

余孝丰, 黄贝, 金龙飞, 等. 适度干旱和叶喷调环酸钙对设施柑橘开花的影响[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(5): 134-141.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.05.017

适度干旱和叶喷调环酸钙对设施柑橘开花的影响

余孝丰^{1,2}, 黄贝¹, 金龙飞¹, 张德健², 王鹏¹

1. 浙江省农业科学院柑橘研究所, 台州 318026; 2. 长江大学园艺园林学院, 荆州 434025

摘要 为了探究干旱胁迫和调环酸钙对设施柑橘开花和树势的影响, 以3年生避雨限根栽培枳(*Poncirus trifoliata* L. Raf.)砧‘鸡尾’葡萄柚(*Citrus paradise* Osbeck.)为试验材料, 进行适度干旱(DR)和叶喷500 mg/L的调环酸钙(PC)处理, 常规水肥管理作为对照(CK), 观察不同处理对‘鸡尾’葡萄柚开花时间和花枝数的影响, 并测定复水前的树势生理指标。结果显示: 与对照相比, 干旱胁迫可以有效延迟‘鸡尾’葡萄柚的秋季开花时间, 且翌年春季每枝开花数显著升高; 干旱处理植株叶片的叶绿素b含量、可溶性蛋白含量、CAT和SOD酶活性显著增高, 净光合速率、叶绿素总含量、C/N比值和POD酶活性降低; 与对照相比, 叶片喷施调环酸钙对‘鸡尾’葡萄柚秋季始花时间和数量无显著影响, 但翌年春季每枝花数显著增加; 调环酸钙处理植株叶片的厚度和质量、叶绿素b含量、叶绿素总含量、CAT活性等增高, 淀粉含量、C/N比值和POD酶活性等降低。以上结果表明, 喷施调环酸钙能调节‘鸡尾’葡萄柚的营养和生殖生长, 结合适度的干旱处理则可以调控设施栽培‘鸡尾’葡萄柚的集中开花时间。

关键词 ‘鸡尾’葡萄柚; 设施栽培; 干旱胁迫; 调环酸钙; 开花调控

中图分类号 S666.3; S628 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)05-0134-08

柑橘目前是世界第一大类水果, 也是我国南方农民增收致富的重要经济作物。‘鸡尾’葡萄柚(*Citrus paradise* Osbeck.)作为一种优新柑橘品种, 具有酸甜可口、多汁化渣、富含功能性物质等特点, 深受消费者喜爱^[1]。‘鸡尾’葡萄柚是暹罗甜柚(*Citrus grandis* L. Osbeck.)和弗鲁亚橘(*Citrus reticulata* Blanco)杂交选育而成, 露天栽培模式下易受干旱、高温、冻害等极端气候的非生物胁迫影响表现出一年多次开花的特性, 除春季正常开花外, 其他季节成花量较少, 而且成花质量也不高, 结果偏小、皮厚、口感差。‘鸡尾’葡萄柚(*Citrus paradise* Osbeck.)全年多次成花挂果, 不仅浪费树体营养, 甚至造成第二年春季集中成花的受阻, 易表现出大小年结果现象, 对树势的管理和整体经济效益造成较大的影响。柑橘设施栽培不仅能够调控果实品质, 还能调整果实成熟期, 进而提高柑橘种植的经济效益, 而开花调控则是实现柑橘设施栽培错季成熟的关键技术。为了进一步推广‘鸡尾’葡萄柚和配套设施栽培技术, 亟需开展

设施调控成花的研究。

在柠檬(*Citrus limon*)上的研究发现, 控水能够有效促进柠檬开花^[2]; 在温州蜜柑(*Citrus unshiu* Marc.)上的研究也发现, 30 d的中度干旱处理能够有效促进成花^[3]。调环酸钙作为一种植物生长调节剂, 能够调节植物营养生长和生殖生长, 提高果实品质^[4], 但关于调环酸钙对柑橘成花和树势影响的研究鲜有报道。因此, 本试验拟通过干旱胁迫处理和喷施调环酸钙来调控设施栽培‘鸡尾’葡萄柚的开花和树势, 观察是否能在保证植株正常发育的同时实现花期调控和控制营养梢的抽发, 以期为‘鸡尾’葡萄柚果实的错季上市提供理论依据及可行且易操作的开花调控技术。

1 材料与方法

1.1 供试材料、生长环境和样本采集

本试验在浙江省柑橘研究所设施避雨大棚内进行(东经121°9'30", 北纬28°38'36")。试验材料为限

收稿日期: 2022-07-27

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFD1000102); 浙江省基础公益研究计划项目(LGN22C150008); 浙江省衢州市柯城区柑橘产业农业科技园区项目“鸡尾葡萄柚提质增效关键技术研究”

余孝丰, E-mail: 976304227@qq.com

通信作者: 王鹏, E-mail: wangpeng@zaas.ac.cn

根栽培的3年生枳(*Poncirus trifoliata* L. Raf.)砧‘鸡尾’葡萄柚(*Citrus paradise* Osbeck.),栽培基质为混合土沙(V:V=3:1),采用水肥一体灌溉。在干旱和调环酸钙处理结束后,于2021年10月14日10:00左右采集夏梢叶片和茎,每组样品取8个生物学重复,清水洗净样品表面污物然后擦干,迅速投入液氮中,带回实验室于-80℃条件下保存,备用。

1.2 试验处理

试验开始前将参试的限根栽培植株浇透,待其基质含水量下降到预设值后进行控水试验。参考前人试验结果和植株叶片萎蔫情况,观察总结试验材料所需要保持的土壤含水量波动区间。干旱从8月10日开始持续至10月10日,试验期间每天16:00—17:00时使用TZS-1K-G土壤水分测定仪(浙江托普云农,中国)测定柑橘根围3处不同的土壤含水量得出土壤含水量平均值,根据树体状态和蒸腾失水量补充水分,使各处理组土壤含水量保持在设定的波动范围内。本试验分3个处理组,对照:CK,土壤含水量为17%~22%;调环酸钙处理(prohexadione calcium spraying, PC):土壤含水量为17%~22%;干旱胁迫处理(moderate drought, DR):土壤含水量为10%~15%,每个处理设置8个生物学重复。PC处理调环酸钙的喷施质量浓度为500 mg/L,样本采集之前共喷施3次,处理时间分别为8月25日、9月15日、10月10日。药剂喷施使用小型手动式喷雾器,对全树进行均匀喷施,喷施由内及外、由上至下、均匀喷布,直至有液滴形成。2021年10月15日对DR组进行复水,之后进行正常的水管理,促进树势

恢复。

1.3 试验相关指标测定方法

分别在2021年9月、11月及2022年4月,进行3次全树花蕾和营养枝数据统计。控水保持30 d之后,9月24日10:00时使用CIRAS-2型便携式光合作用测定仪系统(PP2Systems,英国)对植株净光合速率进行测定。过氧化氢酶采用钼酸铵法进行测定^[5],超氧化物歧化酶采用黄嘌呤氧化酶法测定^[6]。可溶性糖采用蒽酮比色法进行测定^[7],可溶性蛋白采用考马斯亮兰法进行测定^[8]。淀粉用高氯酸水解为糖后测定^[9]。叶绿素a、叶绿素b、过氧化物酶按试剂盒(南京建成,中国)说明书应用分光光度计进行检测。叶片非结构性碳含量根据可溶性糖和淀粉分子中的碳素比例进行换算后得到^[10]、叶片总氮含量根据林业行业标准LY/T 1269—1999《森林植物与森林枯枝落叶层全氮的测定》检测。叶片厚度用电子游标卡尺进行测量,叶片质量利用电子天平称量。

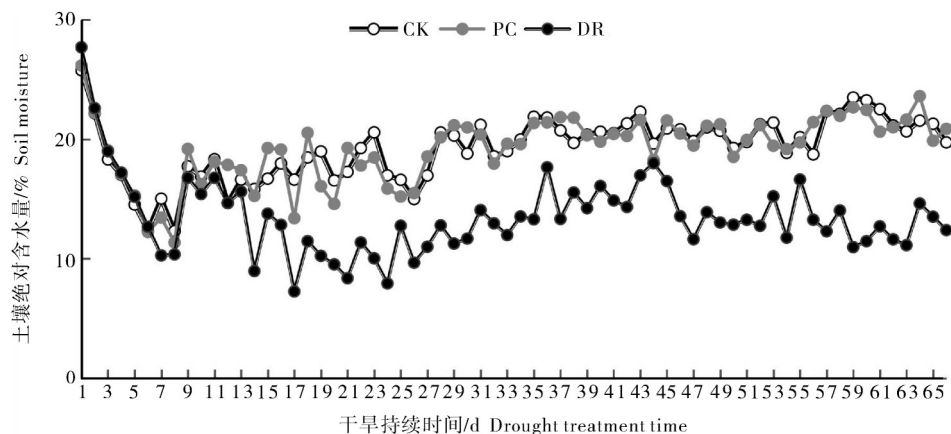
1.4 数据处理

试验中所测定数据用Excel 2019软件进行处理和作图,使用SAS 8.1软件进行统计分析,Duncan's法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 土壤水分的维持

干旱期间土壤水分记录如图1所示,DR处理的植株根围土壤绝对含水量在15%上下浮动,低于PC处理和CK的20%(图1)。DR处理保持设定水分含量59 d,满足土壤控水要求。



CK和PC处理土壤含水量为17%~22%;DR处理土壤含水量为10%~15%。The soil moisture of CK and PC group ranged from 17% to 22%, the soil moisture of DR group ranged from 10% to 15%.

图1 试验期间不同处理‘鸡尾’葡萄柚的土壤含水量

Fig.1 The soil moisture of Cocktail grapefruit under different treatments during the experiment period

2.2 干旱和调环酸钙对‘鸡尾’葡萄柚成花和抽发营养枝的影响

对植株成花与枝梢抽发情况进行观察统计,结果显示DR处理植株9月几乎没有花枝和营养枝的抽发,而CK和PC处理植株成花明显(表1)。控水试验结束恢复浇水约1周后,DR处理植株开始出现芽体萌发迹象,10 d后开始露白,花苞开始萌发(图2),花期相比CK延后约60 d,说明干旱胁迫处理可以有

效调控‘鸡尾’葡萄柚的秋季开花时间。2022年4月再对植株开花数和抽枝数进行统计,结果显示:PC处理植株的单枝花数约为64个,DR处理的单枝花数约为64个,均显著高于CK,而CK植株的营养枝抽发数最高,其次为PC处理,DR处理最低(表1),说明干旱胁迫和调环酸钙处理能显著促进‘鸡尾’葡萄柚的生殖生长。

表1 不同时期各处理组‘鸡尾’葡萄柚植株成花和抽发营养枝数

Table 1 The flowers and vegetative branches numbers of cocktail grapefruit under different treatments at various dates

时间 Time	开花数和抽枝数 The number of flowers and shoots	处理 Treatments		
		CK	PC	DR
2021年9月 September 2021	成花数 The number of flowers	51.13±6.60a	42.13±7.79a	0.38±0.52b
	花枝数 The number of flowering shoots	14.25±3.59a	13.50±4.12a	0.25±0.50b
	营养枝数 The number of vegetative shoots	1.38±0.52a	1.63±0.74a	0.00±0.00
2021年11月 November 2021	成花数 The number of flowers	2.50±0.53b	0.00±0.00	36.33±7.09a
	花枝数 The number of flowering shoots	0.50±0.53b	0.00±0.00	11.50±2.56a
	营养枝数 The number of vegetative shoots	0.88±0.35b	1.13±0.35b	5.25±1.58a
2022年4月 April 2022	每枝花数 The number of flowers per shoot	56.00±2.32b	64.75±2.99a	64.00±3.15a
	花枝数 The number of flowering shoots	81.33±3.21a	70.33±2.08b	74.33±1.53b
	营养枝数 The number of vegetative shoots	7.67±0.58a	4.00±1.00b	1.67±0.58c

注:同一行中不同字母表示数据差异显著($P<0.05$)。下同。Note: Data marked with different letters in the same line is significantly different from each other ($P<0.05$). The same as below.

2.3 干旱和调环酸钙对‘鸡尾’葡萄柚叶片生理性状的影响

2021年11月各处理植株生长情况(图2)显示,PC处理相比CK的树势差异不大,生长水平相当;DR处理树势相比CK有所下降,说明干旱胁迫会降

低‘鸡尾’葡萄柚的生长势。PC处理的植株叶片厚度为0.25 mm,相比于CK增加了19%,PC处理的植株叶片质量最高为1.52 g,相比CK增加了24%,DR处理和CK在叶片厚度和质量上无显著差异(图3A、B),表明叶喷调环酸钙可以显著提高叶片厚度和质量。



图2 2021年11月不同处理‘鸡尾’葡萄柚的植株树势和花序特征

Fig.2 The plants vigor and inflorescence characteristic of Cocktail grapefruit under different treatments in November 2021

叶绿素含量测定结果显示,干旱和调环酸钙处理对叶绿素a和总叶绿素含量均无显著影响(图3D、F),但对叶绿素b影响较大(图3E),PC处理的叶绿素b含量最高为0.429 mg/g,相比于CK显著提高115%,DR处理的叶绿素b含量为0.246 mg/g,相比于CK显著提高了24%。叶片光合作用的强弱决定着植物碳同化能力的高低,测定叶片净光合速率可

以了解植株的营养积累和转化能力。DR处理的叶片净光合速率为 $10.08 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,相比于CK显著降低了19%,PC处理的叶片净光合速率相比CK明显上升(图3C)。说明干旱胁迫会降低‘鸡尾’葡萄柚植株的净光合速率,而叶喷调环酸钙对叶片净光合速率有提升作用。

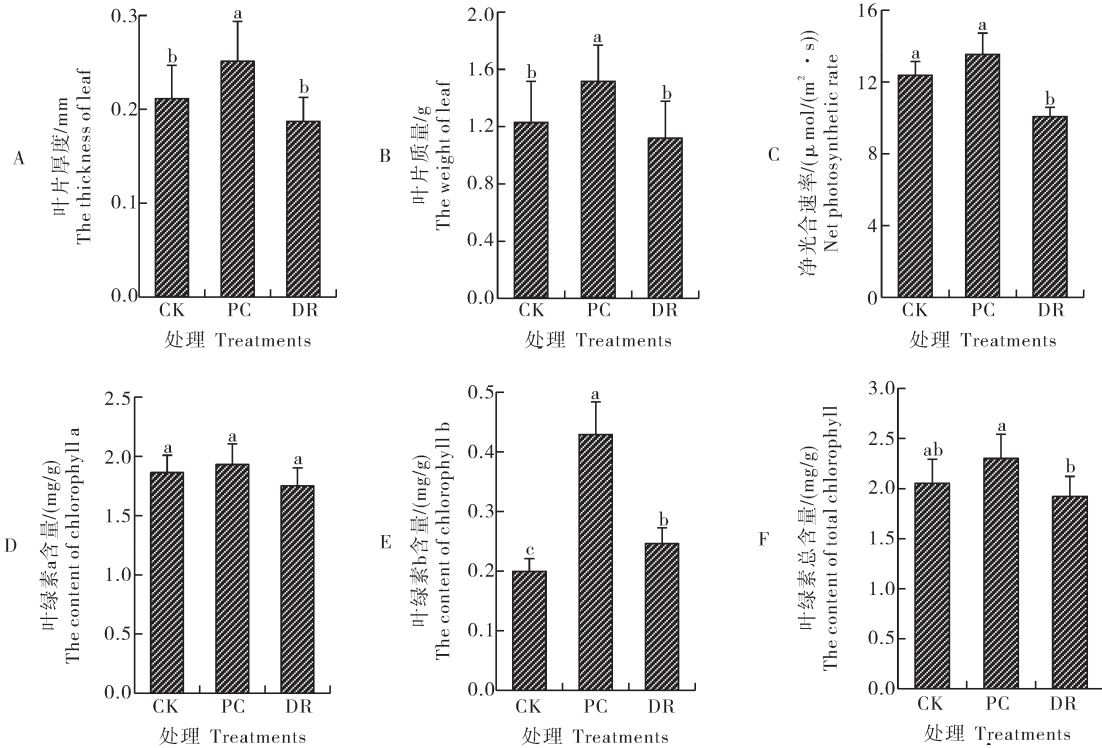


图3 干旱和调环酸钙对‘鸡尾’葡萄柚叶片生理性状的影响

Fig.3 Effects of drought and prohexadione calcium on the leaf physiological parameters of cocktail grapefruit

2.4 干旱和调环酸钙对‘鸡尾’葡萄柚叶片碳、氮含量的影响

DR处理的叶片淀粉含量为 20.17 mg/g ,相比于CK显著降低了18%;PC处理的叶片淀粉含量为 16.04 mg/g ,相比于CK显著降低了35%,说明干旱和调环酸钙处理都显著降低‘鸡尾’葡萄柚叶片的淀粉含量(图4A)。PC和DR处理的‘鸡尾’葡萄柚叶片可溶性糖含量略有上升,但与CK相比没有显著差异(图4B)。可溶性蛋白作为重要的渗透调节物质和营养物质,其含量的增加和积累能提高细胞的保水能力,对细胞的生命物质及生物膜起到保护作用。由图4C可知,DR处理叶片的可溶性蛋白含量最高为 5.52 g/L ,相比于CK显著提升了20%,说明干旱胁迫处理能明显提高‘鸡尾’葡萄柚叶片中的可溶性蛋白含量。

‘鸡尾’葡萄柚叶片总碳和总氮检测结果显示,DR处理叶片的非结构性碳水化合物碳含量为 21.20 g/kg ,PC处理为 19.83 g/kg ,相比CK分别降低了17.89%和23.20%,均显著低于CK;而DR和PC处理叶片的总氮含量与CK相比均无显著差异(图4E)。另外,DR处理植株叶片的C/N值为0.71,PC处理的为0.61,均显著低于CK(图4F)。说明干旱和调环酸钙处理会显著降低植株叶片的非结构性碳素含量,对氮素含量无显著影响,进而导致了‘鸡尾’葡萄柚叶片C/N比值的显著降低。

2.5 干旱和调环酸钙对‘鸡尾’葡萄柚叶片抗氧化酶活性的影响

抗氧化酶系统可以协同清除逆境产生的大量活性氧,以保证正常的细胞代谢活动^[11]。由图5A可

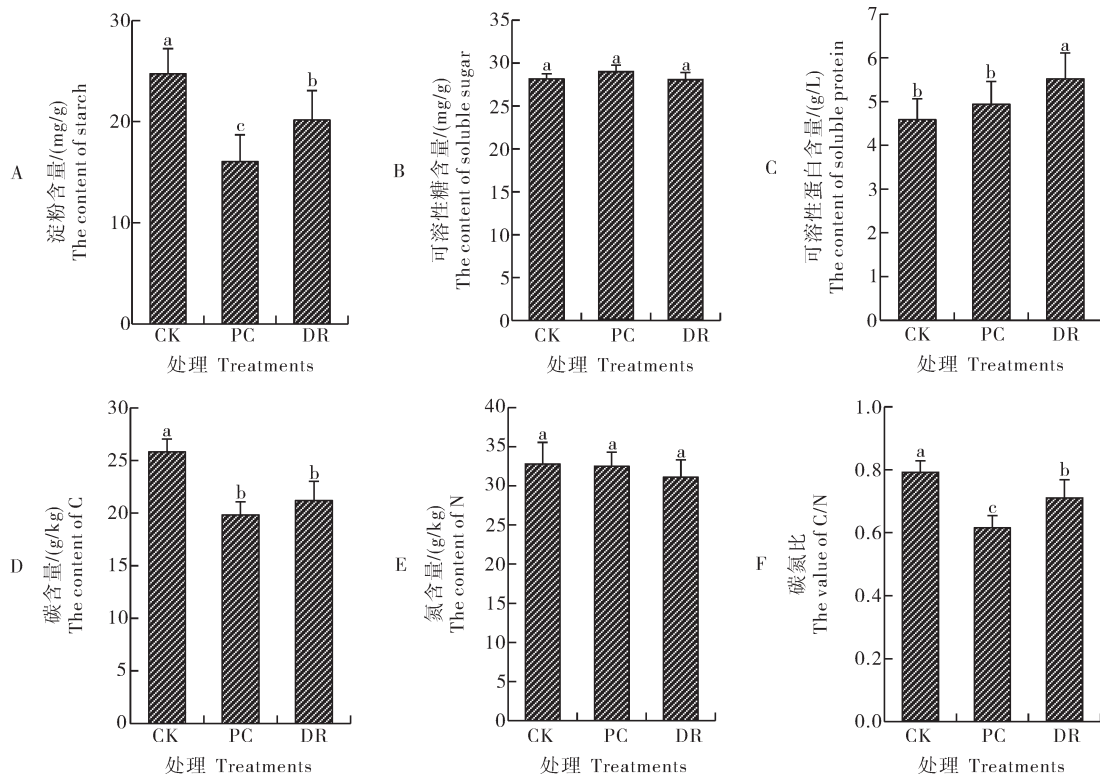


图4 干旱和调环酸钙对‘鸡尾’葡萄柚叶片碳和氮含量的影响

Fig.4 Effects of drought and prohexadione calcium on C and N content in leaves of Cocktail grapefruit

知,PC处理植株叶片的POD活性为697.22 U/g,显著低于CK。不同处理植株叶片的CAT活性数据如图5B所示,DR处理的CAT活性最高为9 944.16 U/g,相比于CK显著提高了324.7%,PC组的CAT活性为4 004.51 U/g,相比于CK显著提升了71%。DR处理植株叶片的SOD活性最高为984.74 U/g,相

比于CK显著提升了18%,而PC处理则和CK无显著性差异(图5C)。综上,干旱胁迫使‘鸡尾’葡萄柚叶片的CAT、SOD活性显著提高,对POD活性无显著影响;调环酸钙处理显著降低‘鸡尾’葡萄柚叶片的POD活性,提升CAT活性,对SOD活性无显著影响。

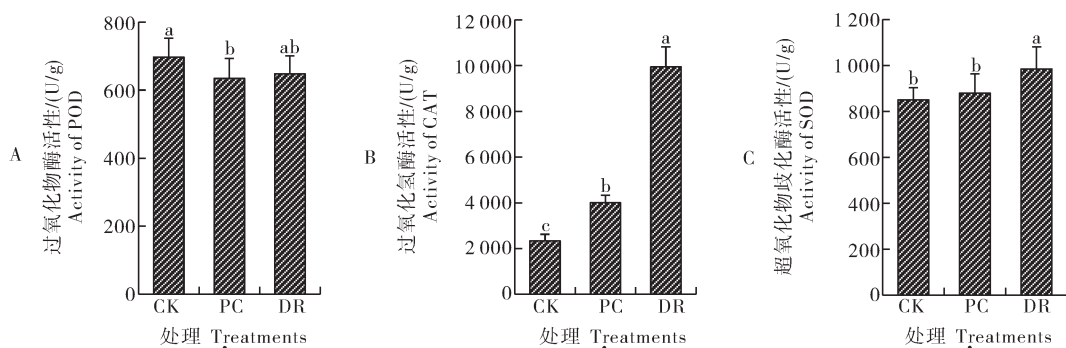


图5 干旱和调环酸钙对‘鸡尾’葡萄柚叶片抗氧化酶活性的影响

Fig.5 Effects of drought and prohexadione calcium on the antioxidant enzyme activities in leaves of Cocktail grapefruit

3 讨论

本试验中,干旱处理的‘鸡尾’葡萄柚在10月15日复水之后的1周开始成花,2周左右达到盛花期,相

比对照能有效推迟秋季开花时间。说明本试验设定的适度干旱对‘鸡尾’葡萄柚秋季的成花具有明显的调控效应,与干旱能调控柠檬和温州蜜柑成花时间和数量的研究结果^[2-3]一致。但本研究中干旱处理

植株复水后成花数量相对较少,而翌年春季每枝花数显著增加,推测应与10月15日复水时间较迟,2021年11月份环境温度过低导致成花启动受阻有关。复水后成花数偏少使得干旱处理的树体营养消耗相对对照更少,有利于结果母枝养分的积累反而促进了翌年春季的成花。调环酸钙处理对‘鸡尾’葡萄柚秋季成花几乎无影响,但春季每枝花数也有增加,推测与调环酸钙能够通过调节植株C/N比值影响生殖生长有关。李文庆等^[10]曾报道干旱胁迫下砂糖橘每枝花数与枝条的C/N比值存在显著的负相关关系,本试验发现叶喷调环酸钙后‘鸡尾’葡萄柚叶片的总碳含量以及C/N值也出现下降。

本试验中的‘鸡尾’葡萄柚在干旱处理后树势略有下降,这与柑橘经干旱处理之后,植株气孔开度会变小、叶绿素含量下降、很大程度上影响植物的生长和光合能力^[12-13],进而降低净光合速率从而影响植物物质转化和营养积累有关^[14]。但叶喷调环酸钙处理植株的叶片厚度与质量、叶绿素含量、净光合速率相比对照均呈上升趋势,说明喷施调环酸钙处理能促进植株光合作用增强,有助于营养积累,可显著增强植物的抗逆生长^[15]。

植株受到干旱胁迫时,淀粉水解以可溶性糖类物质形式积累,帮助植物调节渗透势,缓解胁迫^[16]。本研究发现干旱会显著降低‘鸡尾’葡萄柚叶片的淀粉含量,这一结果与肖玉明等^[17]在温州蜜柑上的研究一致。调环酸钙对植物糖类代谢影响的研究较少,王文玉等^[18]在喷施调环酸钙对水稻产量和品质影响的研究中发现150~210 g/hm²的施用量降低了直链淀粉的积累,但在柑橘上应用的结果有待进一步的深入研究。干旱和调环酸钙处理植株叶片的可溶性糖含量轻微上升但并不显著,很可能是由于本试验干旱程度较轻(失水率<40%)的原因导致。干旱胁迫条件下,蛋白合成受阻、分解过程加强,干旱处理叶片中可溶性蛋白含量显著增加,有助于植株调节渗透势以抵御不良环境^[19]。

抗氧化酶系统活性的提高可以抑制细胞的膜脂过氧化反应,以降低逆境对细胞造成的伤害程度。本试验设定土壤适度干旱,CAT和SOD酶活性显著上升,有助于清除干旱胁迫带来的伤害^[20-21]。调环酸钙处理同样引起‘鸡尾’葡萄柚叶片的CAT和SOD酶活性上升,POD酶活性下降,起到了延缓叶片衰老的作用。因此,我们推测在适度干旱的同时叶喷调环酸钙可以防止‘鸡尾’葡萄柚的树势下降。

不同的干旱程度和干旱持续时间对植株的生长有着显著的影响^[22],为进一步了解‘鸡尾’葡萄柚的成花生理,下一步将继续开展不同干旱时长、强度和调环酸钙浓度诱导‘鸡尾’葡萄柚成花的效应试验,以期获得更成熟的设施柑橘成花调控技术。

适度干旱处理可以有效推迟‘鸡尾’葡萄柚的秋季成花时间,同时降低成花数量,但造成树势略有减弱;叶喷500 mg/L调环酸钙尽管对‘鸡尾’葡萄柚的秋季成花时间和数量没有显著影响,却能增强其光合作和树势,有助于翌年单枝花数的增加。因此,可在‘鸡尾’葡萄柚的设施栽培上尝试通过控水调整花期,喷施调环酸钙调控树势,使二者协调形成一套有效的控花控梢技术,为设施栽培‘鸡尾’葡萄柚错峰上市提供技术指导。

参考文献 References

- [1] 柯甫志,徐建国,罗君琴,等.鸡尾葡萄柚的品种特性及栽培技术[J].浙江柑橘,2015,32(1):16-18.KE F Z, XU J G, LUO J Q, et al. Cultivar characteristics and cultivation techniques of Chickentail grapefruit [J]. Zhejiang citrus, 2015, 32 (1) : 16-18 (in Chinese).
- [2] 范玉花.干旱胁迫与多效唑处理对柠檬秋花花芽分化的影响研究[D].武汉:华中农业大学,2017.FAN Y H. Effects of drought stress and paclobutrazol treatment of lemon autumn flower bud differentiation [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017 (in Chinese with English abstract).
- [3] 黄贝,王鹏,温明霞,等.不同程度干旱对温州蜜柑树势和成花生理的影响[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2021,47(5):557-565.HUANG B, WANG P, WEN M X, et al. Effects of different degrees of drought stress on plants and flowering physiology in satsuma mandarin [J]. Journal of Zhejiang University (agriculture and life sciences edition), 2021, 47 (5) : 557-565 (in Chinese with English abstract).
- [4] 李珊珊.调环酸钙和CPPU对苹果营养生长和花芽形成的影响[D].泰安:山东农业大学,2020.LI S S. Effects of Pro-calcium and CPPU on apple's vegetative growth and flower bud formation [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2020 (in Chinese with English abstract).
- [5] 彭建,王丹英,徐春梅,等.钼酸铵法测定水稻过氧化氢酶活性[J].中国农学通报,2009(16):61-64.PENG J, WANG D Y, XU C M, et al. Ammonium molybdate method for detecting the activities of rice catalase [J]. Chinese agricultural science bulletin, 2009(16): 61-64 (in Chinese with English abstract).
- [6] 徐东,赵建,黄汉昌,等.改良的黄嘌呤氧化酶法测定动植物组织中SOD比活力[J].食品科学,2011,32(6):237-241.XU D, ZHAO J, HUANG H C, et al. Determination of SOD specific activity in animal and plant tissues by improved xanthine oxidase method [J]. Food science, 2011, 32 (6) : 237-241 (in Chinese with English abstract).

- [7] 徐美蓉, 李晓蓉, 李婷. 响应面分析优化蒽酮硫酸法测定葡萄叶片中可溶性糖的含量[J]. 甘肃农业科技, 2017(11): 25-29. XU M R, LI X R, LI T. Determination of soluble sugar from grape leaves by optimizing of anthrone-sulfuric acid method by response surface methodology [J]. Gansu agricultural science and technology, 2017 (11) : 25-29 (in Chinese with English abstract).
- [8] 王文平, 郭祀远, 李琳, 等. 考马斯亮蓝法测定野木瓜多糖中蛋白质的含量[J]. 食品研究与开发, 2008(1): 115-117. WANG W P, GUO S Y, LI L, et al. The determination of protein content in polysaccharides from *stanuntonia chinensis* with coomassie brilliant blue method [J]. Food research and development, 2008(1): 115-117 (in Chinese with English abstract).
- [9] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003. ZOU Q. Experimental guidance on plant physiology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003 (in Chinese).
- [10] 李文庆, 康少杰, 张明月. 干旱胁迫对砂糖橘树体营养的影响及其与成花的关系[J]. 园艺学报, 2011, 38(11): 2085-2091. LI W Q, KANG S J, ZHANG M Y. Effects of drought on citrus reticulate 'Shatangju' nutrition status and its relations with flowering [J]. Journal of horticulture, 2011, 38(11): 2085-2091 (in Chinese with English abstract).
- [11] ZHANG J, KIRKHAM M B. Drought-stress-induced changes in activities of superoxide dismutase, catalase, and peroxidase in wheat species [J]. Plant and cell physiology, 1993, 35 (5) : 785-791.
- [12] 党晓宏, 高永, 虞毅, 等. 3种滨藜属牧草苗期叶片解剖结构及生理特性对干旱的响应[J]. 西北植物学报, 2014, 34(5): 976-987. DANG X H, GAO Y, YU Y, et al. Response of leaf anatomical structure and physiological characteristics of three species of chenopodium to drought at seedling stage [J]. Acta botanica boreali-occidentalia sinica, 2014, 34(5) : 976-987 (in Chinese with English abstract).
- [13] FU X Y, MO W P, ZHANG J Y, et al. Shoot growth pattern and quantifying flush maturity with SPAD value in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) [J]. Scientia horticulturae, 2014, 174: 29-35.
- [14] 周利. 水分胁迫及不同肥料处理对柑橘营养和生理特性的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2010. ZHOU L. Effects of water stress and different fertilizer treatments on nutrient and physiological characteristics of citrus [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2010 (in Chinese with English abstract).
- [15] ELFVING D C, LANG G A, VISSER D B. Prohexadione-Ca and ethephon reduce shoot growth and increase flowering in young, vigorous sweet cherry trees [J]. HortScience, 2003, 38 (2): 293-298.
- [16] 丁顺华, 王宝山. 海藻糖在植物抗性方面的研究进展[J]. 山东师范大学学报(自然科学版), 2000, 15(4): 447-449. DING S H, WANG B S. Research progress of trehalose in plant resistance [J]. Journal of Shandong Normal University (natural science edition), 2000, 15(04) : 447-449 (in Chinese).
- [17] 肖玉明, 卢晓鹏, 李静, 等. 水分胁迫对温州蜜柑叶片叶绿素、淀粉及果皮糖、酸含量的影响[J]. 湖南农业科学, 2014(7): 52-55, 58. XIAO Y M, LU X P, LI J, et al. Influences of water stress on the contents of chlorophyll and starch in leaf and contents of sugar and acid in pericarp of satsuma mandarin [J]. Hunan agricultural sciences, 2014 (7) : 52-55, 58 (in Chinese with English abstract).
- [18] 王文玉, 郑桂萍, 万思宇, 等. 15% 调环酸钙对水稻产量与品质的影响[J]. 大麦与谷类科学, 2019, 36(3): 11-17. WANG W Y, ZHENG G P, WAN S Y, et al. Effects of 15% prohexadione calcium on rice yield and quality [J]. Barley and cereal sciences, 2019, 36(3) : 11-17 (in Chinese with English abstract).
- [19] 冯芳芳, 魏清江, 苏受婷, 等. 干旱胁迫对2种柑橘幼苗生长形态、渗透调节物质含量和抗氧化酶活性的影响[J]. 浙江农业学报, 2017, 29(9) : 1515-1523. FENG F F, WEI Q J, SU S J, et al. Effect of drought on growth morphology, osmolyte content and antioxidant enzyme activity of two citrus seedlings [J]. Acta agriculturae Zhejiangensis, 2017, 29 (9) : 1515-1523 (in Chinese with English abstract).
- [20] 张瑞玖, 马恢, 籍立杰, 等. 干旱胁迫对马铃薯品种生长及生理生化指标的影响[J]. 中国农学通报, 2022, 38(15) : 34-39. ZHANG R J, MA H, JI L J, et al. Effects of drought stress on growth and physiological and biochemical indexes of potato varieties [J]. Chinese agricultural science bulletin, 2022, 38(15) : 34-39 (in Chinese with English abstract).
- [21] 郑蒙. 水分胁迫下柑橘SOD, CAT及抗旱相关基因的研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2007. ZHENG H. Studies on SOD, CAT of citrus under water stress and gene involved in water-stress [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2007 (in Chinese with English abstract).
- [22] 钟灶发, 张利娟, 高思思, 等. 干旱胁迫下4种柑橘砧木叶片细胞学特征及抗旱性比较[J]. 园艺学报, 2021, 48(8) : 1579-1588. ZHONG Z F, ZHANG L J, GAO S S, et al. Leaf cytological characteristics and resistance comparison of four citrus rootstocks under drought stress [J]. Acta horticulturae sinica, 2021, 48(8) : 1579-1588 (in Chinese with English abstract).

Effects of moderate drought and foliar spray of spraying prohexadione calcium on flowering and tree vigor of citrus under facility cultivation

YU Xiaofeng^{1,2}, HUANG Bei¹, JIN Longfei¹, ZHANG Dejian², WANG Peng¹

1. *Institute of Citrus Research, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Zhejiang Province, Taizhou 318026, China;*

2. *College of Horticulture and Gardening, Yangtze University, Jingzhou 434025, China*

Abstract The 3-year-old Cocktail grapefruit (*Citrus paradise* Osbeck.) grafted on trifoliolate orange (*Poncirus trifoliolate* L.Raf.) cultivated with root restriction method under shelter from the rain was treated with moderate drought (DR) and foliar spray of spraying 500 mg/L prohexadione calcium (PC), and the conventional watering and fertilizing plants as control (CK) were used to study the effects of drought stress and foliar spray of spraying prohexadione calcium on the flower formation and tree vigor of citrus under facility cultivation. The blossoming and shooting status were observed and recorded under DR, PC and CK treatments in September, November 2021 and April 2022. The physiological parameters of tree vigor including the content of chlorophyll a and b, carbon, total nitrogen, antioxidant enzyme activity in leaves were tested before recovering with conventional watering. The results showed that the moderate drought effectively delayed the flowering date in autumn, and the number of flowers per shoot increased remarkably in the following spring compared with the control. In comparison with CK, the content of chlorophyll b and soluble protein and the enzyme activities of CAT and SOD increased significantly, while the net photosynthetic rate, the content of total chlorophyll, the content of starch, the ratio of C/N and the enzyme activity of POD were decreased in DR treatment. There were no significant changes of the date of flowering and the number of flowers between PC treatment and CK in autumn, however the number of flowers per shoot in spring was significantly increased in comparison with CK. The results of detecting physiological indicators of tree vigor in PC treatment showed that the thickness and weight of leaves, the content of chlorophyll b and total chlorophyll, the enzyme activity of CAT increased, whereas the content of starch, the ratio of C/N and the enzyme activity of POD decreased compared with CK. It is indicated that the foliar spray of spraying prohexadione calcium can regulate the vegetative and reproductive growth of cocktail grapefruit, and combined with moderate drought, it can regulate the consistent and concentrated flowering of cocktail grapefruit under facility cultivation.

Keywords Cocktail grapefruit (*Citrus paradise* Osbeck.); facility cultivation; drought stress; prohexadione calcium; flowering regulation

(责任编辑:张志钰)