

网络出版时间:2021-01-13 13:48 DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2021.07.012
网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20210112.1117.004.html

6-BA 预处理对干旱胁迫蒙原欧李生理 响应特性的影响

张晓艳^{1,2}, 李连国¹, 郭金丽¹, 李晓艳¹

(1 内蒙古农业大学 园艺与植物保护学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2 包头市果树果品科学技术研究所, 内蒙古 包头 014045)

【摘要】【目的】探讨外源细胞分裂素 6-BA 预处理对干旱胁迫条件下蒙原欧李生理响应特性的影响, 为蒙原欧李抗旱机制研究提供参考。【方法】以蒙原欧李盆栽苗为材料, 通过不同质量浓度的 6-BA 预处理后, 采用断水方法对苗木进行干旱胁迫处理, 分析 6-BA 预处理对蒙原欧李叶片水分状况(叶片相对含水量(RWC)、水分饱和和亏缺(WSD))、光合色素(叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素(Car))、光合性能(净光合速率(P_n)和光合性能指数(PI_{ABS}))、渗透调节能力(脯氨酸(Pro)和可溶性蛋白(SP))、抗氧化系统(超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT))、细胞伤害程度(丙二醛(MDA))及综合抗旱性的影响。【结果】断水 5 d 时, 200 mg/L 6-BA 预处理对提高蒙原欧李植株综合抗旱性的效果最好, 可使 WSD 降低 32.2%, P_n 和 PI_{ABS} 分别提高 37.9% 和 49.5%, Pro 增加 64.0%, POD 和 CAT 活性分别提高 26.6% 和 54.3%; 断水 10 d 时, 100 mg/L 6-BA 预处理对提高植株综合抗旱性的效果最好, 可使 WSD 降低 62.6%, Car/Chl a+b 提高 50.0%, MDA 含量减少 34.7%, POD 和 CAT 活性分别增强 116.8% 和 32.2%; 断水 15 d 时, 100 mg/L 6-BA 预处理对提高植株综合抗旱性的效果最好, 可使 WSD 降低 30.4%, Chl a、Chl b、Chl a+b、Car、 P_n 和 PI_{ABS} 分别提高 38.7%、64.6%、42.8%、24.4%、84.0% 和 22.4%, MDA 含量减少 29.5%, SP 和 Pro 分别增加 43.6% 和 47.1%, POD 活性增强 460.3%; 断水 20 d 时, 150 mg/L 6-BA 预处理对提高植株综合抗旱性的效果最好, 其可使 Car/Chl a+b 提高 5.7%, MDA 减少 35.7%, POD、CAT 活性分别提高 119.0% 和 27.6%。【结论】6-BA 预处理对干旱胁迫条件下蒙原欧李生理特性的调节作用受干旱胁迫程度和 6-BA 质量浓度的共同影响。叶面喷施适宜质量浓度的 6-BA, 能够在一定程度上缓解干旱胁迫对蒙原欧李植株造成的伤害, 提高其综合抗旱性。

【关键词】 欧李; 细胞分裂素; 干旱胁迫; 生理特性

【中图分类号】 S662.501

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2021)07-0105-09

Effects of 6-BA pretreatment on physiological characteristics of Mengyuan *Cerasus humilis* under drought stress

ZHANG Xiaoyan^{1,2}, LI Lianguo¹, GUO Jinli¹, LI Xiaoyan¹

(1 College of Horticulture and Plant Protection, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018, China;

2 Baotou Fruit Science and Technology Research Institute, Baotou, Inner Mongolia 014045, China)

Abstract: 【Objective】 This paper explored effects of exogenous cytokinin 6-BA pretreatment on physiological characteristics of Mengyuan *Cerasus humilis* under drought stress. 【Method】 Mengyuan *Cerasus humilis* was planted in pot and seedlings were treated with drought stress by water cut-off method after 6-BA pretreatments at four suitable concentrations. Relative water content (RWC), water saturation deficit

【收稿日期】 2020-06-04

【基金项目】 内蒙古自治区自然科学基金项目(2020MS03083, 2019MS03072, 2018MS03052); 内蒙古农业大学高层次人才引进科研启动项目(NDYB2016-16)

【作者简介】 张晓艳(1986—), 女, 内蒙古呼和浩特人, 在读博士, 主要从事果树栽培生理研究。E-mail: 1002298685@qq.com

【通信作者】 李晓艳(1979—), 女, 吉林磐石人, 讲师, 博士, 主要从事干旱寒地果树逆境生理和分子机制研究。

E-mail: lixiaoyan684@126.com

(WSD), chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoid, net photosynthetic rate (P_n) and photosynthetic index (PI_{ABS}), proline (Pro) and soluble protein (SP) contents, superoxide dismutase SOD, peroxidase POD and catalase CAT activities as well as malondialdehyde (MDA) content were measured. Then the effects of 6-BA pretreatment on water status, photosynthetic pigment, photosynthetic activity, osmotic regulators, antioxidant system, cell injury and drought resistance were studied. 【Result】 The pretreatment of 200 mg/L 6-BA was the best in improving comprehensive drought resistance of plants when water was cut off for 5 days, causing 32.2% reduction in WSD, 37.9% and 49.5% increases in P_n and PI_{ABS} , 64.0% increase in Pro, and 26.6% and 54.3% increase in activities of POD and CAT, respectively. When water was cut off for 10 days, 100 mg/L 6-BA pretreatment was the best with 62.6% reduction in WSD, 50.0% increase in Car/Chl a+b, 34.7% decrease in MDA, and 116.8% and 32.2% increases in activities of POD and CAT, respectively. When water was cut off for 15 days, 100 mg/L 6-BA pretreatment was the best with 30.4% reduction in WSD, 38.7%, 64.6%, 42.8%, 24.4%, 84.0% and 22.4% increases in Chl a, Chl b, Chl a+b, Car, P_n and PI_{ABS} , 29.5% decrease in MDA, 43.6% and 47.1% increases in SP and Pro, and 460.3% increases in activities of POD, respectively. When water was cut off for 20 days, 150 mg/L 6-BA pretreatment was the best, causing 5.7% increase in Car/Chl a+b, 35.7% decrease in MDA, and 119.0% and 27.6% increases in activities of POD and CAT, respectively. 【Conclusion】 The effects of 6-BA pretreatment on physiological characteristics of Mengyuan *Cerasus humilis* under drought stress were influenced by drought stress level and 6-BA concentration. Spraying 6-BA at suitable concentration on leaves can alleviate the damage caused drought stress and improve its comprehensive drought resistance.

Key words: *Cerasus humilis*; exogenous cytokinin; drought stress; physiological characteristics

欧李(*Cerasus humilis* (Bge.) Sock.) 属蔷薇科樱桃属落叶小灌木, 是我国特有的野生果树, 主要分布于内蒙古、山西、河北等省区的山地、草原和荒漠地带。欧李果实产量高, 营养丰富, 富含蛋白质、维生素和矿物质, 尤以钙、铁和硒含量最为突出, 属于第 3 代功能性水果^[1]。蒙原欧李除了果实具有较好的经济效益外, 其植株综合抗逆性较强, 易于种植和管理, 是我国干旱、半干旱地区实施水土保持、防风治沙, 特别是可持续、经济型生态建设的最佳树种^[2]。内蒙古干旱及半干旱地区面积约占全区面积的 85%, 如何对其进行合理利用和生态恢复是制约自治区经济、社会发展和生态环境建设的最主要因素, 也是影响西部大开发的关键^[3]。干旱对植物生长造成的危害处于非生物胁迫的首位, 会导致植物体膜脂过氧化, 使植物体内抗氧化酶系统、渗透调节物质、叶绿素含量发生改变, 从而加速植物细胞老化, 甚至死亡^[4]。因此采取适当的措施缓解干旱胁迫对植物的伤害具有重要的生产实践意义。

植物激素在植物生长发育和抵御逆境胁迫中具有重要作用, 其中细胞分裂素(cytokinins, CKs)在植物干旱胁迫中的作用备受关注^[5]。6-苄基腺嘌呤(6-benzyladenine, 6-BA)是一种人工合成的细胞分裂素类化合物, 在干旱条件下能够有效缓

解光合速率和光合色素含量下降^[6-7]、促进抗氧化酶活性提高^[7]和渗透调节物质积累^[8]等, 可有效提高作物的抗旱能力, 但其在欧李上的应用还未见相关报道。为此, 本试验以蒙原欧李为研究对象, 通过叶面喷施不同质量浓度的 6-BA 进行预处理后, 采用断水方法进行干旱胁迫处理, 通过对不同干旱时期生理指标的检测, 探讨 6-BA 预处理对蒙原欧李抗旱能力的影响, 以期细胞分裂素与欧李抗旱性关系的研究及欧李抗旱机制分析提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为 2 年生蒙原欧李, 来源于内蒙古农业大学蒙原欧李科研与示范基地。2019-06-25 选长势一致的 2 年生健壮蒙原欧李苗, 定植于花盆(上口径×下口径×高=25 cm×18 cm×20 cm)中, 基质配比(体积比)为普通园土: 细沙=4:1, 每盆基质 7.5 kg, 每盆 1 株, 放置于避雨大棚中养护。

1.2 试验设计

2019 年 7 月 29 日选取长势一致的盆栽苗进行处理。先浇透水, 待盆内土壤含水量达到田间最大持水量(22.5%)时对植株进行 6-BA 预处理, 即叶面喷施不同质量浓度 6-BA 溶液(C_1 : 50 mg/L; C_2 :

100 mg/L;C₃:150 mg/L;C₄:200 mg/L),对照喷施去离子水(CK),每个处理 24 盆。用喷壶对叶片各个方向均匀喷施,直至液滴下流,间隔 4 h 后喷施第 2 遍。干旱胁迫处理采用断水方法进行,分别在断水后 5 d(T₀:土壤含水量为 16.1%,正常生长)、10 d(T₁:土壤含水量为 12.5%,处于轻度干旱胁迫)、15 d(T₂:土壤含水量为 8.4%,处于中度干旱胁迫)、20 d(T₃:土壤含水量为 3.2%,处于重度干旱胁迫),采集适量叶片装入液氮罐中,迅速带回实验室并置于超低温冰箱中保存,用于相关指标的测定。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 叶片水分的测定 叶片相对含水量(RWC)和水分饱和亏缺(WSD 参照罗永忠等^[9]的方法,采用称量法测定。

1.3.2 光合色素的测定 分别称取不同处理植株叶片 0.1 g,液氮研磨至粉末状,加入 10 mL 提取液(V(丙酮):V(乙醇)=1:1),4℃避光提取 10 min,5 000 g 离心 15 min,然后用 TU-1810 型紫外分光光度计测定 663,646 和 470 nm 处的吸光值,根据 Wellburn 等^[10]于 1984 年修正的公式计算叶绿素 a(Chl a)、叶绿素 b(Chl b)和类胡萝卜素(Car)含量(mg/g,以干质量计)。

1.3.3 光合特性的测定 选择晴朗无云的天气,于上午 10:00—11:00 采用便携式光合作用测定系统(CIRAS-3,PP-System 公司,美国)测定蒙原欧李叶片的净光合速率(P_n)。每个处理选择生长一致的蒙原欧李植株 5 株,每株选取健康功能大叶 1 片(从枝条基部往上数第 6~8 片叶),每个处理重复 3 次。光源为 LED,光照强度为 1 200 μmol/(m²·s)。

选择晴朗无云的天气,于上午 09:00—10:00 采

用多功能植物效率仪(M-PEA, Hansatech 公司,英国)测定蒙原欧李叶片的光合性能指数(PI_{ABS})。每个处理选择健康功能大叶(从枝条基部往上数第 6~8 片叶)5 片,每个处理重复 3 次。叶片先暗适应 30 min,随后暴露于饱和脉冲光(3 000 μmol/(m²·s))下检测 1 s。

1.3.4 渗透调节能力的测定 可溶性蛋白(SP)含量参照李忠光^[11]的方法,采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定。脯氨酸(Pro)含量参照李忠光^[11]的方法,采用酸性茚三酮法测定。

1.3.5 抗氧化酶活性的测定 参照李忠光^[11]的方法。称取叶片 0.5 g,液氮研磨至粉末状,转入 5 mL 提取液,4℃、10 000 g 离心 20 min,将上清液定容至 5 mL,用于抗氧化酶活性分析。超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑光还原法测定,过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚法测定,过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外吸收法测定。

1.3.6 细胞伤害程度 细胞膜透性参照李清亚等^[12]的方法,采用电导法测定。丙二醛(MDA)含量参照周爽男等^[13]的方法,采用三氯乙酸-硫代巴比妥酸显色法测定。

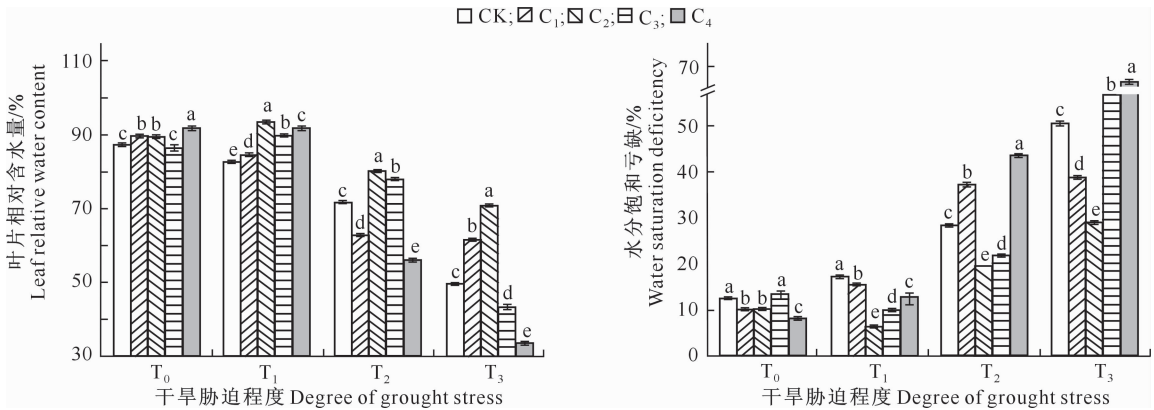
1.4 数据处理

采用 SPSS 26.0 软件进行数据处理与分析,采用 Origin9.0 软件进行图表绘制。

2 结果与分析

2.1 6-BA 预处理对干旱胁迫蒙原欧李叶片水分状况的影响

6-BA 预处理对干旱胁迫蒙原欧李叶片水分状况的影响结果见图 1。



图柱上标不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)。下同

Different lowercase letters indicate significant difference between treatments at P<0.05 level. The same below

图 1 6-BA 预处理对干旱胁迫蒙原欧李叶片水分状况的影响

Fig. 1 Effects of 6-BA pretreatment on leaf water status of Mengyuan *Cerasus humilis* under drought stress

由图 1 可知,随着干旱胁迫程度的加重,对照组蒙原欧李叶片水分亏缺程度逐渐增加,但 6-BA 预处理后能有效缓解蒙原欧李的水分亏缺状况,这种缓解作用与干旱胁迫程度和 6-BA 的质量浓度有关。其中,断水 5 d(T_0)时,缓解效果最好的是 C_4 处理,与对照相比其水分饱和亏缺降低了 32.2%;断水 10 d(T_1)、断水 15 d(T_2)和断水 20 d(T_3)时,缓解效果最好的均为 C_2 处理,与对照相比水分饱和亏缺分别降低了 62.6%,30.4%和 42.5%。

2.2 6-BA 预处理对干旱胁迫蒙原欧李叶片光合色素的影响

由表 1 可知,6-BA 预处理对蒙原欧李叶片光合色素的影响随着干旱胁迫程度和 6-BA 质量浓度的不同而存在差异。断水 15 d(T_2)时, C_2 处理效果最

好,蒙原欧李叶片 Chl a、Chl b、Chl a+b、Car 含量分别较对照显著提高了 38.7%,64.6%,42.8%和 24.4%,说明在中等干旱胁迫程度下,适宜质量浓度的 6-BA 预处理能促进蒙原欧李叶片光合色素的增加,有效缓解干旱对植株叶片造成的伤害。断水 5 d(T_0)和断水 10 d(T_1)时, C_4 处理使 Chl a/b 分别较对照显著提高了 6.03%和 6.51%,说明干旱胁迫程度低时高质量浓度 6-BA 预处理有利于 Chl a/b 的提高。断水 5 d(T_0)、断水 15 d(T_2)、断水 20 d(T_3)时, C_3 处理的 Car/Chl a+b 均达到最大值,且与对照差异显著,说明 C_3 处理更有利于 Car/Chl a+b 的提高。由此可见,6-BA 预处理对光合色素降解的抑制作用与其质量浓度和干旱胁迫程度有关。

表 1 6-BA 预处理对干旱胁迫蒙原欧李叶片光合色素的影响

Table 1 Effects of 6-BA pretreatment on photosynthetic pigment of Mengyuan <i>Cerasus humilis</i> under drought stress							
干旱时期 Stage of drought	6-BA 质量浓度/ (mg · L ⁻¹) Concentration of 6-BA	Chl a/ (mg · g ⁻¹)	Chl b/ (mg · g ⁻¹)	Chl a+b/ (mg · g ⁻¹)	Car/ (mg · g ⁻¹)	Chl a/b	Car/Chl a+b
T_0	0	6.12±0.24 a	1.32±0.08 a	7.44±0.32 a	1.77±0.06 a	4.64±0.11 b	0.24±0.01 d
	50	5.94±0.22 a	1.38±0.04 a	7.31±0.23 a	1.71±0.08 a	4.32±0.17 c	0.23±0.01 d
	100	4.73±0.22 b	1.14±0.01 b	5.87±0.23 bc	1.45±0.12 bc	4.17±0.15 c	0.25±0.01 c
	150	4.06±0.10 c	0.96±0.03 c	5.02±0.13 c	1.34±0.03 c	4.25±0.05 c	0.27±0.01 a
	200	4.88±0.02 b	0.99±0.03 c	5.87±0.05 b	1.51±0.03 b	4.92±0.11 a	0.26±0.01 b
T_1	0	5.48±0.21 a	0.94±0.06 b	6.42±0.28 a	1.65±0.13 a	5.83±0.25 b	0.26±0.02 b
	50	3.63±0.07 c	0.74±0.02 d	4.36±0.09 b	1.69±0.06 a	4.92±0.07 c	0.39±0.02 a
	100	3.92±0.06 c	0.87±0.04 c	4.78±0.10 b	1.75±0.26 a	4.53±0.17 d	0.37±0.04 a
	150	4.92±0.28 b	1.31±0.16 a	6.22±0.34 a	1.65±0.20 a	3.80±0.53 e	0.26±0.02 b
	200	5.47±0.21 a	0.88±0.04 c	6.35±0.25 a	1.76±0.16 a	6.21±0.11 a	0.28±0.04 b
T_2	0	4.39±0.12 b	0.82±0.04 b	5.21±0.16 b	1.35±0.05 b	5.35±0.07 a	0.26±0.01 c
	50	2.64±0.09 e	0.58±0.02 d	3.21±0.11 e	0.90±0.09 d	4.58±0.02 d	0.28±0.01 b
	100	6.09±0.19 a	1.35±0.04 a	7.44±0.23 a	1.68±0.08 a	4.52±0.02 d	0.23±0.01 d
	150	3.14±0.07 d	0.61±0.01 d	3.75±0.08 d	1.12±0.04 c	5.14±0.11 b	0.30±0.01 a
	200	3.37±0.08 c	0.70±0.03 c	4.07±0.11 c	1.08±0.21 cd	4.81±0.07 c	0.27±0.02 bc
T_3	0	3.41±0.08 a	0.73±0.03 ab	4.13±0.10 a	1.16±0.04 a	4.70±0.12 a	0.28±0.01 b
	50	2.83±0.06 b	0.71±0.03 ab	3.54±0.09 bc	1.07±0.05 a	3.99±0.09 c	0.30±0.01 a
	100	2.88±0.06 b	0.67±0.03 b	3.55±0.08 bc	0.89±0.04 b	4.32±0.12 b	0.25±0.01 c
	150	2.90±0.09 b	0.77±0.04 a	3.67±0.13 b	1.08±0.11 a	3.79±0.15 c	0.30±0.01 a
	200	2.82±0.06 b	0.59±0.02 c	3.42±0.07 c	0.93±0.09 b	4.76±0.08 a	0.27±0.01 b

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters indicate significant difference at $P<0.05$.

2.3 6-BA 预处理对干旱胁迫蒙原欧李光合性能的影响

图 2 显示,6-BA 预处理对蒙原欧李净光合速率(P_n)和光合性能指数(PI_{ABS})的影响与干旱胁迫程度和 6-BA 质量浓度有关。在断水 5 d(T_0)和断水 10 d(T_1)时,以 C_4 处理的促进作用最为明显,与对照相比, P_n 分别显著提高了 37.9%和 9.1%, PI_{ABS} 分别显著提高了 49.5%和 45.5%。断水 15 d(T_2)

时, C_2 、 C_3 处理的 P_n 分别较对照提高了 84.0%和 132.0%, PI_{ABS} 分别较对照提高了 22.4%和 11.1%。断水 20 d(T_3)时, C_2 处理能显著提高 P_n 。由此可见,在干旱胁迫程度较轻时,高质量浓度的 6-BA 预处理能显著提高蒙原欧李植株的光合能力,而在干旱胁迫程度较重时,中、低质量浓度的 6-BA 预处理对提高蒙原欧李植株的光合能力有显著作用。

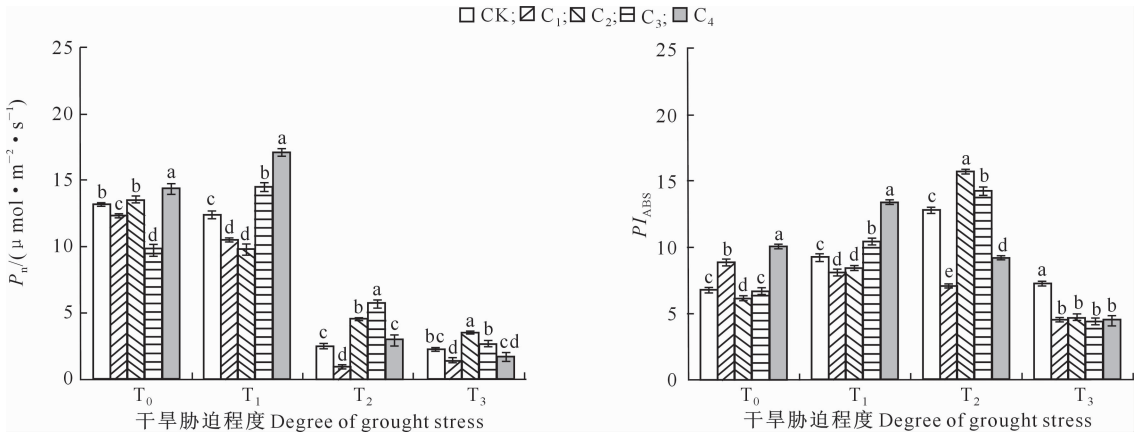


图 2 6-BA 预处理对干旱胁迫蒙原欧李光合性能的影响

Fig. 2 Effects of 6-BA pretreatment on photosynthetic capacity of Mengyuan *Cerasus humilis* under drought stress

2.4 6-BA 预处理对干旱胁迫蒙原欧李渗透调节能力的影响

为了研究 6-BA 预处理对干旱胁迫蒙原欧李渗透调节能力的影响,本试验测定了不同处理下渗透调节物质可溶性蛋白质(SP)和脯氨酸(Pro)的积累情况。结果(图 3)表明,6-BA 预处理均能不同程度地影响干旱胁迫条件下蒙原欧李植株 SP 和 Pro 含量的变化,这种变化因 6-BA 质量浓度和干旱胁迫程度不同而不同。断水 5 d(T₀)时,C₃ 和 C₄ 处理能

同时引起 SP 和 Pro 含量的积累,与对照相比,SP 含量分别显著增加了 6.7%和 2.2%,Pro 含量分别增加了 116.5%和 64.0%。断水 15 d(T₂)时,4 种质量浓度 6-BA 处理均能引起 SP 和 Pro 含量的明显积累,与对照相比,SP 含量分别增加了 17.3%,43.6%,25.2%和 42.3%,Pro 含量分别增加了 98.4%,47.1%,64.9%和 18.9%。由此可见,6-BA 预处理在断水 15 d 时对提高蒙原欧李的抗旱性更加有效。

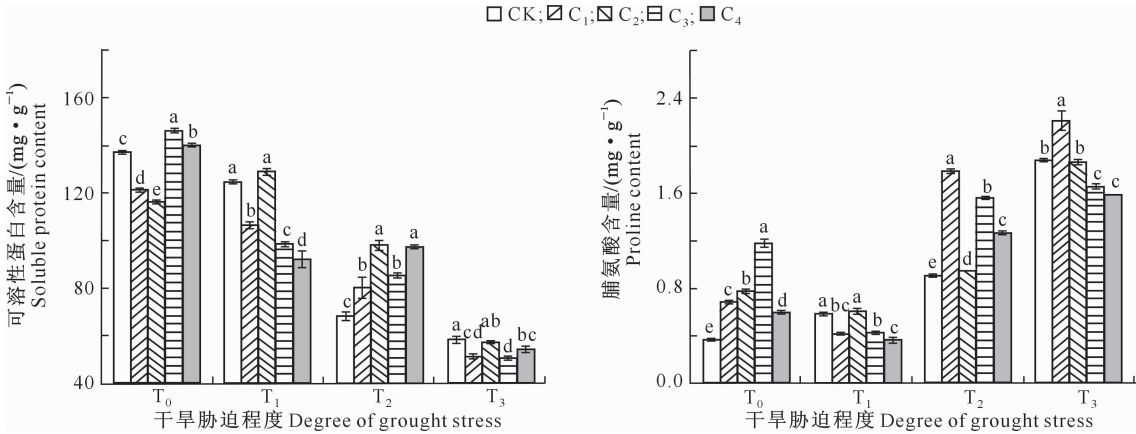


图 3 6-BA 预处理对干旱胁迫蒙原欧李渗透调节能力的影响

Fig. 3 Effects of 6-BA pretreatment on osmotic adjustment ability, of Mengyuan *Cerasus humilis* under drought stress

2.5 6-BA 预处理对干旱胁迫蒙原欧李抗氧化系统的影响

为了研究 6-BA 预处理对干旱胁迫下蒙原欧李抗氧化系统的影响,试验测定了不同处理下蒙原欧李抗氧化酶活性的变化。由图 4 和图 5 可知,6-BA 预处理对蒙原欧李抗氧化酶活性的影响随着干旱胁迫程度和 6-BA 质量浓度不同而存在一定差异。断水 5 d(T₀)和断水 20 d(T₃)时,C₄ 处理能同时显著提高 SOD、POD、CAT 的活性,其活性分别较对照

提高 6.3%,26.6%,54.3%和 11.2%,543.8%,95.0%;断水 10 d(T₁)和断水 15 d(T₂)时,C₂ 处理能同时显著提高 SOD、POD、CAT 的活性,尤其是 POD 活性较对照提高 116.8%和 460.3%。由此可见,土壤水充足和严重不足时,高质量浓度 6-BA (200 mg/L)预处理有利于抗氧化酶活性的提高;土壤水分适度短缺时,中低质量浓度 6-BA (100 mg/L)预处理反而更有利于抗氧化酶活性的提高。

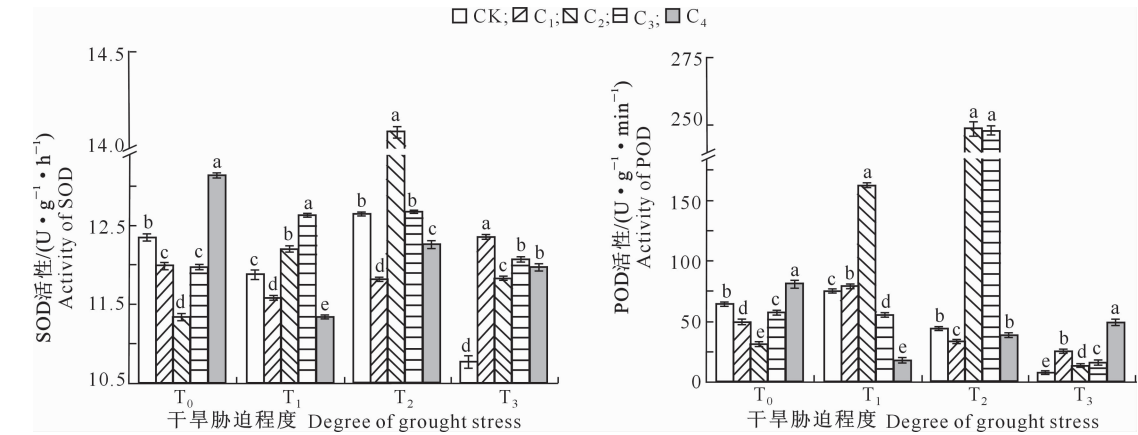


图 4 6-BA 预处理对干旱胁迫蒙原欧李 SOD 和 POD 活性的影响

Fig. 4 Effects of 6-BA pretreatment on SOD and POD activity of Mengyuan *Cerasus humilis* under drought stress

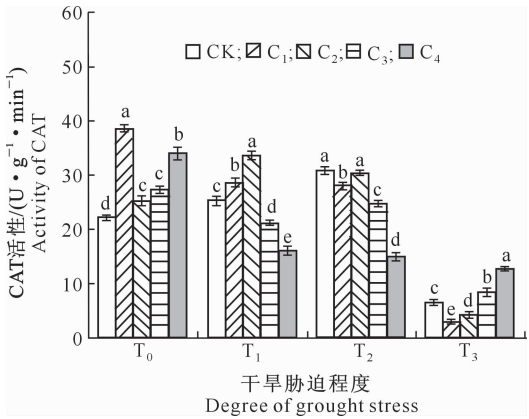


图 5 6-BA 预处理对干旱胁迫蒙原欧李抗 CAT 活性的影响

Fig. 5 Effects of 6-BA pretreatment on CAT activity of Mengyuan *Cerasus humilis* under drought stress

2.6 6-BA 预处理对干旱胁迫蒙原欧李细胞受伤害程度的影响

图 6 表明,6-BA 预处理对干旱胁迫蒙原欧李细胞受伤害程度的影响随着干旱胁迫程度和6-BA质

量浓度的不同而不同。断水 5 d(T₀)时,6-BA 预处理未能引起相对电导率(REC)的显著下降,但 C₃ 处理能引起丙二醛(MDA)含量的显著下降。断水 10 d(T₁)时,C₁、C₃、C₄ 处理能引起 REC 的显著降低,与对照相比其降幅分别为 45.9%,6.5%和 16.7%,而 C₁、C₂、C₃ 能引起 MDA 含量的显著降低,与对照相比其降幅分别为 23.9%,34.7%和 39.0%。断水 15 d(T₂)时,只有 C₄ 处理能引起 REC 的降低,与对照相比其降幅为 20.2%,而 4 种质量浓度 6-BA 处理均能引起 MDA 含量的显著下降,与对照相比其降幅分别为 15.4%,29.5%,27.2%和 41.5%。断水 20 d(T₃)时,C₂ 和 C₄ 处理能引起 REC 的显著下降,与对照相比其降幅分别为 4.8%和 15.0%,C₁ 和 C₃ 处理能引起 MDA 含量的显著下降,与对照相比,降幅分别为 23.6%和 35.7%。综合比较,6-BA 预处理通过降低 MDA 含量而缓解干旱胁迫对细胞的伤害。

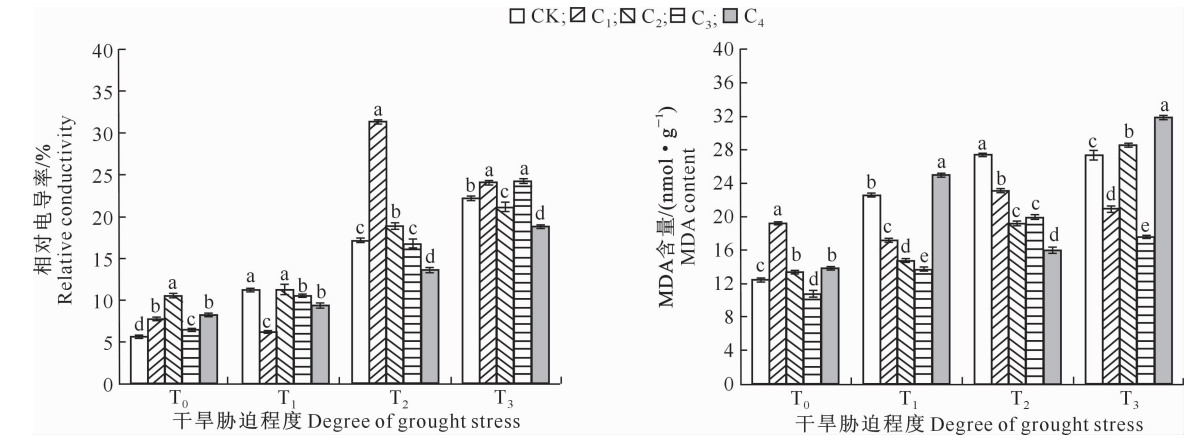


图 6 6-BA 预处理对干旱胁迫蒙原欧李细胞受伤害程度的影响

Fig. 6 Effects of 6-BA pretreatment on degree of cell damage of Mengyuan *Cerasus humilis* under drought stress

2.7 6-BA 预处理对蒙原欧李综合抗旱性的影响

对不同断水时期下蒙原欧李的 11 个生理指标

进行主成分分析,结果(表 2 和表 3)共提取出 2 个主成分,累积贡献率达到 95.995%,具有一定的信

息代表性,能够反映不同干旱时期的抗旱性。设 2 个主成分值分别为 Y_1 、 Y_2 ,各项生理指标标准化后的值为 X_1 、 X_2 、 $\cdots$ 、 X_{11} ,各项生理指标的特征向量为对应指标的系数,则各主成分表达式为:

$$Y_1 = -0.351X_1 + 0.346X_2 + 0.316X_3 - 0.030X_4 - 0.347X_5 - 0.290X_6 + 0.331X_7 - 0.347X_8 + 0.246X_9 + 0.224X_{10} + 0.333X_{11};$$

$$Y_2 = -0.078X_1 - 0.073X_2 - 0.238X_3 + 0.616X_4 + 0.109X_5 + 0.294X_6 - 0.198X_7 - 0.117X_8 + 0.401X_9 + 0.479X_{10} + 0.102X_{11}。$$

表 2 蒙原欧李各主成分的特征向量

Table 2 Eigenvectors of principal components of Mengyuan <i>Cerasus humilis</i>											
主成分 CI	特征值 Eigenvector										
	水分饱和和亏缺 Water saturation deficiency	叶绿素总含量 Chlorophyll content	P_n	PI_{ABS}	相对电导率 Relative conductivity	MDA 含量 MDA content	可溶性蛋白含量 Soluble protein content	脯氨酸含量 Proline content	SOD 活性 Activity of SOD	CAT 活性 Activity of CAT	POD 活性 Activity of POD
CI ₁	-0.351	0.346	0.316	-0.030	-0.347	-0.290	0.331	-0.347	0.246	0.224	0.333
CI ₂	-0.078	-0.073	-0.238	0.616	0.109	0.294	-0.198	-0.117	0.401	0.479	0.102

表 3 蒙原欧李各主成分的特征值、贡献率及累积贡献率

Table 3 Eigenvalues, contribution rates and cumulative contribution rates of principal components of Mengyuan <i>Cerasus humilis</i>			
主成分 CI	特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累积贡献率/% Cumulative contribution rate
CI ₁	7.973	72.483	72.483
CI ₂	2.586	23.512	95.995

将每个主成分的方差贡献率作为权重,则蒙原欧李综合抗旱性评价价值 $Y = (72.483Y_1 + 23.512Y_2)/95.995$ 。利用上述公式计算各处理下的综合抗旱性值,结果见表 4。由表 4 可知,6-BA 预

处理对不同干旱胁迫下蒙原欧李综合抗旱性均有一定程度的影响。断水 5 d(T_0)时, C_4 处理的综合抗旱性评价价值大于对照;断水 10 d(T_1)和断水 15 d(T_2)时, C_2 和 C_3 处理植株的综合抗旱性评价价值大于对照;断水 20 d(T_3)时,4 个处理植株的综合抗旱性评价价值均高于对照。由此可见,适宜质量浓度的 6-BA 预处理有利于处于不同干旱胁迫条件下蒙原欧李植株综合抗旱性的提高。综合以上生理指标和主成分分析,叶面喷施 100 mg/L 6-BA 对植株进行预处理,有利于蒙原欧李植株的生长,进而抵御干旱胁迫对植株造成的伤害。

表 4 基于主成分分析法评价的蒙原欧李各处理的综合抗旱性

Table 4 Comprehensive drought resistance of different treatments evaluated by principal component analysis of Mengyuan <i>Cerasus humilis</i>						
干旱时期 Stage of drought	6-BA 质量浓度/(mg · L ⁻¹) Concentration of 6-BA	Y_1	Y_2	Y	排序 Sequence	
T_0	0	2.84	-0.44	2.04	2	
	50	2.16	0.14	1.67	3	
	100	1.36	-0.57	0.89	5	
	150	1.66	-0.44	1.15	4	
	200	2.90	0.04	2.20	1	
T_1	0	1.38	-0.33	0.96	3	
	50	1.21	-0.13	0.89	4	
	100	2.17	0.34	1.72	1	
	150	1.94	-0.64	1.31	2	
	200	0.79	-1.74	0.17	5	
T_2	0	-0.78	0.72	-0.42	3	
	50	-2.75	1.06	-1.82	5	
	100	2.08	0.55	1.70	1	
	150	0.19	-0.16	0.11	2	
	200	-0.99	-0.45	-0.86	4	
T_3	0	-3.71	-0.57	-2.94	5	
	50	-3.13	0.50	-2.24	3	
	100	-2.99	0.52	-2.13	2	
	150	-2.94	0.40	-2.12	1	
	200	-3.38	1.20	-2.26	4	

3 讨 论

叶片水分状况的变化对植物的生理生化过程会产生不利影响,水分供应不足会导致植株失水加剧,在干旱胁迫下保持高含水量的能力可以看作是适应胁迫的一种表现。Gupta 等^[14]的研究表明,6-BA 在维持较高的水分状态方面起着关键的作用。Merewitz 等^[15]的研究表明,干旱胁迫条件下,细胞分裂素合成基因 *ipt* 的无效转化系叶片的相对含水量下降 47% 左右。由此可见,外源细胞分裂素的施用和内源细胞分裂素的增加均有利于提高植株叶片相对含水量。本研究结果表明,叶面喷施 6-BA 预处理能提高处于干旱胁迫条件下蒙原欧李叶片的相对含水量,降低水分饱和亏缺,进而显著提高植株抗旱性。

光合作用是植物体极为重要的代谢过程,通过光合作用能为植物的生长和发育提供同化物和能量。叶绿素含量的高低反映了光合作用水平,净光合速率(P_n)反映了植物光合机构运转的状况,光合性能指数(PI_{ABS})可以综合反映光合机构的活性。外源细胞分裂素的施用能够缓解叶片衰老引起的叶绿素含量降低、光合参数(如 CO_2 同化速率、光化学猝灭和最大光化学效率)下降等变化^[8,16-18]。Ren 等^[19]的研究表明,6-BA 处理能显著提高水涝胁迫夏玉米的叶绿素含量、 F_v/F_m 和 P_n ; Wu 等^[20]研究表明,6-BA 处理能显著提高盐胁迫下茄子的叶绿素含量和 P_n ; Talla 等^[21]发现,6-BA 处理水稻的叶绿素色素保留率高,叶绿素 a/b 值维持不变,光化学效率和释氧速率下降延迟。本研究中,叶面喷施 100 mg/L 6-BA 对蒙原欧李进行预处理,能够显著提高其叶片叶绿素含量和 P_n ,使处于干旱胁迫的蒙原欧李植株维持较高的同化作用,有利于植株抗旱性的提高。

渗透调节是植物抵御干旱胁迫的一种重要方式。渗透调节物质使植物在较低的叶片水势条件下维持气孔开张和光合作用,阻止叶片卷曲和死亡,保证在低水势时植物体的生长,被视为植物适应干旱胁迫的重要生存和自我保护机制。脯氨酸(Pro)作为渗透调节的一类主要物质,被广泛研究。干旱胁迫下 Pro 的积累不仅有助于渗透调节,还有助于清除活性氧、保持细胞结构和膜的稳定性、稳定酶和蛋白质^[22]。本研究结果表明,叶面喷施不同质量浓度 6-BA 预处理后,能显著提高中度干旱(断水 15 d)条件下蒙原欧李的 Pro 含量,保护植株免受干旱胁迫

的伤害。

干旱胁迫会使细胞内自由基代谢失衡,诱导大量自由基的生成,发生膜脂过氧化反应,细胞膜透性增大而使大量原生质外渗,膜脂发生分离而使细胞膜的结构和功能统一性丧失。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)是植物体内重要的活性氧(ROS)酶促清除系统成员,外源细胞分裂素的施用能显著提高这些酶的活性,有利于植物应对潜在的 ROS 伤害^[23]。有研究表明,在盐胁迫条件下,外源 6-BA 能显著提高茄子的 SOD、POD、CAT 活性^[24]。涝害条件下,外源 6-BA 能够提高玉米品种登海 605 和郑单 958 的 SOD、CAT、POD 活性^[25]。干旱胁迫条件下,外源 6-BA 能够提高葡萄剪股颖的 SOD、CAT、POD 活性^[26]。本研究结果表明,叶面喷施 100 和 200 mg/L 6-BA 预处理后,有利于处于中度和重度干旱胁迫条件下的蒙原欧李 SOD、POD、CAT 活性同时提高,这种抗氧化酶酶的协同作用有利于自由基的清除。此外,6-BA 预处理后蒙原欧李植株在中度干旱胁迫条件下丙二醛含量减少,说明细胞膜伤害程度有所减缓。

综上所述,外源细胞分裂素 6-BA 预处理对于干旱胁迫条件下的蒙原欧李具有一定的保护作用,能够缓解干旱胁迫对植株造成的伤害。这种保护作用通过维持高叶片含水量、保持细胞结构完整性、增强光合作用能力和渗透调节能力以及提高抗氧化酶活性来实现,是综合作用的结果。而且 6-BA 预处理对植物的保护效果与 6-BA 的质量浓度和植株所处的干旱胁迫程度有密切关系。

[参考文献]

- [1] 安旭军,李小燕,李连国,等. 内蒙古欧李的种植及利用 [J]. 内蒙古农业科技,2013(6):113.
An X J, Li X Y, Li L G, et al. Cultivation and utilization of *Cerasus humilis* in Inner Mongolia [J]. Agricultural Science and Technology of Inner Mongolia, 2013(6):113.
- [2] 王有信,王迷珍. 第三代果树欧李抗旱机理与开发利用 [J]. 中国果菜,2004(3):12-13.
Wang Y X, Wang M Z. Drought resistance mechanism and development of the third generation fruit tree *Cerasus humilis* [J]. Chinese Fruit and Vegetable, 2004(3):12-13.
- [3] 侯 琼,郭瑞清,杨丽桃. 内蒙古气候变化及其对主要农作物的影响 [J]. 中国农业气象,2009,30(4):560-564.
Hou Q, Guo R Q, Yang L T. Climate change and its impact on main crops in Inner Mongolia [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2009, 30(4):560-564.

- [4] Yin Z C, Liang J, Hao X Y, et al. Physiological response of mung bean to polyethylene glycol drought stress at flowering period [J]. American Journal of Plant Sciences, 2015, 6(5): 785-798.
- [5] Ullah A, Manghwar H, Shaban M, et al. Phytohormones enhanced drought tolerance in plants: a coping strategy [J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2018, 25: 33103-33118.
- [6] 王 军, 陈 帆, 温明霞, 等. 6-BA 处理对烤烟耐旱性的影响 [J]. 作物研究, 2017, 31(2): 142-145, 180.
Wang J, Chen F, Wen M X, et al. Effect of 6-BA on drought tolerance of fluecured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) [J]. Crop Research, 2017, 31(2): 142-145, 180.
- [7] 李刘龙, 卫茗梅, 李 秀, 等. 外源 6-BA 对不同时期遮光下江汉平原稻茬小麦产量的影响 [J]. 应用生态学报, 2019, 30(11): 3753-3761.
Li L L, Wei M M, Li X, et al. Effects of exogenous 6-BA on wheat yield of rice stubble in Jiangnan Plain under shading at different periods [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(11): 3753-3761.
- [8] 宋佳琦, 王玉祥, 张 博. 外源 6-BA 对紫花苜蓿盛花期叶片光合、生理特性及结荚率的影响 [J]. 草业科学, 2019, 36(3): 720-728.
Song J Q, Wang Y X, Zhang B. Effects of exogenous 6-BA on photosynthesis, physiological characteristics and pod-setting rate of alfalfa in full bloom stage [J]. Pratacultural Science, 2019, 36(3): 720-728.
- [9] 罗永忠, 李 广, 闫丽娟, 等. 水分胁迫下新疆大叶苜蓿水分代谢指标变化及相互关系研究 [J]. 草地学报, 2016, 24(5): 981-987.
Luo Y Z, Li G, Yan L J, et al. Study on the effects of water physiological index of *Medicago sativa* 'Xinjiangdaye' and their correlation under water stress [J]. Acta Agrestia Sinica, 2016, 24(5): 981-987.
- [10] Wellburn A R, Lichtenthaler H. Formulae and program to determine total carotenoids and chlorophylls A and B of leaf extracts in different solvents [C]//Sybesma C. Advances in agricultural biotechnology. Dordrecht, Netherland: [s. n.], 1984: 9-12.
- [11] 李忠光, 龚 明. 植物生理学综合性和设计性实验教程 [M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2013.
Li Z G, Gong M. The synthesis and design experimental course for plant physiology [M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 2013.
- [12] 李清亚, 路 斌, 赵佳伟, 等. 不同豆梨品种对低温胁迫的生理响应及抗寒性评价 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2020, 48(1): 86-94, 110.
Li Q Y, Lu B, Zhao J W, et al. Physiological response and cold resistance evaluation of different *Pyrus calleryan* varieties under low temperature stress [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2020, 48(1): 86-94, 110.
- [13] 周爽男, 陈奇成, 江茂旺, 等. 光照强度对虎斑斑蛾生长、存活、代谢及相关酶活性的影响 [J]. 应用生态学报, 2019, 30(6): 2072-2078.
Zhou S N, Chen Q C, Jiang M W, et al. Effects of light intensity on growth, survival, metabolism and related enzyme activities of *Septia pharaonis* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(6): 2072-2078.
- [14] Gupta S, Agarwal V P, Gupta N K. Efficacy of putrescine and benzyladenine on photosynthesis and productivity in relation to drought tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2012, 18(4): 331-336.
- [15] Merewitz E, Xu Y, Huang B R. Differentially expressed genes associated with improved drought tolerance in creeping bentgrass overexpressing a gene for cytokinin biosynthesis [J]. Pubmed, 2016, 11(11): e0166676.
- [16] Honig M, Plihalova L, Husickova A, et al. Role of cytokinins in senescence, antioxidant defence and photosynthesis [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2018, 19(12): 4045.
- [17] 王孝娣, 刘凤之, 王 帅, 等. 氨基酸硒和 6-BA 对葡萄叶片衰老和叶绿体超微结构的影响 [J]. 中国果树, 2019(6): 49-53.
Wang X D, Liu F Z, Wang S, et al. Effects of amino acid selenium and 6-BA on leaf senescence and chloroplast ultrastructure of grape [J]. China Fruits, 2019(6): 49-53.
- [18] 杨东清, 董文华, 骆永丽, 等. 外源 6-BA 对两种氮素水平下小麦幼苗叶片光合性能及内源激素含量的影响 [J]. 中国农业科学, 2017, 50(20): 3871-3884.
Yang D Q, Dong W H, Luo Y L, et al. Effects of exogenous 6-BA on photosynthetic characteristics and endogenous hormone content in wheat leaves under two nitrogen application levels at seedling stage [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(20): 3871-3884.
- [19] Ren B, Zhang J, Dong S, et al. Regulations of 6-benzyladenine (6-BA) on leaf ultrastructure and photosynthetic characteristics of waterlogged summer maize [J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2017, 36(3): 743-754.
- [20] Wu X, He J, Chen J, et al. Alleviation of exogenous 6-benzyladenine on two genotypes of eggplant (*Solanum melongena* Mill.) growth under salt stress [J]. Protoplasma, 2014, 251(1): 169-176.
- [21] Talla S K, Panigrahy M, Kappara S, et al. Cytokinin delays dark-induced senescence in rice by maintaining the chlorophyll cycle and photosynthetic complexes [J]. Journal of Experimental Botany, 2016, 67(6): 1839-1851.
- [22] Merewitz E, Du H, Yu W, et al. Elevated cytokinin content in ipt transgenic creeping bentgrass promotes drought tolerance through regulating metabolite accumulation [J]. Journal of Experimental Botany, 2012, 63(3): 1315-1328.
- [23] De Moura F B, Vieira M R, Simoes A D, et al. Physiological effect of Kinetin on the photosynthetic apparatus and antioxidant enzymes activities during production of *Anthurium* [J]. Horticultural Plant Journal, 2018, 4(5): 182-192.

Wang F,Cao C L. Effects of phosphorus levels on chlorophyll fluorescence parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.) with different phosphorus efficiencies [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2010,16(3):758-762.

[37] Ma Q,Wang W,Li H J,et al. Effects of copper-based nutritional foliar fertilizers on photosynthetic characteristics, yield and disease control efficiency of cotton [J]. Agricultural Biotechnology,2019,8(1):140-149.

[38] 韩晓飞,谢德体,高明,等. 减磷配施有机肥对水旱轮作紫色水稻土磷素淋失的消减效应 [J]. 生态学报,2017,37(10):3525-3532.

Han X F,Xie D L,Gao M,et al. Effects of reduced-phosphorus fertilizer and combinations of organic fertilizers on phosphorus leaching in purple paddy soil with conventional paddy-upland rotation tillage [J]. Acta Ecologica Sinica,2017,37(10):3525-3532.

[39] 李子双,贺洪军,王 薇,等. 不同种类有机肥对日光温室黄瓜及土壤的影响 [J]. 北方园艺,2015(18):178-181.

Li Z S,He H J,Wang W,et al. Effect of different organic fertilizer on greenhouse cucumber and soil [J]. Northern Horticulture,2015(18):178-181.

[40] 李 想. 有机无机肥磷配施的协同效应与机理研究 [D]. 南京:南京农业大学,2012.

Li X. The synergistic effects and mechanisms of the combined application of organic and inorganic phosphorus fertilizers [D]. Nanjing:Nanjing Agricultural University,2012.

(上接第 113 页)

[24] Wu X,Zhu Z,Li X,et al. Effects of cytokinin on photosynthetic gas exchange, chlorophyll fluorescence parameters and antioxidative system in seedlings of eggplant (*Solanum melongena* L.) under salinity stress [J]. Acta Physiologiae Plantarum,2012,34(6):2105-2114.

[25] Ren B,Zhang J,Dong S,et al. Exogenous 6-benzyladenine improves antioxidative system and carbon metabolism of summer maize waterlogged in the field [J]. Journal of Agronomy and Crop Science,2018,204(2):175-184.

[26] 刘 洋,李荣全,张训忠,等. 干旱胁迫下细胞分裂素对匍匐剪股颖抗氧化生理的影响 [J]. 草地学报,2015,23(6):1206-1213.

Liu Y,Li R Q,Zhang X Z,et al. Effects of cytokinin on antioxidant physiology of creeping bentgrass under drought stress [J]. Pratacultural Science,2015,23(6):1206-1213.