

土壤改良剂对盐碱地万寿菊生长生理特性的影响

谢乔乔¹, 刘文兰^{1*}, 李国虎², 甘文字², 唐红¹, 田青¹

(1. 甘肃农业大学林学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃华运环境建设工程股份有限公司, 甘肃 兰州 730070)

摘要:【目的】探究不同土壤改良剂对盐碱地万寿菊(*Tagetes erecta*)不同生育时期生长生理特性的影响。【方法】采用室内盆栽的方法,以兰州新区在中度盐碱地种植的万寿菊为研究对象,分析不施改良剂(CK),施过磷酸钙+硫酸亚铁(T1)、磷石膏(T2)和微生物菌剂(T3)4个处理对万寿菊3个生育时期生长生理特性的影响,并结合主成分分析和隶属函数,就3个时期对4个处理的改良效果进行评价。【结果】施用过磷酸钙+硫酸亚铁提高万寿菊叶片中的POD活性;施用磷石膏可以提高万寿菊的株高和叶片的POD活性;施用微生物菌剂能提高万寿菊的茎粗与叶片中的POD、CAT活性,叶片中的POD活性与对照相比差异显著($P < 0.05$)。通过主成分分析将施用改良剂处理下万寿菊的8个差异显著的指标归纳成2个主成分,累积贡献率达到92.5%;得到万寿菊的改良效果评价的主要指标:株高、茎粗、分枝数、丙二醛(MDA)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT),通过隶属函数值评定不同处理下不同生育时期万寿菊的耐盐性强弱顺序为:拔节期, $T3 > T1 > CK > T2$; 现蕾期, $CK > T1 > T3 > T2$; 初花期, $T1 > T3 > CK > T2$ 。综合比对4种处理在中度盐碱地改良效果,由强到弱依次为微生物菌剂 > 过磷酸钙+硫酸亚铁 > 磷石膏 > CK。【结论】施用效果最好的改良剂为微生物菌剂。本研究为园林植物在盐碱地绿化的应用方面提供了理论基础。

关键词: 盐碱地; 土壤改良剂; 万寿菊; 生长特性; 生理特性; 耐盐性评价

中图分类号: S688 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2024)05-0141-10

DOI: 10.13817/j.cnki.cycp.2024.05.016



土壤盐碱化是影响我国农业生产和生态环境的严重问题,造成我国大量可利用耕地、园林绿化土地的浪费^[1]。盐碱土壤已经成为兰州新区建设绿化的瓶颈。市委、市政府旨在将新区建设成“特色鲜明、宜居宜业的生态绿城、多湖水城、现代新城”。近几年,兰州新区通过在道路景观和城市美化建设方面的努力,

有效提升了新区的绿化水平^[3]。但是,盐碱地修复中构建适生的园林植被难度极高,盐碱地绿化建设成本较高,难度风险大,还存在许多道路绿化及生态环境问题。

唐云智等^[4]在兰州新区盐碱地种植黑麦草(*Lolium perenne*),选取8种土壤改良剂,通过对多年生黑麦草生长生理特性进行研究,结果显示“肥帝溉”大量元素水溶肥料为最优秀改良剂;刘铁军等^[5]对兰州新区盐碱地进行土壤改良试验,结果表明嗜盐碱微生物菌肥为最优秀改良剂。目前,微生物菌剂(枯草芽孢杆菌)^[6]、过磷酸钙+硫酸亚铁和磷石膏改良盐碱地用作农业开发利用已有大量的研究,研究方向集中于改良剂对土壤理化性质的影响。供试植物多以1、2年生农作物为主,如玉米(*Zea mays*)^[7]、马铃薯(*Solanum tu-*

收稿日期:2023-02-28;修回日期:2023-04-11

基金资助:甘肃农业大学科技创新基金—学科建设专项基金(GAU-XKJS-2018-114);甘肃农业大学横向项目(GSAU-JSFW-2021-45-2);甘肃省高等学校创新能力提升项目(2019B-072)

作者简介:谢乔乔(1997-),女,甘肃渭源人,硕士研究生。

E-mail:3425681949@qq.com

*通信作者。E-mail:790679838@qq.com

berosum)^[8]、水稻(*Oryza sativa*)^[9]及多年生牧草紫花苜蓿(*Medicago sativa*)^[10]等。但将改良剂应用于园林绿化建设的研究相对较少,种植材料主要集中于多年生黑麦草(*Lolium perenne*)^[11]、草地早熟禾(*Poa pratensis*)^[12]等草坪草^[13-17],以及大花萱草(*Hemerocallis hybridus*)、紫苑(*Aster dumosus*)和八宝景天(*Sedum spectabile*)等园林宿根花卉^[2],对园林花卉尤其是园林地被植物的相关研究则较少。万寿菊(*Tagetes erecta*)是一种常见的观赏花卉和中草药,易于栽培,花期长、观赏价值高,景观见效快、适应于大面积种植,具有优良的经济和生态效益。目前,关于万寿菊的研究主要集中在生长发育、生物学性状^[18]、花产量^[19]和干旱胁迫等方面^[20]。对万寿菊作为指示植物应用在盐碱地的研究较少。

因此,在甘肃省兰州新区盐碱地施用土壤改良剂后种植万寿菊,研究万寿菊的生理生长特性,筛选适宜的土壤改良剂,实现对原土改良并达到绿化目的,为兰州新区盐碱地的开发利用、环境绿化和生产管理提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

盆栽试验于2022年6-10月在兰州市园林科学研究所进行。供试万寿菊种子从甘肃省农业科学院种子市场购买,种子净度为95.5%,发芽率为90%,试验用土壤取自兰州新区纬一路和兰州兰石检测技术有限公司对面,是中度盐碱土。试验土的全盐含量(水:土=5:1)0.31%,土壤pH值(水:土=2.5:1)7.62,有机质含量5.75 g/kg,水解氮含量21.4 mg/kg,有效磷含量2.9 mg/kg,速效钾含量168 mg/kg,钙离子含量1.74

g/kg,镁离子含量0.232 g/kg,钠离子含量0.09 g/kg。

1.2 试验设计

供试盐碱土壤改良剂共3组,分别为过磷酸钙+硫酸亚铁(T1)、磷石膏(T2)和生物菌剂(T3),将不添加改良剂设为对照组,共4个处理,每个处理3个重复(表1)。盆栽使用下底直径为29.5 cm、上底直径为37.5 cm、高为40 cm的加仑盆,花盆底部配有托盘。每盆盛30 kg拌好的土,按土壤重量的12.5%浇水,每盆浇水0.375 L。于2022年6月2日拌改良剂浇水,6月9日播种;播种量为每盆(0.11 m²)种植0.11 g万寿菊种子。各处理养护管理保持一致。

1.3 测定指标及方法

在万寿菊拔节期(7月8日)、现蕾期(8月7日)和初花期(9月22日)测定不同处理万寿菊的株高、茎粗及分枝数(主杆上分生出来的侧枝个数)。株高:用直尺测量自然高度(茎基部到主杆生长点的长度);茎粗:采用游标卡尺量取万寿菊茎的宽度。每个处理选取长势均匀一致的万寿菊,手工采摘植株叶片,装入离心管,将装有植株叶片的离心管放入装有液氮的泡沫箱,带回实验室放入-80℃的超低温冰箱,用于植株逆境生理指标的测定。脯氨酸(Proline, Pro)含量采用茚三酮比色法测定^[23];过氧化物酶(peroxidase, POD)活性采用愈创木酚法测定^[24];过氧化氢酶(catalase, CAT)活性采用过氧化氢法测定^[25];超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性采用氮蓝四唑法测定^[26];采用硫代巴比妥酸法测定丙二醛(malonaldehyde, MDA)含量^[27]。

1.4 数据处理与分析

使用Microsoft Excel 2021进行数据的统计和处理,运用SPSS Statistics 23.0软件进行方差分析和主成分分析,使用标准差系数赋予权重法。显著性水平

表1 土壤改良试验处理

Table 1 Soil improvement test treatment

处理	改良剂	有效成分含量	施用量/(kg·m ⁻²)
T1	过磷酸钙+硫酸亚铁	P ₂ O ₅ (≥15%)、S(12%)+Fe>19%	0.225+0.1(10 g兑水7~9斤浇透)
T2	磷石膏	Ca(22%)、p(15%)	1.2
T3	生物菌剂	N(13.85%)P(5.86%)K(11.90%)	0.618
CK			

注:T1 过磷酸钙+硫酸亚铁;T2 磷石膏;T3 微生物菌剂(枯草芽孢杆菌);CK 空白对照,下同。

为 $P < 0.05$; 采用 Origin 2021 绘图。

根据所测得的各项指标数据,参考张朝阳等^[28]、周广生等^[29]和肖兴艳等^[30]方法,分别计算各处理在不同时期的平均值。

单项指标耐盐系数计算公式如下:

$$\alpha = \frac{\text{处理组平均值}}{\text{对照组平均值}} \times 100\% \quad (1)$$

主成分得分(Z_i)计算公式为:

$$Z_i = \sum_{i=1}^n a_i x_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

各综合指标的隶属函数值计算公式如下:

$$U(X_j) = \frac{(X_j - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

$$U(X_j) = \frac{(X_{j\max} - X_j)}{(X_{\max} - X_{\min})}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

式中: X_j 表示第 j 个因子的得分值, X_{\min} 表示第 j 个因子得分的最小值, X_{\max} 表示第 j 个因子得分的最大值。指标与耐盐性呈正相关用隶属函数公式(3)计算,指标与耐盐性呈负相关用反隶属函数公式(4)计算^[1]。

各主成分的权重计算公式为:

$$W_j = \frac{P_j}{\sum_{j=1}^n P_j}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5)$$

式中: W_j 表示第 j 个公因子在所有公因子中的重要程度, P_j 为各处理的第 j 个指标与改良效果间的相关系数, P_j 表示了各处理第 j 个公因子的贡献率。

万寿菊在不同改良剂处理下耐盐性综合评价值为:

$$D = \sum_{j=1}^n [U(X_j)W_j], \quad j = 1, 2, 1, \dots, n \quad (6)$$

式中: D 值为万寿菊在改良条件下用综合指标评价所得的改良效果综合评价值。

2 结果与分析

2.1 土壤改良剂对万寿菊生长特性的影响

2.1.1 土壤改良剂对万寿菊株高的影响 微生物菌剂和磷石膏 2 个改良剂处理都增大了万寿菊的株高,分别增加了 4.5% 和 2.1%,差异不显著。处理组和对照组(CK)万寿菊高度均呈升高趋势(拔节期—初花期),株高均在拔节期最小,在初花期最大。在万寿菊拔节期各处理株差异不著性,而在现蕾期仅 T3 水平

比 CK 增加了 4.7%,在初花期 T3 处理比 CK 增加了 10.92%,T2 处理比 CK 增加了 7.21%(图 1-A)。

2.1.2 土壤改良剂对万寿菊茎粗的影响 与对照相比,T3 处理增大了万寿菊的茎粗,为 4.68 mm,增加了 14.43%,差异显著($P < 0.05$)。3 个处理茎粗均呈现升高趋势(拔节期—初花期),茎粗均在拔节期最小,在初花期最大。拔节期 T3 处理最好,为 3.67 mm,但与其他处理均差异不显著;现蕾期 T3 处理最好,为 4.98 mm,与 CK 相比,增加了 12.24%,差异显著($P < 0.05$);初花期万寿菊茎粗 T2 和 T3 处理高于对照,且 T3 处理最好,与对照相比,增加了 12.24%,但与其他处理均差异不显著(图 1-B)。

2.1.3 土壤改良剂对万寿菊分枝数的影响 与对照相比,T3 和 T2 处理增大了万寿菊的单支分枝数,但差异不显著。T3 处理分枝数效果最好,与对照相比,增加了 7.59%,最弱的是 T1 处理,显著低于其他处理($P < 0.05$),与对照相比,降低了 7.00%。3 个处理分枝数总体呈现升高趋势(拔节期—初花期),分枝数于拔节期时最小,于初花期时最大。在拔节期 3 个处理都低于对照,T1 处理最低,与对照相比,降低了 32.14%;在现蕾期 T3 处理最高,与对照相比,提高了 17.86%;在初花期 T2 处理最好,与对照相比,提高了 11.67%(图 1-C)。

2.2 土壤改良剂对万寿菊叶片生理特性的影响

2.2.1 土壤改良剂对万寿菊叶片丙二醛含量的影响 与 CK 相比,T3 处理提高了万寿菊叶片丙二醛含量,提高了 8.46%。丙二醛的含量与 CK 相比,T1 和 T3 处理的丙二醛含量呈升高趋势(拔节期—初花期),丙二醛含量均在拔节期最小,在初花期最大。T2 和 CK 的丙二醛含量呈先升高(拔节期—现蕾期)后降低(现蕾期—初花期)趋势。T3 处理丙二醛含量高于其他处理,在拔节期和初花期分别为 16.73、27.67 $\mu\text{mol/g}$ 。与对照相比,在拔节期和初花期分别增加了 19.52% 和 14.96%。在现蕾期,3 个处理的丙二醛活性都低于 CK,T1 处理最低,降低了 26.76%(图 2-A)。

2.2.2 土壤改良剂对万寿菊叶片脯氨酸含量的影响 3 个处理组的脯氨酸含量都低于对照组,T2 处理最低,与对照相比,降低了 27.36%。T1、T2 处理和 CK 的脯氨酸含量呈逐渐升高(拔节期—初花期),而

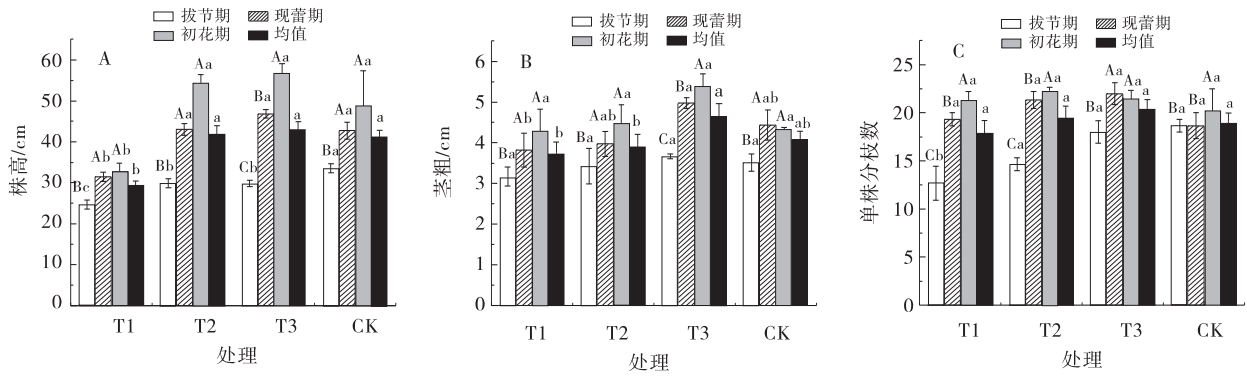


图1 不同处理对万寿菊生长的影响

Fig. 1 Effects of different treatments on the growth of marigold

注:图中不同大写字母表示相同处理不同时期差异显著($P < 0.05$),不同小写字母表示不同处理相同时期差异显著($P < 0.05$),下同。

T3处理的脯氨酸含量呈逐渐升高(拔节期—初花期)趋势,与其他处理相反。在万寿菊拔节期 T3处理较显著高于CK,为 $17.687 \mu\text{g/g}$,与CK相比,增加了

23.00%。在万寿菊现蕾期和初花期,其他处理下万寿菊脯氨酸含量均降低,以T2处理最低,与CK相比,T2分别降低了27.69%和42.16%(图2-B)。

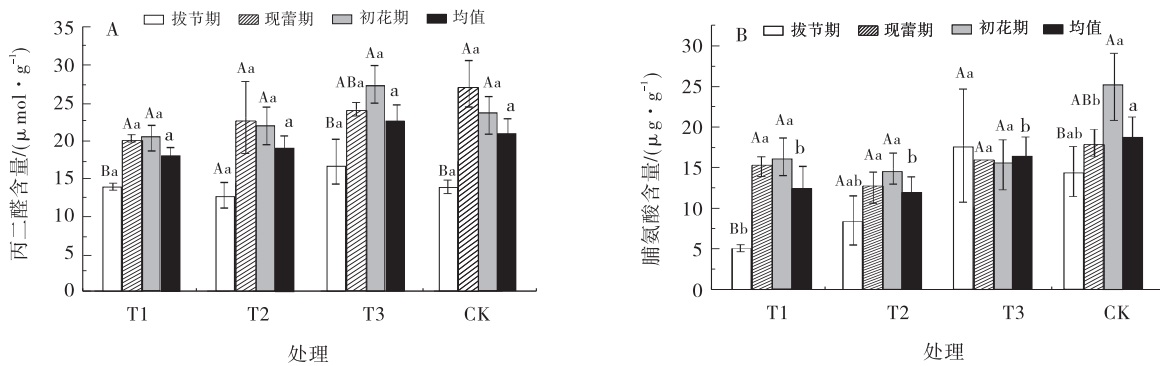


图2 不同处理对万寿菊丙二醛和脯氨酸的影响

Fig. 2 Effects of different treatments on malondialdehyde and proline of marigold

2.2.3 土壤改良剂对万寿菊叶片SOD活性的影响
3个处理下万寿菊叶片SOD活性都低于CK,T1、T2和T3的SOD活性分别为463.96、466.58和497.51 U/g,与对照相比,T1处理最低,降低了10.63%。T1处理的SOD活性呈降低(拔节期—初花期)趋势,T2处理的SOD活性呈升高(拔节期—初花期)趋势,与T1处理相反,T3和T4处理呈现先缓慢升高(拔节期—现蕾期)后降低的趋势。在拔节期仅T2处理高于对照,仅仅高出了1.35%。T1处理最低,为381.33 U/g,与对照相比,减少了35.94%。T1与其他处理差异显著($P < 0.05$)。现蕾期SOD活性各处理都小于CK,但无显著差异。初花期T1与其他处理均差异显著($P < 0.05$),与对照相比,T1处理显著增加了76.67%($P < 0.05$)。

2.2.4 土壤改良剂对万寿菊叶片POD活性的影响
与对照相比,3种改良剂处理下万寿菊叶片的POD活

性均增大,并且与CK相比差异显著($P < 0.05$)。T3处理与CK相比,增加了68.92%。T1和T3处理的POD活性呈升高(拔节期—初花期)的趋势,在拔节期最低,初花期最高;T2和T4处理的POD活性均呈先升高(拔节期—现蕾期)后降低(现蕾期—初花期)的趋势。拔节期T3处理最高,为40.27 U/mg,与CK相比,增加了72.94%;现蕾期T2处理最好,为55.6 U/mg,与CK相比,增加了39.78%。初花期T3处理最好,为64.53 U/mg,与CK相比,增加了84.02%。综合对比,处理3最优(图3-B)。

2.2.5 土壤改良剂对万寿菊叶片CAT活性的影响
T3处理对万寿菊叶片过氧化氢酶(CAT)活性影响与CK相比差异显著($P < 0.05$),提高了47.52%。除CK外,3个处理均呈现升高(拔节期—初花期)的趋势,均

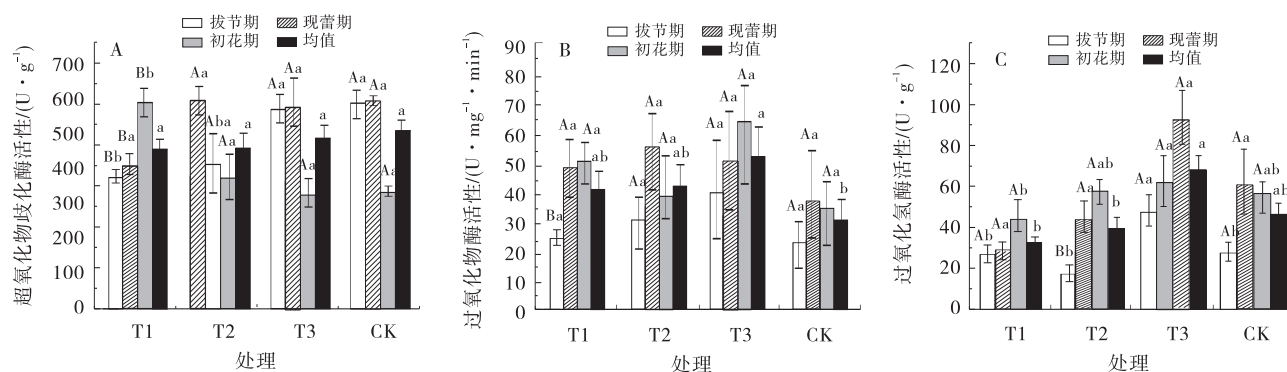


图3 不同处理对万寿菊抗氧化酶活性的影响

Fig. 3 Effect of different treatments on antioxidant enzyme activity of Marigold

于拔节期最低,初花期最高。CK处理CAT活性呈现先升高(拔节期—现蕾期)后降低(现蕾期—初花期)的趋势。CAT活性拔节期、现蕾期和初花期均以T3处理最高,分别为48.61、63.64和94.60 U/g,与对照相比,分别提高了76.84%、3.1%和64.58%,与其他处理差异显著($P < 0.05$)。

2.3 不同土壤改良剂改良效果评价分析

2.3.1 各单项指标的耐盐系数及相关性分析 首先

用公式(1)将原始数据进行转换,求得各指标性状的耐盐系数(表2)。不同指标在万寿菊盐碱胁迫中所起的作用不同,万寿菊在盐碱胁迫下各指标的变化幅度也不同。以株高来衡量,耐盐性最强的为T3处理,最弱的为T1处理。以脯氨酸含量来衡量,耐盐性最强的为T1处理,最弱的为T2处理(表2)。因此,不能利用单个指标评价各改良剂对万寿菊的耐盐碱性的影响。

表2 不同土壤改良剂生长和生理指标的耐盐碱系数

Table 2 Salinity tolerance coefficients for growth and physiological indicators of different soil conditioners

处理	pH	ST	SB	MDA	Pro	SOD	POD	CAT
T1	0.69	0.95	0.92	0.84	1.02	0.95	0.99	0.98
T2	1.02	0.85	0.95	0.58	0.73	0.84	0.94	0.81
T3	1.04	1.14	1.08	1.48	0.88	1.09	0.96	1.69

注: $\alpha=0.05$,PH株高,ST茎粗,SB单株分枝数,MDA丙二醛,Pro脯氨酸,SOD超氧化物歧化酶,POD过氧化物酶,CAT过氧化氢酶,下同。

综合3个生育时期对各指标耐盐碱系数进行相关性分析,得出各理化指标的相关系数矩阵(表3)。万寿菊的株高与茎粗、分枝数、MDA和CAT呈极显著正相关($P < 0.01$);茎粗与分枝数、MDA和CAT呈极显著正相关($P < 0.01$);分枝数与MDA和POD呈极显著正相关($P < 0.01$),与CAT呈显著正相关($P < 0.05$);MDA与CAT和POD呈极显著正相关($P < 0.01$);CAT与POD和脯氨酸呈极显著正相关($P < 0.01$);其余各指标之间的相关关系未达到显著水平;SOD与其他指标都呈负相关,但差异不显著。

2.3.2 主成分分析 运用SPSS 23.0对供试万寿菊材料进行主成分分析(表4),结果表明3个生育时期前2个综合指标(comprehensive index, CI)的贡献率分别

为68.6%和23.9%,累计贡献率达92.5%,高度概括了大部分信息。因此,选取前2个主成分作为万寿菊改良效果评价的综合指标。

第1主成分中对应较大的特征向量有株高、茎粗、分枝数、MDA和CAT,分别为0.343、0.409、0.392、0.423和0.409,主要反映出在中度盐化土壤中,万寿菊生长形态状况和抗氧化酶活性的变化状况。第2主成分中对应较大的特征向量有SOD、POD和Pro,分别为-0.497、0.658和-0.468,主要反映出在中度盐化土壤中,抗氧化酶活性和渗透调节物质的变化状况。

综上所述,第1、2主成分反映出改良剂的改良效果指标的累积贡献率达到92.5%,对改良效果综合评价的指示意义较大。表3中各耐盐性指标特征向量数

表3 万寿菊各生长指标与生理指标的相关性分析

Table 3 Correlation analysis between growth indexes and physiological indexes of marigold in 3 periods

指标	pH	ST	SB	MDA	SOD	CAT	POD	Pro
PH	1							
ST	0.635**	1						
SB	0.588**	0.624**	1					
MDA	0.590**	0.605**	0.511**	1				
SOD	-0.320	-0.217	-0.069	-0.316	1			
CAT	0.597**	0.503**	0.365*	0.795**	-0.261	1		
POD	0.320	0.284	0.428**	0.449**	-0.101	0.446**	1	
Pro	0.273	0.196	0.236	0.236	-0.019	0.379*	0.117	1

注:*表示显著相关关系,显著水平为0.05;**表示极显著相关关系,显著水平为0.01。

值越大,表明该指标越能集中反映中度盐化土种植万寿菊对改良剂的敏感性。因此,株高、茎粗、分枝数、

MDA、POD、CAT可作为改良剂改良效果评价的主要指标。

表4 万寿菊生长生理指标的主成分特征向量及贡献率

Table 4 Principal component eigenvector and contribution rate of growth physiological indexes of marigold

主成分	各指标特征向量								特征值	贡献/%	累积贡献率/%
	pH	ST	SB	MDA	SOD	POD	CAT	Pro			
CI ₁	0.343	0.409	0.392	0.423	0.306	0.152	0.409	0.314	5.487	0.686	68.582
CI ₂	-0.029	0.178	0.203	-0.022	-0.497	0.658	0.162	-0.468	1.916	0.239	23.945

2.3.3 隶属函数分析 根据因子特征值和各单项指标的耐盐系数求出每种土壤改良剂的2个综合指标值(comprehensive index, CI),利用隶属函数公式(3)和(4),计算试验材料不同改良剂处理下相对应的隶属函数值U(X),根据公式(5)计算2个主成分的权重分别为0.741和0.259;根据公式(6),计算出耐盐综合评价D。D值代表了改良剂在中度盐化土综合指标评价所得的改良效果评价, D值越大,说明改良效果越好。综合对比:4种处理在盐碱地改良效果由强到弱依次为:拔节期, T3>T1>CK>T2;现蕾期, CK>T1>T3>T2;初花期, T1>T3>CK>T2。综合对比,4种处理在中度盐碱地改良效果由强到弱依次为微生物菌剂>过磷酸钙+硫酸亚铁>磷石膏>CK(表5)。

3 讨论

3.1 万寿菊生长及生理对改良剂的适应性反映

3.1.1 生长响应 施加土壤盐碱改良剂后,植物的株高、茎粗和分枝数等生长指标会发生相应的变

化^[31]。这与谢文辉等^[33]研究植物在应对盐胁迫时,会通过降低株高等形态指标来适应逆境结果一致。土壤改良剂不同程度地促进了万寿菊的生长发育,增大万寿菊的茎粗,这与唐云智等^[4]在土壤改良剂对多年生黑麦草生长影响、张雷一等^[11]关于石漠化旱地施用改良剂对黑麦草生长的影响的研究结果一致。本研究中,过磷酸钙+硫酸亚铁处理下均降低了万寿菊的株高、茎粗和分枝数,且与株高和茎粗差异显著。磷石膏处理提高了万寿菊的株高和茎粗,仍与CK差异不显著;微生物菌剂处理下提高了万寿菊的株高、茎粗和分枝数,这与王进等^[34]研究微生物菌剂可以显著增加辣椒的株高、茎粗等研究结果一致。

3.1.2 生理响应 有研究表明植物对盐胁迫的调节机制主要有渗透调节、抗氧化酶系统调节和胁迫信号转导系统调节^[35]。MDA是细胞膜脂过氧化的产物,其含量与植物的抗逆性呈负相关,因此可以用MDA含量评价植物的抗逆能力^[1]。植物在盐碱胁迫下,通过主动积累Pro等渗透调节物质来维持细胞渗透势,避免盐分过多的进入细胞,其积累量与抗逆性呈正相

表 5 不同改良剂处理下各指标的综合指标值、隶属函数值和耐盐综合评价值 D Table 5 Composite index values, affiliation function values and salt tolerance composite evaluation values for each indicator under different improver treatments D

时期	处理	C(1)	C(2)	U(1)	U(2)	D	排序
拔节期	T1	-1.192	0.791	1.000	0.927	0.997	2
	T2	-0.339	-0.743	0.635	0.876	0.716	4
	T3	1.147	0.930	1.000	1.000	1.000	1
	CK	0.383	-0.979	0.673	1.000	0.779	3
	贡献率	0.654	0.262				
	权重			0.731	0.287		
现蕾期	T1	-1.023	-0.780	1.000	0.916	0.971	2
	T2	-0.676	0.752	0.830	0.887	0.850	4
	T3	0.686	0.969	0.839	1.000	0.894	3
	CK	1.013	-0.941	1.000	1.000	1.000	1
	贡献率	0.618	0.322				
	权重			0.656	0.344		
初花期	T1	-0.968	0.856	1.000	1.000	1.000	1
	T2	-0.037	0.375	0.604	0.791	0.669	4
	T3	1.385	0.212	1.000	0.720	0.903	2
	CK	-0.380	-1.443	0.750	1.000	0.837	3
	贡献率	0.561	0.299				
	权重			0.652	0.348		
综合	T1	-1.153	0.210	1.000	0.758	0.937	2
	T2	-0.364	0.511	0.665	0.895	0.724	3
	T3	1.200	0.743	1.000	1.000	1.000	1
	CK	0.317	-1.464	0.625	1.000	0.722	4
	贡献率	0.686	0.239				
	权重			0.742	0.258		

关^[1]。SOD、POD 和 CAT 的活性可反应植物体内抗逆性的变化,活性越高,对盐碱胁迫适应性更强^[1],过磷酸钙+硫酸亚铁处理提高万寿菊叶片中的 POD 活性;降低 SOD 与 CAT 活性、MDA 和 Pro 含量。可能是因为施用改良剂过多不同程度的抑制了万寿菊生长与生理指标的增长,推后万寿菊的生长期。磷石膏处理可以提高万寿菊叶片的 SOD、POD 活性;降低万寿菊叶片的 CAT、MDA 活性和脯氨酸含量;曹鸣宇等^[8]研究施用磷石膏对马铃薯块茎保护酶活性中,施用磷石膏可以降低马铃薯块茎中的 MDA 含量,提高 SOD 和 POD 活性,与本研究结果一致。微生物菌剂能明显提高万寿菊叶片中的 POD、CAT 活性,与 POD 活性有显著性差异($P < 0.05$);降低万寿菊叶片中的 SOD 活性和 Pro 含量,这与李丽艳等^[38]研究耐盐促生芽孢杆菌对盐胁迫下燕麦生长的影响,耐盐促生芽孢

杆菌能显著降低燕麦叶片中 MDA 含量研究结果相反,提高 Pro 含量,及 POD 和 CAT 活性,对燕麦生长具有明显的促生效果研究结果一致。

3.2 相关性分析

本研究结果表明,万寿菊的株高与茎粗、分枝数、MDA 和 CAT 呈极显著正相关;茎粗与分枝数、MDA 和 CAT 呈极显著正相关;分枝数与 MDA 和 POD 呈极显著正相关,与 CAT 呈显著正相关;MDA 与 CAT 和 POD 呈极显著正相关;CAT 与 POD 和 Pro 呈极显著正相关;其余各指标之间的相关关系未达到显著水平;SOD 与其他指标都呈负相关,但差异不显著($P < 0.05$)。贾秀苹等^[39]在甘肃省白银市靖远县研究向日葵抗盐碱生理机质与生长发育的结果表明,向日葵 SOD 活性与 POD、CAT 呈极显著正相关,POD 与 CAT、Pro 呈极显著正相关,与 MDA 呈极显著负相

关,CAT与MDA呈极显著负相关,本研究结果与其不一致,可能是由于不同的植物和改良剂引起的差异变化。适当施用改良剂不仅能够提高植物的生长,而且可以提高植物对逆境胁迫的适应能力,同时降低植物对逆境胁迫的敏感程度^[23]。

3.3 主成分分析

主成分分析表明第1、2主成分的累积贡献率为92.5%,第1主成分中对应较大的特征向量有株高、茎粗、分枝数、MDA和CAT,对改良剂处理比较敏感,可作为万寿菊耐盐性和改良剂改良效果综合评价指标。

3.4 耐盐性综合评价

植物耐盐性是由多种因素的相互作用和协同作用决定^[40],施加土壤改良剂对植物的影响是多方面的,植物通过自身营养物质、渗透调节物质和保护酶活性等多种生理机制的共同作用来减轻或延缓伤害的发生^[41]。因此,用单个指标评价各改良剂对万寿菊的耐盐碱性具有局限性^[42],在多指标的基础上对4种处理进行隶属函数综合评价,作为施用不同土壤改良剂下万寿菊生长的耐盐能力综合鉴定标准,该值越大,万寿菊耐盐能力越强,说明该改处理下改良效果越强,这与谢文辉等^[33]研究结果一致。生物菌剂处理下万寿菊耐盐能力最高,改良效果最好,与卢建男等^[11]研究兰州新区盐碱地改良试验中,通过测定施加改良剂前土壤的基本理化性质及施加土壤改良剂后土壤pH、全盐量及草地早熟禾的生长指标,不同的土壤改良剂的效果进行分析对比,得出嗜盐碱微生物菌肥改良剂效果最好研究结果一致。

4 结论

施用过磷酸钙+硫酸亚铁提高了万寿菊叶片中的POD活性;施用磷石膏可以提高万寿菊的株高和叶片的POD活性;施用微生物菌剂能提高万寿菊的茎粗与叶片中的POD、CAT活性,叶片中的POD活性与对照相比有差异显著($P < 0.05$)。通过主成分分析将施用改良剂处理下万寿菊的8个差异显著的指标归纳成2个主成分,累积贡献率达到92.5%;得到万寿菊的改良效果评价的主要指标:株高、茎粗、分枝数、MDA、POD和CAT,通过隶属函数值评定3个改良剂与CK改良效果强弱顺序依次为:拔节期, $T_3 > T_1 > CK > T_2$; 现蕾期, $CK > T_1 > T_3 > T_2$; 初花期, $T_1 > T_3 >$

$CK > T_2$ 。综合比对,4种处理对中度盐碱地改良效果由强到弱依次为微生物菌剂>过磷酸钙+硫酸亚铁>磷石膏>CK。

参考文献:

- [1] Moore Joel, Fanelli Rosemary M, Sekellick Andrew J. High-Frequency Data Reveal Deicing Salts Drive Elevated Specific Conductance and Chloride along with Pervasive and Frequent Exceedances of the U. S. Environmental Protection Agency Aquatic Life Criteria for Chloride in Urban Streams[J]. Environmental science & technology, 2020,54(2):778-789.
- [2] 杨君. 脱硫石膏改良盐碱土及其对3种宿根花卉生长生理特性的影响研究[D]. 北京:北京林业大学,2020.
- [3] 李志丹,干友民,泽柏,等. 牧草改良盐渍化土壤理化性质研究进展[J]. 草业科学,2004,21(6):17-21.
- [4] 唐云智,马晖玲. 8种土壤改良剂对多年生黑麦草草坪质量的影响[J]. 草原与草坪,2015,35(6):51-58.
- [5] 刘铁军. 兰州新区盐碱地改良绿化技术研究[D]. 兰州:兰州大学,2016.
- [6] 周蓓蓓,侯亚玲,王全九. 枯草芽孢杆菌改良盐碱土过程中水盐运移特征[J]. 农业工程学报,2018,34(6):104-110.
- [7] 郑敏娜,梁秀芝,韩志顺,等. 不同改良措施对晋北盐碱土盐碱障碍和青贮玉米氮素吸收的调控[J]. 草地学报,2021,29(12):2871-2877.
- [8] 曹鸣宇,赵晶晶,张丽. 施用磷石膏对马铃薯块茎保护酶活性及产量的影响[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2020,32(5):7-12.
- [9] 沈婧丽,王彬,田小萍,等. 不同改良模式对盐碱地土壤理化性质及水稻产量的影响[J]. 江苏农业学报,2016,32(2):338-344.
- [10] 马钊,郑桂亮,何峰,等. 施用有机无机复混肥对盐碱地紫花苜蓿生产性能、营养品质和土壤养分含量的影响[J]. 草地学报,2019,27(2):466-472.
- [11] 张雷一,张耀,张静茹,等. 石漠化旱地施用改良剂对黑麦草生长的影响[J]. 草业科学,2015,32(3):450-457.
- [12] 卢建男,张琼,刘铁军,等. 不同改良剂对盐碱地土壤及草地早熟禾生长的影响[J]. 草业科学,2017,34(6):1141-1148.
- [13] 刘晶,才华,刘莹,等. 两种紫花苜蓿苗期耐盐生理特性的初步研究及其耐盐性比较[J]. 草业学报,2013,22(2):250-256.
- [14] 杨迎月,毛桂莲,麻冬梅,等. 四种牧草种子在不同浓度

- NaCl 或 NaHCO₃ 胁迫下的萌发特性[J]. 草业学报, 2022, 30(3): 637-645.
- [15] 郑译儒, 赵俊超, 龚束芳, 等. NaHCO₃ 和 Na₂CO₃ 胁迫对碱茅和披碱草种子萌发、幼苗生长和生理指标的影响[J]. 中国科学院大学学报, 2021, 38(2): 228-239.
- [16] 陈展宇, 常雨婷, 邓川, 等. 盐碱生境对甜高粱幼苗抗氧化酶活性和生物量的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2017, 39(1): 15-19.
- [17] 王仨珍, 刘倩, 高娅妮, 等. 植物对盐碱胁迫的响应机制研究进展[J]. 生态学报, 2017, 37(16): 5565-5577.
- [18] 何建春, 张恩和, 张礼军, 等. 叶面喷施氮肥对万寿菊生长发育和花产量的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2008, 149(5): 92-97.
- [19] 王立凤, 姜海忠. 不同氮肥处理对万寿菊生物学性状及产量影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(31): 218-221.
- [20] 崔丽芳, 杨成, 杨爱爱, 等. 污泥提取液的肥效评价及其对万寿菊生长的影响[J]. 北方园艺, 2021, 474(3): 76-82.
- [21] 韦朝妹, 胡小京, 莫幻. 外源赤霉素对盐胁迫下万寿菊种子萌发与幼苗生长的影响[J]. 北方园艺, 2022, 511(16): 69-75.
- [22] 刘敏, 厉悦, 梁艳, 等. 不同浓度氯化钠胁迫对万寿菊幼苗生长及生理特性的影响[J]. 北方园艺, 2013, 303(24): 63-66.
- [23] 何海锋, 吴娜, 刘吉利, 等. 盐碱条件下施磷对柳枝稷生长发育及耐盐性的影响[J]. 草业学报, 2022, 31(10): 64-74.
- [24] 朱蕊, 董爽, 常智慧. 盐碱胁迫对柳枝稷抗氧化及渗透调节的影响[J]. 草原与草坪, 2022, 42(4): 62-71.
- [25] 闫蒙, 韩肃磊, 包金连, 等. 盐碱胁迫对少花蒺藜草种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 草原与草坪, 2022, 42(4): 9-16.
- [26] 伍德, 孙帅, 刘金平, 等. NaCl 胁迫对长江2号多花黑麦草种子发芽及幼苗生长的影响[J]. 草原与草坪, 2017, 37(5): 59-63.
- [27] 王永新, 夏方山, 董秋丽, 等. 盐碱草地不同改良措施对沙打旺氮代谢的影响[J]. 草地学报, 2012, 20(2): 324-330.
- [28] 张朝阳, 许桂芳. 利用隶属函数法对4种地被植物的耐热性综合评价[J]. 草业科学, 2009, 26(2): 57-60.
- [29] 周广生, 梅方竹, 周竹青, 等. 小麦不同品种耐湿性生理指标综合评价及其预测[J]. 中国农业科学, 2003(11): 1378-1382.
- [30] 肖兴艳, 张雷一, 刘方, 等. 两种土壤改良剂对3种牧草生长及土壤含水量的影响[J]. 草业科学, 2015, 32(11): 1887-1891.
- [31] Jose A M, Maria O, Agustina B V, *et al.* Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. *Agronomy*, 2017, 7(1): 18-22.
- [32] Satish B, Mansi G, Prachi J, *et al.* Signaling mechanisms and biochemical pathways regulating pollen-stigma interaction, seed development and seedling growth in sunflower under salt stress[J]. *Plant Signaling & Behavior*, 2021, 16(11): 98-110.
- [33] 谢文辉, 黄莉娟, 赵丽丽, 等. 钙盐胁迫对3份葛藤种质种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 草业学报, 2022, 31(7): 220-233.
- [34] 王进, 高鹏, 黄天悦, 等. 产聚谷氨酸菌株的筛选及其发酵物对辣椒生长及产量的影响[J]. 河南农业科学, 2018, 47(11): 56-60.
- [35] 张金林, 李惠茹, 郭妹媛, 等. 高等植物适应盐逆境研究进展[J]. 草业学报, 2015, 24(12): 220-236.
- [36] 苏世平, 刘小娥, 席杰. 三色堇对NaCl胁迫的生理响应[J]. 草业学报, 2022, 31(8): 90-98.
- [37] Rgani J, Parida A K, Panda A, *et al.* Coordinated changes in antioxidative enzymes protect the photosynthetic machinery from salinity induced oxidative damage and confer salt tolerance in an extreme Halophyte *salvadora persica* L [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2016, 7(537): 1-18.
- [38] 李丽艳, 谭海霞, 李婧, 等. 耐盐促生芽孢杆菌的筛选及其对盐胁迫下燕麦生长的影响[J]. 浙江农业学报, 2022, 34(6): 1268-1276.
- [39] 贾秀苹, 卯旭辉, 梁根生, 等. 向日葵抗盐碱生理生化机制与生长发育特性分析[J]. 作物杂志, 2022, 210(5): 146-152.
- [40] 苗涵, 魏莱, 杨燕萍, 等. 海水胁迫下冰草幼苗期耐盐性指标筛选[J]. 草业学报, 2023, 32(3): 200-211.
- [41] 陈丹, 刘延吉, 吴阔. 盐胁迫对碱茅幼苗叶片内源激素的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(12): 3476-3477.
- [42] 范联连, 贾阳杰, 范远, 等. 盐碱土施用硅钙渣对披碱草生长的影响及机制[J]. 草业学报, 2021, 30(2): 93-101.

Effects of soil amendments on the growth and physiological characteristics of *Tagetes erecta*

XIE Qiao-qiao¹, LIU Wen-lan^{1*}, LI Guo-hu², GAN Wen-yu², TANG Hong¹,
TIAN Qing¹

(1. Forestry College of Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070; 2. Gansu Huayun Environmental Construction Engineering Co, Lanzhou 730070, China)

Abstract: **【Objective】** This study investigates the effects of various soil amendments on the growth and physiological characteristics of *Tagetes erecta* in saline-alkali. **【Method】** Using a controlled potted experiment, we analyzed four treatments: no amendment (CK), calcium superphosphate + ferrous sulfate (T1), phosphogypsum (T2), and microbial inoculants (T3). The research focused on marigold plants grown in moderately saline-alkali soil in Lanzhou New Area. Principal component analysis and membership function analysis were employed to evaluate the effectiveness of the treatments. **【Result】** The application of calcium superphosphate + ferrous sulfate increased POD activity in marigold leaves. Phosphogypsum improved both plant height and POD activity. Microbial inoculants notably enhanced stem diameter, as well as POD and catalase (CAT) activities in leaves. Compared to the control, the differences in POD activity were statistically significant ($P < 0.05$). Specifically, the POD activity rankings were as follows: T3 > T1 > CK > T2 (budding stage: CK > T1 > T3 > T2; early flowering period: T1 > T3 > CK > T2). Overall, the effectiveness of four treatments in moderate saline-alkali land ranked from strongest to weakest as: microbial inoculant > calcium superphosphate + ferrous sulfate > phosphogypsum > CK. **【Conclusion】** In conclusion, the microbial mycorrhizal agent emerged as the most effective soil amendment. This study offers valuable insights for the application of landscape plants in the greening of saline land.

Key words: saline soil; soil conditioner; marigold; growth characteristics; physiological characteristics; salt tolerance evaluation

(责任编辑:新奇峰)