

干旱胁迫对不同品种菊花叶片光合生理特性的影响

孔德政, 于红芳, 李永华, 田彦彦

(河南农业大学 林学院, 河南 郑州 450002)

[摘要] 【目的】研究不同程度干旱胁迫对 2 个菊花品种光合生理特性的影响, 为菊花抗旱栽培提供理论依据。【方法】以秋菊早花品种“唐宇金秋”和晚花品种“祥云”为供试材料, 利用盆栽试验, 以正常浇水为对照(CK, 土壤含水率为 $(40 \pm 2)\%$), 研究不同干旱胁迫强度(中度干旱(T1, 土壤含水率为 $(23 \pm 2)\%$)、重度干旱(T2, 土壤含水率为 $(16 \pm 2)\%$))下 2 个菊花品种叶片生理指标的变化。【结果】随着干旱胁迫程度的加剧, “祥云”和“唐宇金秋”叶片的相对电导率、丙二醛(MDA)和脯氨酸含量均呈上升趋势, 在 T2 处理下, “祥云”叶片的相对电导率、MDA 和脯氨酸含量分别较对照升高 23.5%, 84.8% 和 120.4%, 而“唐宇金秋”上升幅度均小于“祥云”; “祥云”和“唐宇金秋”叶片 SOD、POD 及 CAT 活性均呈上升趋势, 其中“唐宇金秋”上升幅度均大于“祥云”。随着干旱胁迫程度的加剧, “唐宇金秋”和“祥云”叶片的叶绿素含量及净光合速率、气孔导度、蒸腾速率均逐渐降低; 在相同胁迫条件下, “唐宇金秋”叶片的叶绿素含量及 3 个光合指标均明显高于“祥云”。【结论】“唐宇金秋”和“祥云”具有不同的干旱胁迫响应机制, “唐宇金秋”具有较强的抗旱能力, 在干旱胁迫条件下仍具有较强的光合作用能力。

[关键词] 干旱胁迫; 菊花; 光合作用; 生理指标

[中图分类号] S682.1⁺10.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2010)11-0103-06

Effect of drought stress on photosynthesis and physiological characteristics of *Chrysanthemum morifolium*

KONG De-zheng, YU Hong-fang, LI Yong-hua, TIAN Yan-yan

(College of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002, China)

Abstract: 【Objective】In order to provide theoretical basis for drought resistance cultivation, the effect of drought stress on the photosynthesis and physiological characteristics of two *Chrysanthemum morifolium* cultivars was studied in this research. 【Method】Taking autumn *Chrysanthemum* early-flowering cultivar “Tangyujinqiu” and late-flowering cultivar “Xiangyun” as materials, using pot experiment, and contrasting with regular watering(CK, soil water content: $(40 \pm 2)\%$), the change of the physiological indices of two cultivar leaves under different drought stresses(Modest drought stress(T1, soil water content: $(23 \pm 2)\%$) studied; Serious drought stress(T2, soil water content: $(16 \pm 2)\%$) was studied through pot experiments. 【Result】With the increase of stress degree, the relative conductivity, MDA content and proline content in leaves of “Xiangyun” and “Tangyujinqiu” increased; under T2 treatment, the relative conductivity, MDA content and proline content of “Xiangyun” leaves rose by 23.5%, 84.8% and 120.4% respectively, while those of “Tangyujinqiu” increased less; the activities of SOD, POD and CAT increased, and that in leaves of “Tangyujinqiu” increased more. As the stress degree increased, the P_n , G_s and Tr of “Tangyujinqiu” and “Xiangyun” all decreased; and in the same stress condition, the three photosynthesis indices of “Tangyujinqiu” were obviously higher than those of “Xiangyun”. 【Conclusion】“Tangyujinqiu” and “Xian-

* [收稿日期] 2010-03-31

[基金项目] 河南省自然科学基金项目(20070220003)

[作者简介] 孔德政(1964—), 男, 江苏高淳人, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事花卉学研究。E-mail: kdz217@163.com

[通信作者] 李永华(1974—), 男, 河南西华人, 副教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事花卉学研究。E-mail: liyhhany@163.com

gyun” had different responsive mechanisms to drought stress; “Tangyujinqiu” had stronger drought resistance, and under drought stress its photosynthetic rate was quite high.

Key words: drought stress; *Chrysanthemum morifolium*; photosynthesis; physiological index

菊花(*Chrysanthemum morifolium* Tzvel)为菊科菊属多年生草本植物,被广泛应用于城市绿化。随着干旱、盐碱及沙漠化等全球性问题的日益加重,菊花在生产过程中经常会受到干旱、高温等逆境胁迫,因此选育抗逆性强的菊花品种是当前研究的一个重要方向。目前,有关菊花的抗性研究主要集中在抗寒性及高温胁迫方面^[1-6]。许瑛等^[3-4]对菊花 8 个品种的低温半致死温度-抗寒适应性和耐寒特性及其评价指标进行了研究;贾思振等^[5]对高温下 5 个夏菊品种的光合特性进行了比较;孙宪芝等^[6]研究了高温胁迫对切花菊“神马”光合作用与叶绿素荧光的影响;李锦馨^[7]从形态指标方面对地被菊地栽抗旱性进行了研究。但目前有关菊花抗旱性的研究报道较少,为此,本研究以园林中常用的秋菊早花品种“唐宇金秋”和晚花品种“祥云”为试材,对其进行不同程度干旱胁迫,测定了不同品种菊花光合及相关生理特性的变化,探讨了不同菊花品种对干旱胁迫的响应机制,以期耐旱节水型菊花品种的栽培、选育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料为秋菊晚花品种“祥云”和早花品种“唐宇金秋”,由河南省开封市禹王台公园提供。2008-05 在河南农业大学实验基地进行扦插,7 月上盆。花盆选择透气性好的瓦盆,栽培基质为堆肥土、园土、草木灰、细沙的混合物(V(堆肥土):V(园土):V(草木灰):V(细沙)=2:2:1:1),常规管理。2008-09 下旬选取株高 30 cm、20 片叶左右的健壮植株进行试验。

1.2 方法

1.2.1 干旱胁迫处理 试验共设 3 个干旱胁迫处理:对照(CK)正常供水,土壤含水率为 $(40 \pm 2)\%$;中度干旱(T1),土壤含水率为 $(23 \pm 2)\%$;重度干旱(T2),土壤含水率为 $(16 \pm 2)\%$ 。每处理重复 3 次,每重复 10 盆,每盆 1 株。盆栽植株上方设遮雨棚,降雨时用塑料薄膜覆盖。采用 TZS-IW 土壤水分测定仪(杭州托普仪器有限公司)对土壤水分含量进行测定。待各处理土壤含水率分别达到所设定范围后,每天傍晚采用称质量及插孔补水的方法对其进

行控水。干旱胁迫处理 15 d 后,取菊花植株顶端下第 4~5 片叶,测定生理指标。

1.2.2 生理指标的测定 叶片相对含水量、相对电导率及抗氧化酶 SOD、POD、CAT 活性的测定参照邹琦^[8]的方法;脯氨酸及丙二醛(MDA)含量的测定参照李合生等^[9]的方法;利用 Model CL-01 便携式叶绿素测定仪(Hansatech 公司)测定叶绿素含量。

1.2.3 光合作用指标的测定 于晴天上午 09:00—11:00 分别选取每处理植株顶端下第 4~5 片生长良好的功能叶,利用 CIRAS-2 便携式光合测定系统(英国 PP-SYSTEM 公司)测定净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)等参数。光合有效辐射(PAR)为 $(1\ 000 \pm 10)\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,温度为 $(25 \pm 1)\ ^\circ\text{C}$,叶室 CO_2 浓度为 $(380 \pm 5)\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

1.3 数据分析

试验数据用 Excel 2003 软件作图和计算,用 SAS 811 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫下菊花叶片相对含水量与脯氨酸含量的变化

叶片相对含水量与脯氨酸含量,是反映干旱胁迫下植物叶片水分状况和适应逆境胁迫的重要指标^[10]。图 1 显示,“祥云”和“唐宇金秋”叶片相对含水量均随着干旱胁迫程度的加剧而下降,T2 处理下,“祥云”与“唐宇金秋”叶片相对含水量分别较对照低 18.3%和 15.8%。“祥云”和“唐宇金秋”叶片脯氨酸含量随干旱胁迫程度的加剧呈上升趋势,在 T2 处理下,“祥云”叶片脯氨酸含量较对照升高 120.4%,而“唐宇金秋”仅升高 50.6%,表明“祥云”对于干旱胁迫比较敏感,能迅速积累脯氨酸。

2.2 干旱胁迫下菊花叶片相对电导率与 MDA 含量的变化

细胞膜脂质过氧化产物 MDA 含量与膜透性,是反映植物逆境伤害的主要指标^[11]。由图 2 可以看出,随着干旱胁迫程度的加剧,“祥云”叶片的相对电导率迅速上升,T1 处理较对照高 17.1%,T2 处理较对照高 23.5%;MDA 含量的变化幅度也较大,T2 处理较对照增加了 84.8%。与“祥云”相比,“唐

宇金秋”叶片的相对电导率及 MDA 含量在整个干旱胁迫过程中变化幅度相对较小。在 T2 处理下,“唐宇金秋”叶片的 MDA 含量较对照增加 55.3%,

且 T2 处理下“祥云”叶片 MDA 含量较“唐宇金秋”高18.6%。由此可知,干旱胁迫对“祥云”细胞膜的伤害程度较“唐宇金秋”大。

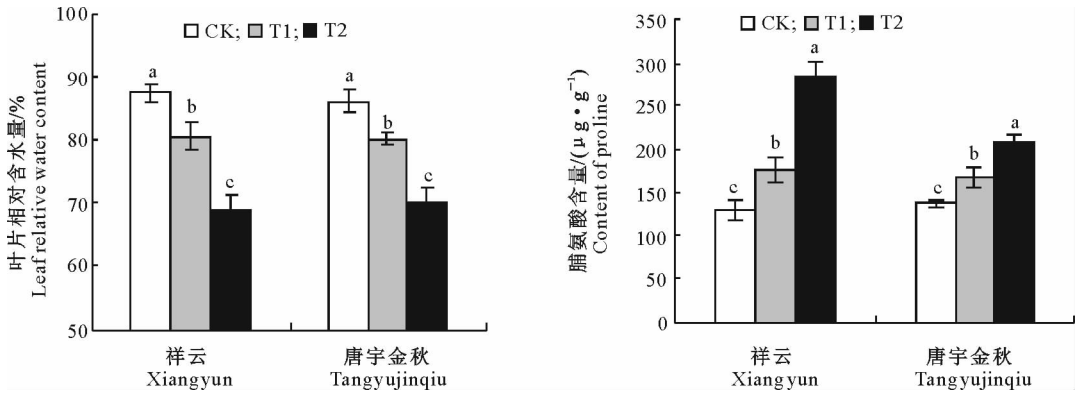


图 1 不同程度干旱胁迫下菊花叶片相对含水量与脯氨酸含量的变化
a、b、c 分别表示差异显著性,相同字母表示差异不显著($P>0.05$),下同

Fig. 1 Changes of the relative water content and proline of *Chrysanthemum* leaves under drought stress

a, b and c indicate significant difference, the same letters mean no significant difference ($P>0.05$). They are the same as below

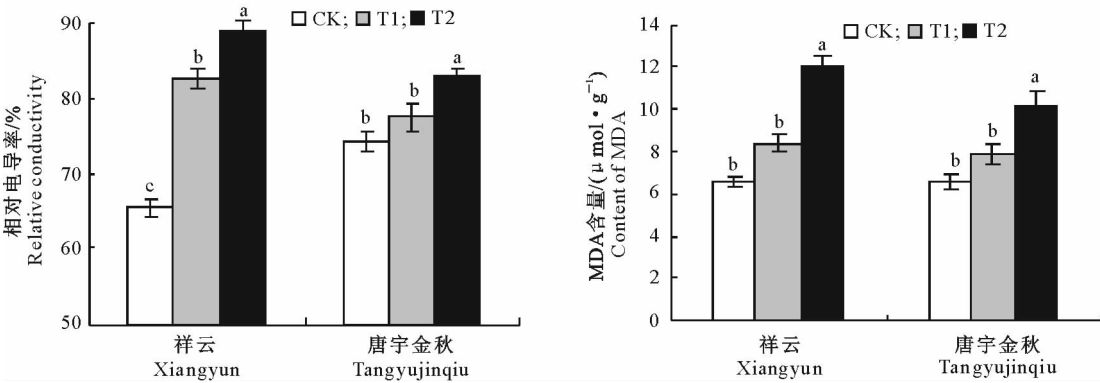


图 2 不同程度干旱胁迫下菊花叶片相对电导率及 MDA 含量的变化

Fig. 2 Changes of the relative conductivity and MDA of *Chrysanthemum* leaves under drought stress

2.3 干旱胁迫下菊花叶片抗氧化酶活性的变化

植物细胞内的保护酶系统主要有超氧化物歧化酶和过氧化物酶等。酶活性越高,消除自由基及活性氧的能力越强,植物的抗逆性也越强^[12]。由图 3 可知,在整个干旱胁迫过程中,随着干旱胁迫程度的加剧,2 个菊花品种叶片的 SOD、POD 及 CAT 活性均呈上升趋势。“唐宇金秋”SOD 活性变化幅度较大,在 T2 处理下,“唐宇金秋”SOD 活性较对照升高 90.9%,而“祥云”仅升高 62.8%。整个干旱胁迫过程中,在同一胁迫条件下,“唐宇金秋”POD 及 CAT 活性均高于“祥云”。在 T1 处理下,“唐宇金秋”和“祥云”叶片的 POD、CAT 活性较其对照均有升高,但升高幅度相差不大;在 T2 处理下,“唐宇金秋”的 POD、CAT 活性较其对照分别升高 52.7% 和

97.1%,而“祥云”分别升高 40.4%和 60.8%,此时,“唐宇金秋”的 POD、CAT 活性分别是“祥云”的 1.3 和 1.8 倍。说明在干旱胁迫下,“唐宇金秋”保持了较高的抗氧化酶活性,具有较强的活性氧清除能力。

2.4 干旱胁迫下菊花叶片叶绿素含量的变化

由表 1 可知,随着干旱胁迫程度的加剧,2 个品种菊花叶片的叶绿素含量均呈下降趋势。在 T1 处理下,“祥云”和“唐宇金秋”叶片的叶绿素含量分别较对照下降 7.9%和 2.6%;在 T2 处理下,“祥云”与“唐宇金秋”叶片的叶绿素含量分别较对照下降 16.3%和14.0%,此时,“唐宇金秋”叶片的叶绿素含量是“祥云”的 3 倍多。可知在干旱胁迫条件下,“唐宇金秋”具有较强的光合作用能力。

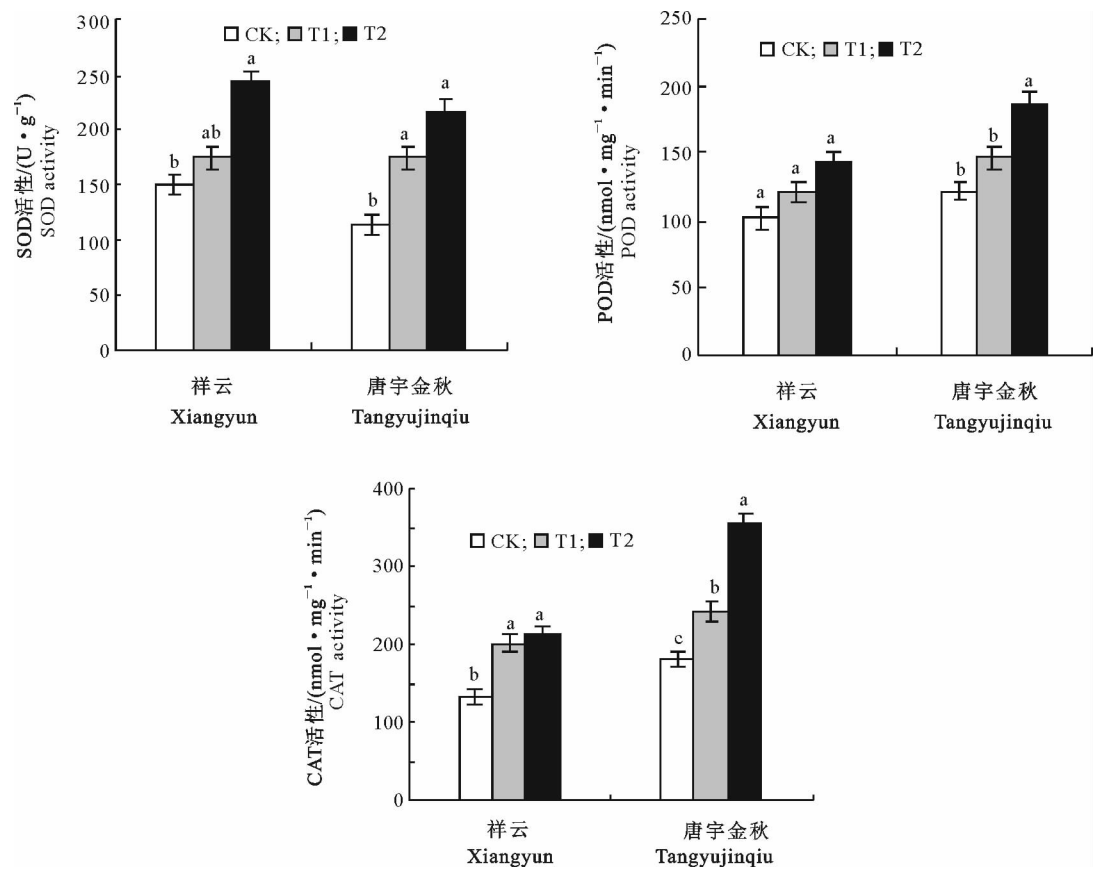


图 3 不同程度干旱胁迫下菊花叶片 SOD、POD 及 CAT 活性的变化
Fig. 3 Changes of SOD,POD and CAT activity of *Chrysanthemum* leaves under drought stress

表 1 不同程度干旱胁迫下菊花叶片叶绿素含量的变化

Table 1 Changes of chlorophyll content of *Chrysanthemum* leaves under drought stress

处理 Treatment	祥云 Xiangyun	唐宇金秋 Tangyujinqiu
CK	7.770 ±0.47 Aa	24.58±1.62 Aa
T1	7.156±0.46 Bb	23.92±1.71 Bb
T2	6.502±0.41 Cc	21.14±1.46 Cc

注:同列数据后标不同大写字母者表示差异极显著($P<0.01$),标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$)。下表同。
Note:Different capital letters mean they are greatly significantly different ($P<0.01$) in the same row,different small letters mean they are significantly different ($P<0.05$) in the same row. They are the same as below.

表 2 不同程度干旱胁迫下菊花叶片净光合速率、气孔导度和蒸腾速率的变化

Table 2 Changes of P_n , G_s and T_r of *Chrysanthemum* leaves under drought stress

品种 Cultivar	处理 Treatment	净光合速率/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) P_n	气孔导度/ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) G_s	蒸腾速率/ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) T_r
祥云 Xiangyun	CK	11.3±0.81 Aa	237.58±20.19 Aa	2.03±0.18 Aa
	T1	9.1±0.64 Bb	194.33±15.68 Bb	1.72±0.13 Bb
	T2	4.2±0.29 Cc	86.64±6.85 Cc	1.19±0.08 Cc
唐宇金秋 Tangyujinqiu	CK	13.1±1.07 Aa	324.33±26.91 Aa	2.45±0.15 Aa
	T1	12.3±9.72 Bb	278.42±19.54 Bb	2.23±0.14 Bb
	T2	6.7±0.51 Cc	172.71±11.53 Cc	1.56±0.09 Cc

3 讨 论

在干旱胁迫下,植物由于持续脱水,细胞膜受到不同程度的损伤,相对膜透性持续增大,导致细胞内电解质外渗;同时植物体内的活性氧大量积累,破坏了正常代谢时活性氧产生与清除的平衡,从而引发膜脂过氧化链式反应,导致脂质过氧化产物如 MDA 的增加。干旱胁迫也激发植物体内的保护酶系统参与清除活性氧,主要包括 SOD、POD 和 CAT 3 种酶。何开跃等^[13]研究表明,MDA 含量与质膜相对透性具有相关性,是判断植物受伤害程度的重要指标,MDA 含量升高越快,植物的抗逆性能力越弱;Dhindsa 等^[14]研究表明,在干旱胁迫条件下,保护酶系统活性的上升和下降,与植物品种的抗旱性强弱有关,酶活性越高,消除自由基及活性氧的能力就越强,植物的抗逆性也越强。本研究结果表明,2 个菊花品种叶片的细胞膜透性随着干旱胁迫程度的加剧而逐步增大,导致活性氧及膜脂过氧化产物 MDA 的含量升高,抗氧化酶活性增强。在整个干旱胁迫过程中,“唐宇金秋”叶片的相对电导率及 MDA 含量增加幅度均小于“祥云”;而“唐宇金秋”叶片的 SOD、POD 和 CAT 活性升高幅度均大于“祥云”,表明干旱胁迫对“唐宇金秋”细胞膜的伤害程度较小,其耐旱能力较强。

有研究表明,脯氨酸积累的多少与植物抗逆性有关,可作为判断植物抗逆性的指标^[15]。但也有研究表明,逆境胁迫下脯氨酸的积累是植物受伤害的一种表现,不适合作为判断抗逆性的指标^[16]。卢少云等^[17]研究表明,耐旱性弱的地毯草对干旱胁迫更敏感,脯氨酸的积累量更大,脯氨酸的积累与植物受伤害程度成显著正相关。本研究结果显示,在干旱胁迫过程中,2 个菊花品种叶片脯氨酸含量均呈上升趋势,在 T2 处理下,“祥云”叶片脯氨酸积累量更多,表明“祥云”对干旱胁迫较敏感,能迅速积累脯氨酸。

逆境对光合特性的影响是多方面的,它不仅使叶绿素含量下降,而且破坏叶绿体结构,进而影响光合作用的正常进行。单长卷^[18]研究表明,随着干旱胁迫程度的加剧,抗旱小麦品种“洛麦 9133”叶片的叶绿素含量和净光合速率均逐渐降低,随着土壤水分的降低叶绿素含量减少,从而影响到叶绿体对光能的吸收和转化能力,导致净光合速率水平呈下降趋势。孔艳菊等^[19]研究表明,干旱胁迫导致黄栌幼苗净光合速率持续下降,但其净光合速率能较长时

间地维持在较高水平。本研究结果显示,不同胁迫条件下,“唐宇金秋”叶片的叶绿素含量、净光合速率、气孔导度及蒸腾速率均高于“祥云”,表明在整个干旱胁迫过程中,较高的叶绿素含量保证了“唐宇金秋”较强的光合能力。

本研究中,秋菊早花品种“唐宇金秋”和晚花品种“祥云”表现出了不同的干旱胁迫响应机制。干旱胁迫下,“唐宇金秋”叶片脯氨酸含量增加较慢,且叶片具有较强的抗氧化酶活性,细胞膜受到的伤害较轻,使叶片保持了相对较高的相对含水量和较高的净光合速率,其耐干旱胁迫的能力较强。本研究所选的菊花品种比较单一,“唐宇金秋”与“祥云”2 个菊花品种在其他逆境胁迫方面的响应机制,还有待于进一步研究。

[参考文献]

- [1] 郑 路,傅玉兰,陈树桃,等. 菊花抗寒性与营养特性的研究 [J]. 园艺学报,1994,21(2):185-188.
Zheng L,Fu Y L,Chen S T,et al. Studies on the cold resistance and nutrition characteristic of *Chrysanthemum* [J]. Acta Horticulturae Sinica,1994,21(2):185-188. (in Chinese)
- [2] 洪 波,全 征,马 男,等. AtDREB1A 基因在菊花中的异源表达提高了植株对干旱和盐渍胁迫的耐性 [J]. 中国科学,2006,36(3):223-231.
Hong B,Tong Z,Ma N,et al. AtDREB1A gene's heterogeneous expression in *Chrysanthemum* improved the plants' resistance to drought and salt stress [J]. Sciences in China,2006,36(3):223-231. (in Chinese)
- [3] 许 瑛,陈发棣. 菊花 8 个品种的低温半致死温度及其抗寒适应性 [J]. 园艺学报,2008,35(4):559-564.
Xu Y,Chen F D. The LT₅₀ and cold tolerance adaptability of *Chrysanthemum* during a natural drop in temperature [J]. Acta Horticulturae Sinica,2008,35(4):559-564. (in Chinese)
- [4] 许 瑛,陈 煜,陈发棣,等. 菊花耐寒特性分析及其评价指标的确定 [J]. 中国农业科学,2009,42(3):974-981.
Xu Y,Chen Y,Chen F D,et al. Analysis of cold-tolerance and determination of cold-tolerance evaluation indicators in *Chrysanthemum* [J]. Scientia Agricultura Sinica,2009,42(3):974-981. (in Chinese)
- [5] 贾思振,房伟民,陈发棣,等. 高温下 5 个夏菊品种开花特性、叶片组织结构与光合特性的比较 [J]. 南京农业大学学报,2009,32(3):151-156.
Jia S Z,Fang W M,Chen F D,et al. Comparison of blooming traits,leaf anatomic structure and photosynthetic characteristics of five summer *Chrysanthemum* varieties under high temperature [J]. Journal of Nanjing Agricultural University,2009,32(3):151-156. (in Chinese)
- [6] 孙宪芝,郑成淑,王秀峰,等. 高温胁迫对切花菊‘神马’光合作用与叶绿素荧光的影响 [J]. 应用生态学报,2008,19(10):

2149-2154.

Sun X Z,Zheng C S,Wang X F,et al. Effects of high temperature stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of cut flower *Chrysanthemum* (*Dendranthem a grandiflora* “Jin-ba”) [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2008,19(10): 2149-2154. (in Chinese)

[7] 李锦馨. 地被菊地栽抗旱性试验研究 [J]. 安徽农业科学, 2008,36(36):15974-15976.

Li J X. Experimental study on drought resistance of ground-cover *Chrysanthemum* in field cultivation [J]. Journal of Anhui Agricultura Sinica,2008,36(36):15974-15976. (in Chinese)

[8] 邹琦. 植物生理生化试验指导 [M]. 北京:中国农业出版社, 1995.

Zou Q. Plant physiology and biochemistry experiment guidance [M]. Beijing:Chinese Agricultural Publishing Company,1995. (in Chinese)

[9] 李合生,孙辉,赵世杰,等. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京:高等教育出版社,2000.

Li H S,Sun H,Zhao S J,et al. Principle and technlogy of plant physiology and biochemistry experiment [M]. Beijing, Higher Education Publishing Company,2000. (in Chinese)

[10] 李永华,王玮,马千全,等. 干旱胁迫下抗旱高产小麦新品系早丰 9703 的渗透调节与光合特性 [J]. 作物学报,2003,29 (5):759-764.

Li Y H,Wang W,Ma Q Q,et al. The osmotic adjustment and photosynthesis of a wheat cultivar Hanfeng 9703 with high yield,drought resistance under drought stress [J]. Acta Agromonica Sinica,2003,29(5):759-764. (in Chinese)

[11] 曹晶,姜卫兵,翁忙玲,等. 夏秋季旱涝胁迫对红叶石楠光合特性的影响 [J]. 园艺学报,2007,34(1):163-172.

Cao J,Jiang W B,Weng M L,et al. Effects of drought and flooding stress on photosynthetic characteristics of *Photinia fraseri* in summer and autumn [J]. Acta Horticulturae Sinica,2007,34(1):163-172. (in Chinese)

[12] 张怡,罗晓芳,沈应柏. 土壤逐渐干旱过程中刺槐新品种苗木抗氧化系统的动态变化 [J]. 浙江林学院学报,2005,22 (2):166-169.

Zhang Y,Luo X F,Shen Y B. Dynamic change of new locust species antioxidant system in the soil’s increasing drought process [J]. Journal of Zhejiang Forestry College,2005,22 (2):166-169. (in Chinese)

[13] 何开跃,李晓储,黄利斌,等. 干旱胁迫对木兰科 5 树种生理生化指标的影响 [J]. 植物资源与环境学报,2004,13(4):20-23.

He K Y,Li X C,Huang L B,et al. Effects of drought stress on physiological and biochemical indices in five tree species of Magnoliaceae [J]. Journal of Plant Resources and Environment,2004,13(4):20-23. (in Chinese)

[14] Dhindsa A S,Mutoue W. Drought tolerance in two mosses: Correlated with enzymatic defense against lipid peroxidation [J]. J Exp Bot,1981(32):79-91.

[15] Singh T N,Aspinall D,Paleg L G. Proline accumulation and varical adaptability to drought in barley: A potential metabolicmeasure of drought resistance [J]. Nature New Biol, 1972,236:188-190.

[16] Liu J P,Zhu J K. Proline accumulation and salt stress-induced gene expression in salt hypersensitive mutant of *Arabidopsis* [J]. Plant Physiol,1997,114:591-596.

[17] 卢少云,陈斯萍,陈斯曼,等. 3 种暖季型草坪草在干旱条件下脯氨酸含量和抗氧化酶活性的变化 [J]. 园艺学报,2003,30 (3):303-306.

Lu S Y,Chen S P,Chen S M,et al. Responses of proline content and activity of antioxidant enzymes in warm-season turfgrasses to soil drought stress [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2003,30(3):303-306. (in Chinese)

[18] 单长卷. 土壤干旱对抗旱品种洛麦 9133 拔节期生理特性的影响 [J]. 麦类作物学报,2007,27(5):880-883.

Shan C J. Effect of soil drought on physiological characteristics of winter wheat Luomai 9133 during jointing stage [J]. Journal of Triticeae Crops,2007,27(5):880-883. (in Chinese)

[19] 孔艳菊,孙明高,胡学俭,等. 干旱胁迫对黄栌幼苗几个生理指标的影响 [J]. 中南林学院学报,2006,26(4):42-46.

Kong Y J,Sun M G,Hu X J,et al. Effects of drought stress on several physiological indexes of *Cotinus coggygia* seedlings [J]. Journal of Central South Forestry University,2006,26 (4):42-46. (in Chinese)