

doi:10.11937/bfyy.20232790

杨小英,黄艳竹,郝春磊,慕波,严瑞,张黎.干旱胁迫对彩菊切花幼苗根系构型和生理活性的影响[J].北方园艺,2024(02):47-54.

干旱胁迫对彩菊切花幼苗根系构型和生理活性的影响

杨小英^{1,2},黄艳竹¹,郝春磊³,慕波⁴,严瑞²,张黎^{1,2}

(1.银川能源学院 土木建筑学院,宁夏 银川 750100;2.宁夏大学 葡萄酒与园艺学院,宁夏 银川 750021;
3.宁夏盛旭昊春农业科技有限公司,宁夏 银川 750001;4.宁夏芊艺农业科技有限公司,宁夏 银川 750001)

摘要:以6个品种彩菊切花幼苗为试材,通过盆栽和人工浇灌 20 mmol·L⁻¹ 浓度 PEG 6000 模拟干旱胁迫处理,探究彩菊切花在干旱胁迫第 5、10、15、20 天时根系构型和生理指标变化,选出抗旱性强、适应宁夏地区大面积推广与种植的优良彩菊切花品种,以期为西部干旱地区菊花品种的推广提供参考依据。结果表明:随着干旱胁迫的持续,彩菊切花的根系总长度、根系总表面积、根系总体积与总根系指标的关联程度较大。除根系总体积外,根系平均直径与其他根系指标不存在相关性。与正常浇水相比,不同品种彩菊切花的叶片相对含水量和叶绿素含量不断下降,相对电导率和可溶性蛋白质含量升高,丙二醛和可溶性糖含量先上升后下降,过氧化物酶活性呈先下降后上升趋势,超氧化物歧化酶活性呈先上升再下降最后上升的趋势。

关键词:彩菊切花;干旱胁迫;根系构型;生理活性

中图分类号:S 682.1⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2024)02-0047-08

菊花(*Chrysanthemum morifolium* Ramat.)属菊科菊属多年生宿根草本植物,是世界四大切花之一^[1],因具有花型多样、色彩丰富、瓶插寿命长、成本低及高产等优点,近年来小花型多头菊受到市场青睐,部分切花菊品种被用于矮化盆栽,作为盆花生产、销售^[2](该研究以彩菊切花统称)。据报道(World Floriculture Map 2021 版),切花

菊市场份额仅次于切花月季,占据了切花市场的 1/9,预计至 2028 年将达到 490 亿元。随着切花菊种植面积不断扩大,受高温、热浪等极端天气影响,水资源匮乏对西北地区切花菊的种植面积和菊花品质构成了严重威胁,干旱是制约植物生长的重要胁迫因素之一^[3]。

近年来对于菊花的研究主要集中在传统菊花、盆栽小菊、地被菊和药用菊的结构解剖、抗寒和耐高温条件下生理生化试验和基因多样性与基因结构分析等方面,其中杨若鹏等^[4]研究了干旱胁迫对‘神马’菊花生理指标的影响;吴盼婷等^[5]采用自然失水法对菊花根系及抗逆性进行分析;栾东涛等^[6]从表型性状和生理变化研究盆栽小菊的耐旱性。但全面、综合的针对多品种切花菊在受到干旱胁迫时根系构型和生理变化的研究报道较少。该研究采用 PEG 6000 模拟干旱胁迫处理,比较干旱胁迫对不同品种彩菊切花幼苗的根系构

第一作者简介:杨小英(1986-),女,硕士,讲师,现主要从事观赏植物等研究工作。E-mail:645633771@qq.com.

责任作者:张黎(1962-),女,硕士,教授,硕士生导师,现主要从事观赏园艺等研究工作。E-mail:zhang_li9988@163.com.

基金项目:宁夏回族自治区第二批高校黄大年式教师团队:土木工程教师团队资助项目(宁教师[2022]130号);宁夏回族自治区重点研发资助项目(2022BBF03035);银川能源学院科研创新团队:绿色工程材料高效利用研究创新团队资助项目(银能院[2022]233号)。

收稿日期:2023-08-15

型和生理指标变化,探讨干旱胁迫对植株体内渗透调节物质的积累、膜脂通透性变化、自由基含量以及相关激素合成的影响,筛选和培育适应宁夏地区大面积推广与种植的耐旱型彩菊切花品种,以期为西部干旱地区菊花品种的推广提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以宁夏园艺产业园5#温室盆栽的彩菊切花“少女”(‘Girl’)、“布鲁诺黄”(‘Bruno Yellow’)、“科隆香水”(‘Cologne Perfume’)、“劳伦佐”(‘Lorenzo’)、“卡斯特”(‘Caster’)、“瑞白”(‘Ruibai’)6个品种一年生扦插苗为供试材料。

1.2 试验方法

采用盆栽和人工浇灌 $20\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 浓度PEG 6000模拟干旱胁迫和正常浇水(CK)之间进行数据比较。在持续干旱胁迫第5、10、15、20天时,随机选择3盆长势一致、无病虫害的植株进行采样。

1.3 项目测定

采用WinRHIZO(Pra 2013e)根系分析系统软件扫描,测定根系总长度、根系总表面积、根系总体积、平均直径、根尖数和分叉数指标^[7]。

采用烘干法测定叶片相对含水量(RWC);采用乙醇浸提法测定叶绿素(Chl)含量;采用电导仪法测定相对电导率(REC);采用硫代巴比妥酸比色法测定丙二醛(MDA)含量;采用氮蓝四唑法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性;采用愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性;采用蒽酮法比色法测定可溶性糖(SS)含量;采用考马斯亮蓝G-250染色法测定可溶性蛋白质(SP)含量^[8-9]。

1.4 数据分析

使用Excel 2010软件进行数据整理;利用IBS SPSS 25.0软件进行数据分析,利用Duncan's新复极差检验法进行差异显著性检验;运用Origin 2021软件作图。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫对彩菊切花根系构型的影响

2.1.1 干旱胁迫对彩菊切花根系总长度、根系总表面积、根系总体积的影响

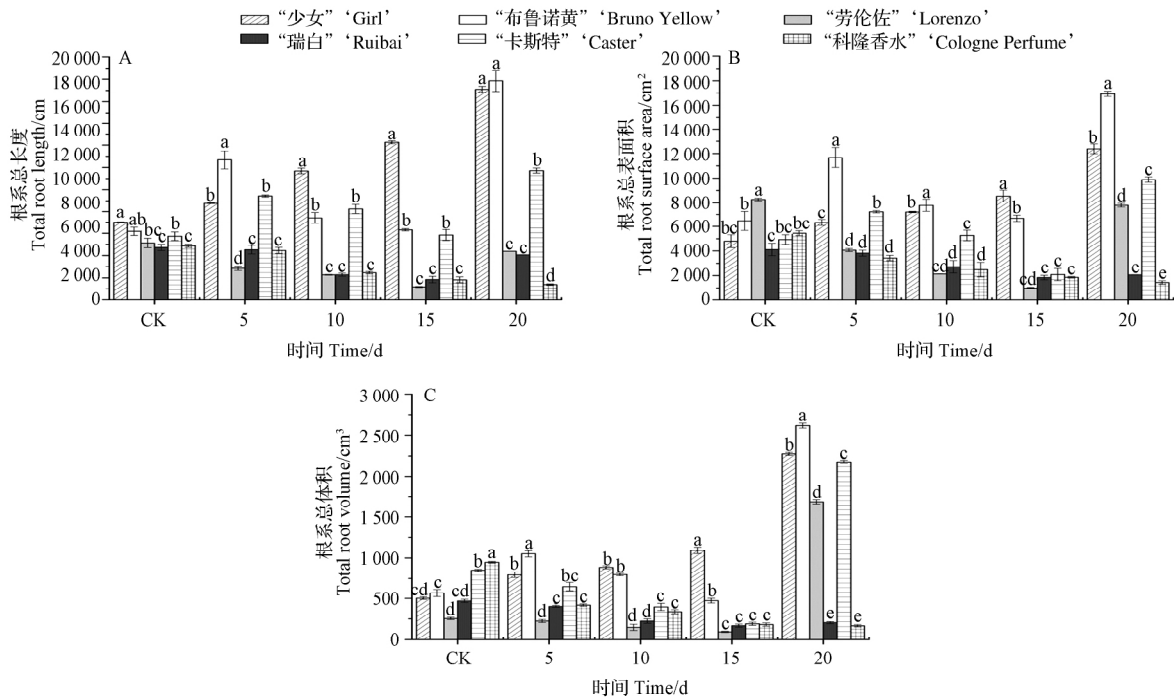
由图1A~C可知,6个品种彩菊切花的根系

总长度、根系总表面积、根系总体积3个指标变化趋势相同:“少女”呈增长趋势,“卡斯特”呈下降趋势;“布鲁诺黄”和“科隆香水”在干旱胁迫第5天时增长,在第5~15天时下降至最低值后开始增长;“劳伦佐”和“瑞白”在干旱胁迫第0~15天时下降后再增长。在干旱胁迫第20天时“布鲁诺黄”“少女”和“科隆香水”根系总长度、根系总表面积和根系总体积与CK相比差异极显著($P < 0.01$),“布鲁诺黄”(1985.78 cm) > “少女”(1909.43 cm)和“科隆香水”(1171.72 cm)根系总长度与CK相比分别增长了221.49%、173.14%和104.24%;根系总表面积分别增长了161.99%、158.16%和100.44%;根系总体积分别增长了4.63、4.54倍和2.55倍。而在干旱胁迫第20天时,“劳伦佐”“瑞白”“卡斯特”3个品种与CK相比呈下降趋势,其中“卡斯特”根系总长度、根系总表面积和根系总体积降为最小值,分别为139.27 cm、144.2 cm²和167.12 cm³,与CK相比分别下降了71.41%、73.52%和82.38%，“瑞白”次之。

综上所述,6个品种彩菊切花根系总长度、根系总表面积、根系总体积由大到小排列为“布鲁诺黄” > “少女” > “科隆香水” > “劳伦佐” > “瑞白” > “卡斯特”。

2.1.2 干旱胁迫对彩菊切花根系平均直径、根尖数和分叉数的影响

由图2A~B可知,“布鲁诺黄”和“科隆香水”的分叉数和根尖数与总根系指标变化规律相似:在干旱胁迫第5天时增长,在第5~15天时下降至最低值后呈增长趋势。“少女”在干旱胁迫第5天时下降,随后呈增长趋势;“劳伦佐”“瑞白”和“卡斯特”在干旱胁迫第0~15天时下降,随后呈增长趋势;“劳伦佐”和“瑞白”在干旱胁迫第0~10天时增长,至第15天时下降后再增长。在干旱胁迫第20天时“布鲁诺黄”“少女”和“科隆香水”根尖数和分叉数与CK相比差异极显著($P < 0.01$),“布鲁诺黄”(19596.5个) > “少女”(17363.5个) > “科隆香水”(14739.33个)的根尖数,与CK相比分别增长了124.76%、72.76%和92.30%;与CK相比分叉数分别增长5.03、3.78倍和1.93倍。但在干旱胁迫第20天时,“卡斯特”和“瑞白”根尖数与CK相比下降了



注:不同小写字母表示在 0.05 水平存在显著性差异(Duncan's 新复极差法),下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference at 0.05 level (Duncan's method). The same as below.

图1 干旱胁迫对彩菊切花根系总长度(A),根系总表面积(B),根系总体积(C)的影响

Fig.1 Effects of drought stress on total root length (A), total root surface area (B), total root volume (C) of cut *Chrysanthemum*

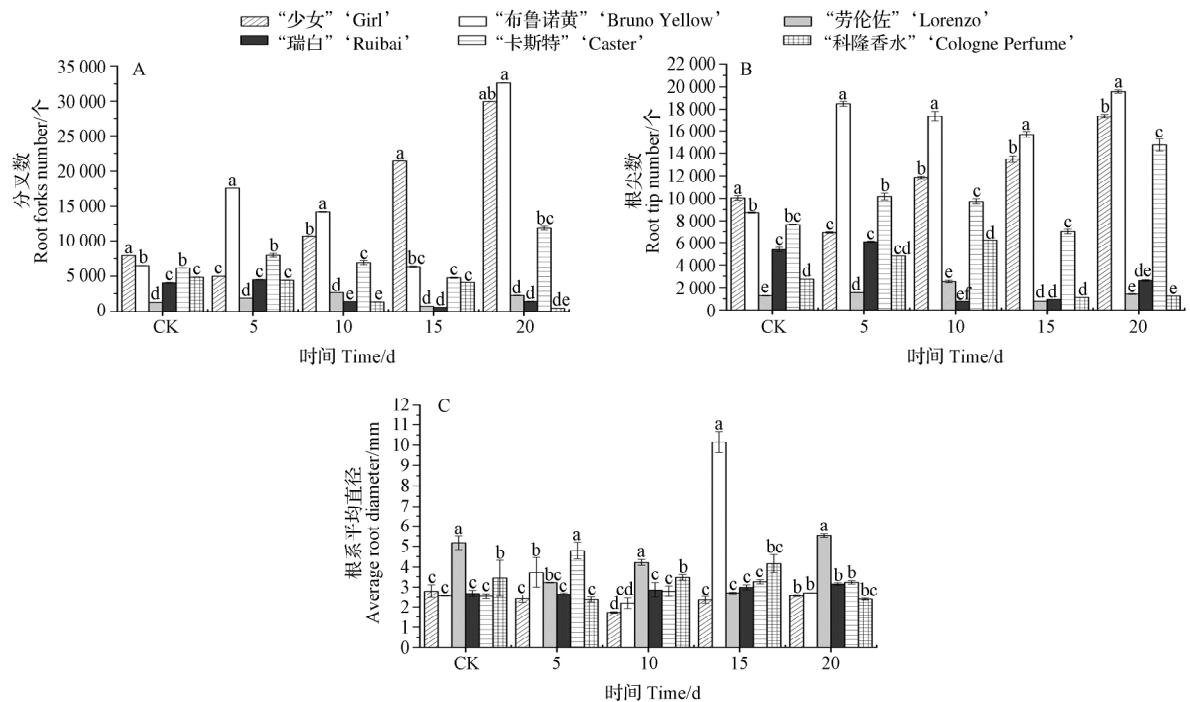


图2 干旱胁迫对彩菊切花根系平均直径(A),根尖数(B),分叉数(C)的影响

Fig.2 Effects of drought stress on average root diameter (A), root tip number (B), root diameter number (C) of cut *Chrysanthemum*

55.20%和51.00%;分叉数与CK相比分别下降了10.72倍和2.86倍。说明干旱胁迫对“瑞白”和“卡斯特”根系根尖数和分叉数抑制效果显著。

由图2C可知,6个品种彩菊切花的根系平均直径与分叉数和根尖数变化规律不相同。在干旱胁迫第15天时,“布鲁诺黄”根系平均直径显著高于其他品种,值为10.15 mm,至第20天时下降为2.72 mm,与CK相比增长不显著。在干旱胁迫第20天时“瑞白”根系平均直径为最大值5.52 mm,“卡斯特”根系平均直径最小,值为2.40 mm,与CK相比下降了30.23%。

2.1.3 干旱胁迫对彩菊切花根系构型指标影响的相关性分析

为探知干旱胁迫下彩菊切花幼苗根系构型间的关系,对根系指标进行了皮尔逊相关性分析。由表1可知,在干旱胁迫下根系总长度与根系总表面积、根尖数和分叉数呈极显著正相关($P < 0.01$);根系总表面积与根尖数和分叉数呈极显著正相关($P < 0.01$),与根系总体积呈显著正相关

($P < 0.05$);根系总体积与根系平均直径和分叉数呈极显著正相关($P < 0.01$),与根尖数呈显著正相关($P < 0.05$);分叉数和根尖数呈极显著正相关($P < 0.01$),以上显著性说明根系总长度、根系总表面积和根系总体积等指标的关联程度较大。除根系总体积外,根系平均直径与其他根系指标不存在相关性,同时根系总长度与根系总体积也不存在相关性,其他指标两两之间均存在相关性。

2.2 干旱胁迫对彩菊切花生理活性的影响

由图3A可知,随着干旱胁迫程度加剧,除“卡斯特”的REC含量下降以外,其他品种彩菊切花的REC呈上升趋势。在干旱胁迫第20天时“少女”REC达到最高,为0.91%,与CK比较增长了74.73%;“布鲁诺黄”REC为0.83%,增长率最大,值为78.31%。“瑞白”在第10天时降低,之后逐渐升高;“卡斯特”在第5天和第15天时数据反复,说明细胞膜在干旱胁迫下的稳定性较弱。

表1 干旱胁迫下彩菊切花幼苗根系构型相关性分析

Table 1 Correlation analysis of root configuration of cut *Chrysanthemum* seedlings under drought stress

处理 Treatment	根系总长度 Total root length/cm	根系总表面积 Total root surface area/cm ²	根系总体积 Total volume of root/cm ³	根系平均直径 Average root diameter/mm	根尖数 Root tip number/个	分叉数 Root forks number/个
根系总长度 Total root length/cm	1.000					
根系总表面积 Total root surface area/cm ²	0.860**	1.000				
根系总体积 Total volume of root/cm ³	0.348	0.441*	1.000			
根系平均直径 Average root diameter/mm	-0.113	0.073	0.832**	1.000		
根尖数 Root tip number/个	0.848**	0.656**	0.429*	-0.051	1.000	
分叉数 Root forks number/个	0.883**	0.693**	0.594**	0.185	0.831**	1.000

注:**表示在0.01水平(双侧)上显著相关;*表示在0.05水平(双侧)上显著相关。

Note:** indicates a significant correlation at 0.01 level (bilateral); * indicates a significant correlation at 0.05 level (bilateral).

由图3B可知,随着干旱胁迫程度加剧,彩菊切花叶片相对含水量呈下降趋势。“布鲁诺黄”在CK时RWC明显高于其他品种,之后呈下降趋势,至第20天时降为0.68 g,下降率为30.61%,下降趋势最小。“卡斯特”在CK时RWC含量最低,值为0.78 g,至第20天时降为0.41 g,下降率为47.44%,下降趋势最大。综上所述,6个品种彩菊切花的相对含水量表明细胞的存水和保水能力排列为“布鲁诺黄”>“少女”>“瑞白”>“科隆香水”>“劳伦佐”>“卡斯特”。

由图4A可知,丙二醛(MDA)含量随着干旱

程度的加剧呈先上升后下降的趋势,6个品种彩菊切花在干旱胁迫第15天时MDA含量达到最大值后下降,表明植株在第15天时膜脂受到了严重伤害,植株通过升高抗氧化酶来抵御干旱。其中“科隆香水”在第15天时显著高于其他品种,值为13.90 mmol·g⁻¹,与CK比较增长了79.86%,至第20天时下降了83.45%。第20天时“劳伦佐”的MDA含量最高,值为7.31 mmol·g⁻¹,“瑞白”最低,值为2.10 mmol·g⁻¹。

由图4B可知,随着干旱胁迫持续加深,与CK比较,除“卡斯特的Chl含量增长了32.84%

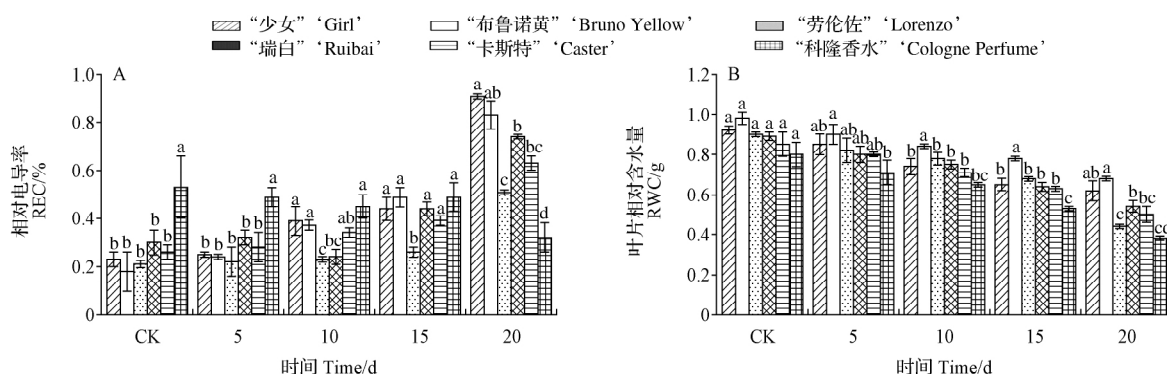


图 3 干旱胁迫对彩菊切花 REC(A)和 RWC(B)的影响

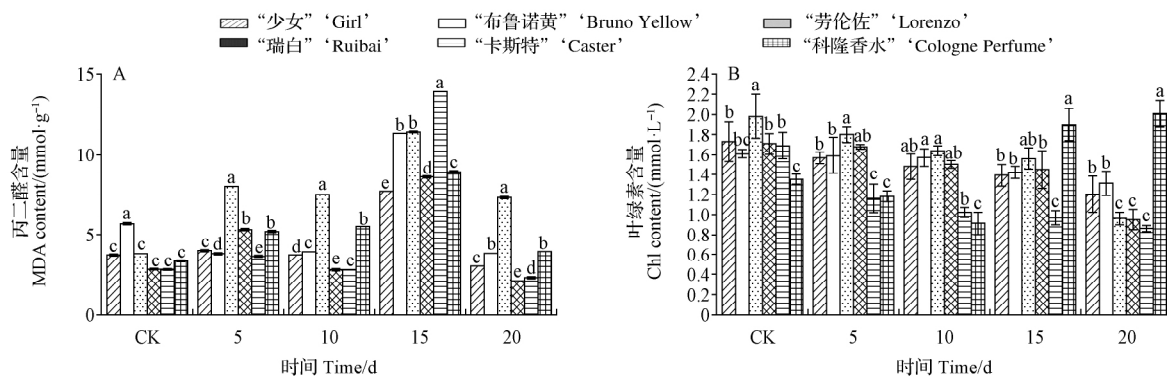
Fig. 3 Effects of drought stress on REC (A) and RWC (B) of cut *Chrysanthemum*

图 4 干旱胁迫对彩菊切花 MDA(A)和 Chl(B)的影响

Fig. 4 Effects of drought stress on MDA (A) and Chl (B) of cut *Chrysanthemum*

以外,其他 5 个品种彩菊切花的 Chl 含量呈下降趋势,其中下降率“劳伦佐”>“科隆香水”>“瑞白”>“少女”>“布鲁诺黄”,分别为 51.52%、49.11%、44.44%、30.68% 和 18.60%。通过方差分析,6 个品种彩菊切花在干旱胁迫时叶绿素含量存在差异,在第 20 天时“卡斯特”的 Chl 含量增长最大,值为 $2.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，“科隆香水”的 Chl 含量最低,值为 $0.86 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

由图 5A 可知,6 个品种彩菊切花 SOD 活性呈先上升再下降最后上升的趋势。在干旱胁迫第 20 天时 SOD 活性为“布鲁诺黄”>“卡斯特”>“瑞白”>“科隆香水”>“劳伦佐”>“少女”,与 CK 相比增长了 10.10%、8.95%、7.46%、6.48%、5.80%、4.75 倍。其中“瑞白”“少女”“科隆香水”在第 10 天时 SOD 活性达到峰值,“瑞白”“少女”在第 15 天时显著下降。

由图 5B 可知,随着干旱胁迫程度加剧,POD 活性呈先下降后上升趋势,“劳伦佐”“布鲁

诺黄”“瑞白”和“科隆香水”在干旱胁迫第 5~15 天时下降,至第 20 天时 POD 活性达最高。其中“劳伦佐”在第 5 天时 POD 活性最大,为 $118.60 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$,至第 20 天时显著高于其他几个品种,其值为 $167.60 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$,与 CK 相比增长了 76.13%,表明随着干旱程度的加剧,植株细胞受氧化伤害较大,植物抗性弱。其次是“卡斯特”在 CK 时 POD 活性最小,值为 $20.20 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$,至第 20 天时升高,与 CK 相比增长了 57.56%,因其反复性,说明该品种抗旱性不强。

由图 6A 可知,随着干旱胁迫的持续,6 个品种彩菊切花的 SS 含量呈先上升后下降的趋势,表明 SS 含量增长有助于增强植株的抗性。其中“少女”在干旱胁迫第 15 天时最大,值为 $3.01 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,直至第 20 天时下降为 $2.23 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,与 CK 相比增长了 89.24%,增长率最大;其次为“布鲁诺黄”,在第 10 天时增长最快,值为 $2.15 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,

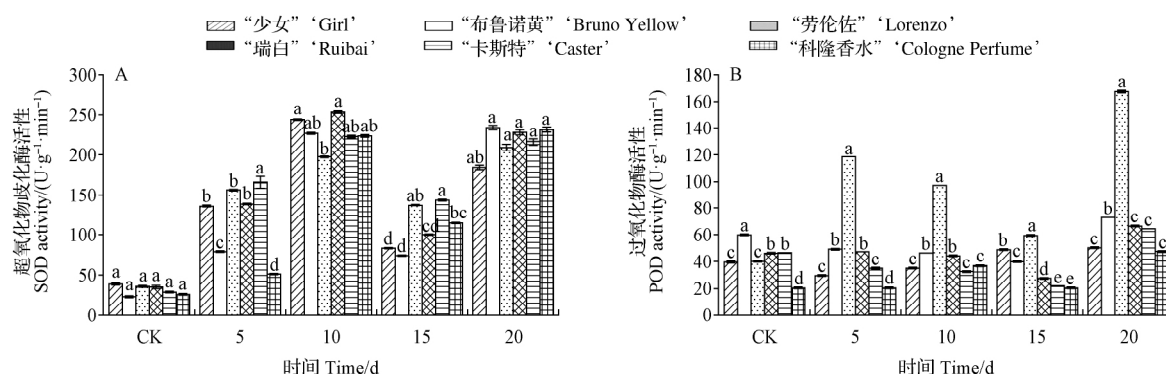


图5 干旱胁迫对彩菊切花 SOD(A)和 POD(B)的影响

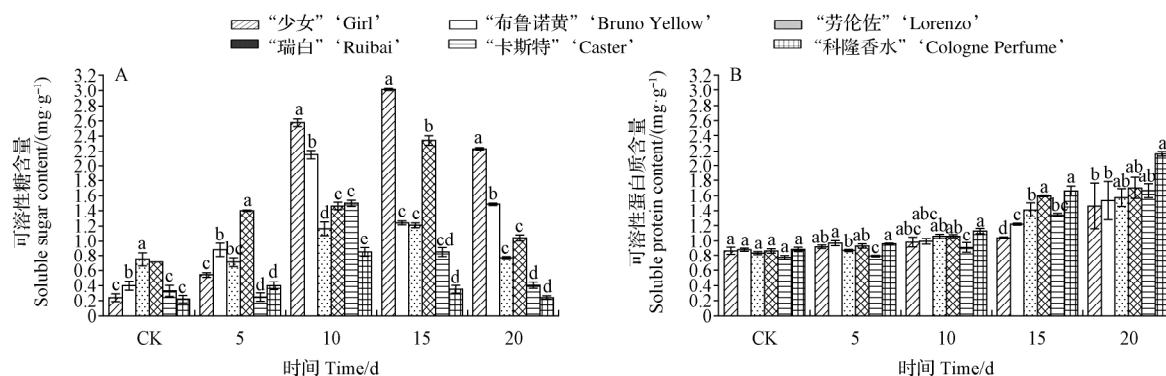
Fig 5 Effects of drought stress on SOD (A) and POD (B) of cut *Chrysanthemum*

图6 干旱胁迫对彩菊切花 SS(A)和 SP(B)的影响

Fig 6 Effects of drought stress on SS (A) and SP (B) of cut *Chrysanthemum*

至第20天时下降为 $1.49 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,与CK相比增长了73.15%;“卡斯特”的SS含量为最低,值为 $0.22 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 。综上所述,6个品种彩菊切花SS含量排列为“少女”>“布鲁诺黄”>“瑞白”>“劳伦佐”>“科隆香水”>“卡斯特”。

由图6B可知,6个品种彩菊切花的可溶性蛋白质含量(SP)呈上升趋势。其中“卡斯特”CK的含量为 $0.88 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,至第20天时增长为最大,值为 $2.16 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,增长率为59.26%,其次是“瑞白”,与CK相比增长了53.61%。

3 讨论

宁夏地区年降水量少,日蒸发量高,属西北干旱地区。干旱是全球农业生产力的主要制约因素之一,近年来,突然极端的气候变化严重干扰了降雨模式,导致水资源短缺,对作物生长和生产力产生了负面影响^[10]。在彩菊切花抗旱性研究过程中,为了能够更科学、客观全面的评价彩菊切花的

抗旱性,采用了盆栽和人工浇灌PEG模拟干旱胁迫,使试验环境统一且便于操作。聚乙二醇(PEG)是一种高分子量的渗透调节物质,对植物细胞产生的毒性小,可以使植物细胞处于类似于干旱的环境中^[11]。同时根据张常青等^[12]、LUO等^[13]研究筛选出最适PEG 6000浓度为 $20 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 模拟干旱胁迫环境。同时盆栽容器会限制植株根系生长,在生产过程中应根据植物不同生长时期及时更换容器。

根系是植物直接感受土壤水分变化和吸收土壤水分的最主要器官,植物根系生长的深度、广度、数量和活力均与其植株的抗旱性密切相关^[14]。根系构型(root system architecture, RSA)是植物与环境异质性资源相互适应的结果^[15],在一定程度上体现了植物对环境的适应性及植被的退化和演替状况,是根系在土壤中的空间分布特征,反映植物在进化过程中为适应不同的环境条件形成的特殊的根系特征,通

过提高植株生理和形态的稳定性,并做出相应调整以更好适应逆境胁迫,且植物根系构型可塑性是表征植物对生长环境适应能力的重要指标^[16-19]。该研究中“少女”“布鲁诺黄”“科隆香水”3个品种彩菊切花的根系总长度、总表面积、总体积随着干旱胁迫程度加深而不断增长,表明在短时间干旱胁迫下,植物营养向根部的分配增加,功能根的数目和长度增加,同时彩菊切花能够扎根土壤深层,并吸收到土壤深层的水分,使其在逆境下根系活力和水分利用效率提高,从而提高耐旱和抗旱的能力,这与吴盼婷等^[5]研究中发现经过干旱胁迫处理的地下部与对照相比显著增长的结论相一致。

当植物受到胁迫时,ROS和自由基的产生会引起膜脂过氧化,导致细胞损伤或死亡,然而,持续缺水就会破坏植物的结构,影响蛋白质和糖类的合成,严重影响植物的生理功能^[20]。该研究中“卡斯特”REC呈负相关,说明其细胞膜稳定性和透性低,抗逆性差;“劳伦佐”MDA含量显著高于其他品种,表明其细胞膜受损严重,因此植物细胞会启动抗氧化酶,SHARMA等^[21]在水稻的研究中发现,干旱胁迫导致其氧化还原系统平衡失调,这主要是由于酶活性降低而引起的渗透胁迫伤害。同时6个品种彩菊切花遭受干旱胁迫时,叶片相对含水量减少,且随着干旱胁迫时间的延长,叶绿素逐渐解体,致使叶绿素总含量迅速下降。

在干旱胁迫第20天以后对彩菊切花进行复水,发现彩菊切花逐渐枯萎,直至死亡,这可能与PEG在土壤中大量渗透、积累和胁迫持续时间有关,但因未涉及复水相关试验研究,该研究不作具体阐述,未来研究可挖掘植物在逆境条件下的代谢反应。

4 结论

通过根系相关性分析表明根系总长度、根系总表面积、根系总体积与总根系指标的关联程度较大。除根系总体积外,根系平均直径与其他根系指标不存在相关性。在干旱胁迫下,不同品种彩菊切花的RWC和Chl不断下降,REC和SP升高,MDA和SS含量先上升后下降,POD先下降后上升,SOD呈先上升再下降最后上升的趋

势。“布鲁诺黄”的耐旱能力相对较强,可以作为耐旱品种进行推广种植,其次是“少女”,耐旱能力最弱的是“卡斯特”。

参考文献

- [1] 张利英,黄丛林,喻铨,等.多头切花菊新品种‘京科喜丰收’[J].园艺学报,2023,50(S1):115-116.
- [2] 张万博,马晓莹,陈素梅,等.不同花型及花径切花菊花香挥发物多样性分析[J].南京农业大学学报,2022,45(4):675-683.
- [3] 刘牧野,郭丽珠,岳跃森,等.干旱胁迫下不同性别野牛草生理及抗氧化酶基因表达差异[J].草业学报,2023,32(10):93-103.
- [4] 杨若鹏,张祖芸.干旱胁迫对菊花生理指标的影响[J].红河学院学报,2017,15(2):126-128.
- [5] 吴盼婷,王江民,沈佳逾,等.不同菊花品种根系、地上部和叶片相关指标分析及抗逆性评价[J].植物资源与环境学报,2017,26(2):46-54.
- [6] 栾东涛,王婧,张冬梅,等.四种盆栽小菊抗旱性研究[J].北方园艺,2020(20):54-61.
- [7] 周上铃,何发,张绩,等.YUCCA1基因异位表达对拟南芥根系构型以及磷吸收的影响[J/OL].分子植物育种,(2023-07-07)[2023-08-13].https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=AnKLoVmlNR3sY-UnHcoWZ_yVLbOjClaAoRCbj5XwH8UqKUYOr0ckaMQoNhY1sXO-p0Ro383H02Z2BjuKWaxq3El1QZFkxpfRJSZz44PoH2gnIM643Xvv7_BBSftA2OpieCS5aTa8A=&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- [8] 高俊山,蔡永萍.植物生理学实验指导[M].2版.北京:中国农业大学出版社,2018.
- [9] 杨小英,王利凯,马小梅,等.干旱胁迫对八仙花生理特性及叶片结构的影响[J].北方园艺,2023(11):75-80.
- [10] RIZWAN M,ALI S,ZIA U R M,et al.Alleviation of cadmium accumulation in maize (*Zea mays* L.) by foliar spray of zinc oxide nanoparticles and biochar to contaminated soil[J].Environmental Pollution,2019,248:358-367.
- [11] 许耀照,曾秀存,王勤礼,等.PEG模拟干旱胁迫对不同黄瓜品种种子萌发的影响[J].中国蔬菜,2010(14):54-59.
- [12] 张常青,洪波,李建科,等.地被菊花幼苗耐旱性评价方法研究[J].中国农业科学,2005,38(4):789-796.
- [13] LUO Y,HU T T,HUO Y Y,et al.Transcriptomic and physiological analyses reveal the molecular mechanism through which exogenous melatonin increases drought stress tolerance in *Chrysanthemum*[J].Plants,2023,12(7):1489.
- [14] 汪堃,南丽丽,郭全恩,等.干旱胁迫对不同根型苜蓿根系构型的影响[J].生态学报,2022,42(20):8365-8373.
- [15] 陈洁,南丽丽,汪堃,等.低磷胁迫对红豆草根系构型的影响[J].干旱地区农业研究,2023,41(2):61-69.
- [16] 李秉钧,颜耀,吴文景,等.环境因子对植物根系及其构型的影响研究进展[J].亚热带水土保持,2019,31(3):41-45.
- [17] 王浩,黄晨璐,杨方社,等.砒砂岩区沙棘根系的生境适应性[J].应用生态学报,2019,30(1):157-164.

- [18] 苗青霞,方燕,陈应龙.小麦根系特征对干旱胁迫的响应[J].植物学报,2019,54(5):652-661.
- [19] 狄小琳.水势介导的土壤胁迫对芒颖大麦根系构型与生理代谢的影响[D].哈尔滨:东北林业大学,2022.
- [20] GAO S,WANG Y,YU S,et al.Effects of drought stress on growth, physiology and secondary metabolites of two adonis species in Northeast China[J].Sci Hortic-Amsterdam,2019,259(1):108795.
- [21] SHARMA P,DUBEY R S.Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings[J].Plant Growth Regul,2005,46(3):209-221.

Effects of Drought Stress on the Root Architecture and Physiological Activity of Cut *Chrysanthemum* Seedlings

YANG Xiaoying^{1,2}, HUANG Yanzhu¹, HAO Chunlei³, MU Bo⁴, YAN Rui², ZHANG Li^{1,2}

(1.College of Civil Architecture, Yinchuan University of Energy, Yinchuan, Ningxia 750100; 2.College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021; 3. Ningxia Shengxu Hao Chun Agricultural Technology Co. Ltd., Yinchuan, Ningxia 750001; 4.Ningxia Qian Yi Agricultural Technology Co.Ltd., Yinchuan, Ningxia 750001)

Abstract: Taking six varieties of cut *Chrysanthemum* seedlings as experimental materials, through pot cultivation and artificial watering with a $20 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ concentration of PEG 6000, simulating drought stress, the changes in root system architecture and physiological indicators of cut *Chrysanthemum* were investigated on the 5th, 10th, 15th, and 20th days of drought stress. The aim was to identify excellent cut *Chrysanthemum* varieties with strong drought resistance and suitable for large-scale promotion and cultivation in the arid region of Ningxia, in order to provide reference for the promotion of *Chrysanthemum* varieties in western arid areas. The results showed that as drought stress continued, the total length, surface area and volume of the root systems of cut *Chrysanthemum* were significantly correlated with the total index. There was no correlation between average root diameter and other root indexes except total volume. Compared with water, the relative water content and chlorophyll of the *Chrysanthemum* leaves of different varieties continuously decreased, while the relative conductivity and soluble protein content increased. The content of malondialdehyde and soluble sugars first increased and then decreased, and the activity of peroxidase first decreased, then increased. The activity of superoxide dismutase showed an initial increase, then a decrease, and finally an increase.

Keywords: cut *Chrysanthemum*; drought stress; root system architecture; physiological activity