 59-68.
- [9] Xiong L M, Schumaker K S, Zhu J K. Cell signaling during cold, drought, and salt stress[J]. Plant Cell, 2002, 14: 165-183.
- [10] Tattini M, Traversi M L. On the mechanism of salt tolerance in olive (*Olea europaea* L.) under low-or high-Ca²⁺ supply[J]. Environmental and Experimental Botany, 2009, 65(1): 72-81.
- [11] 朱义, 何池全, 杜玮, 等. 盐胁迫下外源钙对高羊茅种子萌发和幼苗离子分布的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 133-137.
- [12] 沈禹颀, 王锁民, 陈亚明. 盐胁迫对牧草种子萌发及其恢复的影响[J]. 草业学报, 1999, 8(3): 54-60.
- [13] 王彦荣, 孙建华, 余玲, 等. GB/T 2930. 1-2930. 11-2001 牧草种子检验规程[M]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
- [14] 张震, 徐丽, 马艳婷, 等. 喜旱莲子草组织水浸液对黑麦草种子和幼苗的化感效应[J]. 西北植物学报, 2009, 29(1): 148-153.
- [15] 陈忠林, 张学勇, 张绵, 等. 碱胁迫对结缕草、高羊茅种子萌发及其胚生长的影响[J]. 种子, 2010, 29(12): 27-30.
- [16] 韩瑞宏, 卢欣石, 高桂娟, 等. 紫花苜蓿抗旱性主成分及隶属函数分析[J]. 草地学报, 2006, 14(2): 142-146.
- [17] 韦慧彦, 郭振清, 崔素娟. 钙不依赖性钙调素结合蛋白的研究进展[J]. 生物化学与生物物理进展, 2007, 34(2): 124-131.
- [18] 刘峰, 张军, 张文吉. 氧化钙对水稻的生理作用研究[J]. 植物学通报, 2001, 18(4): 490-495.
- [19] Kinoshita T, Nishimura M, Shimazaki K. Cytosolic concentration of Ca²⁺ regulates the plasma membrane H⁺-ATPase in guard cells of fava bean [J]. Plant Cell, 1995, 7(8): 1333-1342.
- [20] Giraldez-ruiz N, Bonilla I, Fernandez-pinas F. Role of external calcium in homeostasis of intracellular pH in the cyanobacterium *Anabaena* sp. strain PCC7120 exposed to low pH [J]. New Phytologist, 1999, 141(2): 225-230.
- [21] 王征宏, 杨起, 张亚冰. 盐胁迫下紫花苜蓿种子的萌发特性[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2006, 27(1): 66-69.
- [22] 郑青松, 刘海燕, 隆小华, 等. 盐胁迫对油菜幼苗离子吸收和分配的影响[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(1): 65-70.

Effects of Ca²⁺ on Seed Germination Characteristics of *Medicago sativa* Under Salt Stress

CHANG Qing-shan¹, ZHANG Li-xia², ZHENG Yi-qi¹, WANG Ning¹, ZHANG Qiao-ming¹, CHU Ai-xiang¹

(1. College of Forestry, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003; 2. College of Agriculture, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003)

佳木斯市水源山公园植物群落结构探析

刘睿颖¹, 汪晶², 周克强¹

(1. 黑龙江农业职业技术学院, 黑龙江 佳木斯 154007; 2. 黑龙江新概念企业管理咨询有限公司, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:构建科学、合理、优美的植物群落, 不仅能够营造精致的植物景观给人以美的享受, 更能使植物充分的利用空间和营养物质, 对环境的生态作用得以充分的发挥。现以佳木斯市水源山公园植物群落实地调查为基础, 分别对门前广场区、眺望阁景区、百鸟园景区、阳光充足的南区、贯穿南北的环路的植物群落配置进行了探讨, 分析和总结了水源山公园的植物群落特征, 指出存在的问题, 并依据植物景观的发展方向, 提出了植物群落配置的合理化建议。

关键词:佳木斯; 水源山公园; 植物群落; 结构

中图分类号:Q 948 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)10-0068-03

城市公园是城市绿地系统的重要组成部分, 是具备较完善的设施和良好的绿化环境的公共绿地, 为城市居民提供服务的同时, 更重要的是为改善城市环境质量和生态健全而规划的绿地系统中的重要组成部分^[1]。而植物群落又是公园绿地的基础, 其结构分为水平结构和垂直结构。水平结构主要表现植物种类在水平方向上的不均匀配置, 在外形特征上表现出镶嵌性, 垂直结构是指植物群落在垂直方向上分层的现象^[2], 使植物群落在单位面积上容纳更多的种类和数量, 进而保证植物群落稳定可持续发展。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

水源山公园位于佳木斯市区东南部, 距市中心广场约 3 km, 占地面积 64 hm²。园内布局分为八大部分, 总体面积达 46 000 m², 集休闲、娱乐、观赏为一体的门前广场区, 位于园内海拔至高点堪称古建筑物奇观的“眺望

阁”景区, 百鸟齐鸣的百鸟园景区, 以三江地区动物为主的大型野生动物观赏区, 田园风情浓郁的草食动物散放区, 可观看训兽及马戏表演的综合娱乐活动区, 千姿百态的植物观赏区和建有林中广场的宁静休息区。

1.2 研究方法

采用样方调查法, 样方长 3 m、宽 3 m, 在全园范围内随机抽取 10 个能够代表该区域植物分布特点的标准样方进行调查, 通过实际调查 10 块样方植物种类与生长状况, 了解水源山公园植物群落的水平配置方式及其植物种类, 并调查 10 块样方中乔木、灌木(藤本)、草本花卉、野生植物在垂直层次上的植物种类及配置情况。

2 结果与分析

经实地调查水源山公园大约有植物 117 种, 包括乔木 16 种, 其中常绿乔木 2 种, 落叶乔木 14 种; 灌木 19 种, 全部为落叶树种; 湿生植物 3 种; 藤本植物 2 种; 草本花卉 12 种; 其余为野生草本植物, 详细植物名称见表 1。

2.1 水源山公园植物群落分区探讨

根据对水源山公园植物群落的调查, 选取典型的几个分区对其植物群落的配置进行探讨, 从而研究植物群落结构的科学构建, 使植物群落在单位面积上容纳更多

第一作者简介:刘睿颖(1978-), 女, 本科, 讲师, 现主要从事园林景观设计等教学与科研工作。E-mail: ruiyingliu@126.com.

收稿日期:2014-01-17

Abstract: The seeds of *Medicago sativa* pretreated in different CaCl₂ solutions was used to study the effect of Ca²⁺ on its germination and growth under NaCl stress, which was expected to get the proper method for improving the salt resistance of seeds of *Medicago sativa*. The results showed that the values of germination rate, germination energy, germination index, vigor index of the seeds, fresh weight, seedling height and root length of the seedlings increased firstly, then declined with an increase of the concentrations of CaCl₂ solution. The results from the subordinate function analysis indicated that the order (from strong to weak) of effects promoted by Ca²⁺ was 20, 40, 10, 80, 5, 0 mmol/L, 20 mmol/L CaCl₂ solution soaking seeds was the best treatment for *Medicago sativa* to improve the resistance to salt stress at the germination phase.

Key words: *Medicago sativa*; CaCl₂ solution; salt stress; seed germination; subordinate function analysis