

北美海棠6品种在南方地区的引种研究

何梅^{1,2}, 胡玉安², 武启飞², 许军², 赵安^{1*}

(1. 江西师范大学地理与环境学院, 鄱阳湖湿地与流域研究教育部重点实验室, 江西 南昌 330032;
2. 江西省林业科学院, 江西 南昌 330032)

摘要:【目的】探索北美海棠在南方地区的适应性和观赏性,为有效引种和培育新品种提供理论依据。【方法】以6个新优北美海棠品种(‘黛玉’、‘白兰地’、‘丰盛’、‘王族’、‘草莓果冻’和‘紫宝石’)为引种试材,在南方地区进行物候期、观赏性及耐热性观测和试验。【结果】6个北美海棠品种均能正常萌芽、展叶、开花、结果,且具有较高的观赏价值。夏季生长适应性观测显示,6个品种在南方高温环境下叶片出现不同程度的皱缩、卷曲、叶缘枯焦等变化。生理适应性表明,各品种均能通过自身质膜热稳定性、抗氧化系统及渗透调节方式应对南方夏季高温环境。【结论】6种北美海棠在南方地区夏季高温环境下生长受到一定影响,但通过自身的生理调节,能正常完成生活史,且表现出较高的观赏价值。引种的6种北美海棠表现最好的为‘黛玉’,其次是‘白兰地’和‘紫宝石’。南方地区可根据需要在苗木生产和景观绿化中选择适宜的北美海棠品种栽培。

关键词:北美海棠;南方地区;适应性;引种栽培;耐热性;物候期

中图分类号:S718;Q945 文献标志码:A 开放科学(资源服务)标识码(OSID):
文章编号:1000-2006(2019)06-0073-10



Study on the growth adaptability of north American crabapple introduced to southern China

HE Mei^{1,2}, HU Yu'an², WU Qifei², XU Jun², ZHAO An^{1*}

(1. Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research, Ministry of Education, School of Geography and Environmental Sciences, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China;
2. Jiangxi Academy of Forestry, Nanchang 330022, China)

Abstract: 【Objective】Explore the adaptability and ornamental value of north American crabapple cultivars grown in southern China, and provide a theoretical basis for the effective introduction and cultivation of new crabapple varieties. 【Method】Six north American crabapple cultivars (*Manus* ‘Black Jade,’ *M.* ‘Brandywine,’ *M.* ‘Profusion,’ *M.* ‘Royalty,’ *M.* ‘Strawberry Jelly’ and *M.* ‘Purple Gems’) were grown in southern China, and their phenology, ornamental values and heat tolerance were recorded. 【Result】All six crabapple cultivars were able to germinate, grow, blossom and bear fruit normally in southern China, and specimens had high ornamental value. Over the summer period, we documented leaf damage (shrinkage, curling and scorching to differing degrees) under high temperature conditions. However, plants were able to physiologically adapt to these temperatures owing to the high thermal stability of their plasma membranes, and the effectiveness of both their antioxidant systems and their osmotic regulation. 【Conclusion】Growth of north American crabapple cultivars in southern China was affected by high summer temperatures; however, physiological regulation allowed plants to complete their normal life cycle. Plants exhibited phenotypes with high ornamental value. Of the cultivars, ‘Black Jade’ performed the best, followed by ‘Brandywine’ and ‘Purple Gems.’ We show that certain north American crabapple cultivars are suitable for introduction and cultivation in southern China, and specific cultivars can be selected according to individual requirements.

Keywords: north American crabapple; southern China; adaptability; introduction and cultivation; heat tolerance; phenology

收稿日期:2019-03-07 修回日期:2019-05-30
基金项目:江西省林业科学院重点项目(2016511043);国家自然科学基金项目(31300572);江西省科技厅重点研发项目(20161BBF60116)。
第一作者:何梅(505111043@qq.com),助理研究员,博士。*通信作者:赵安(zhaoanjxsd@qq.com),教授,ORCID(0000-0003-3554-262X)。
引文格式:何梅,胡玉安,武启飞,等. 北美海棠6品种在南方地区的引种研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2019,43(6): 73-82.

北美海棠是美国、加拿大等国家的园艺工作者从自然杂交的海棠中培育出的一系列观花、观果、观叶等类型的观赏海棠品种类群^[1]。由于北美海棠具有花、叶、枝色彩艳丽,果量大,色形优美,环境适应性强等优点,可在我国广泛种植,是优秀的园林绿化树种,被广泛应用于各种园林景观中,极具推广价值^[2-4]。目前,国内对北美海棠的引种栽培有一定的研究,如韩强等^[5]对酒泉地区引种的 6 个北美海棠品种进行引种试验,筛选出最适宜酒泉地区栽植的北美海棠品种;张波等^[6]对‘王族’(*Mauls ‘Royalty’*)、‘钻石海棠’(*M. ‘Sparkler’*) 在银川的观测表明两个北美海棠品种均适应银川自然条件,生长良好;宋克^[7]对河南漯河地区 4 个北美海棠品种生物学特征、抗病性、耐旱、耐热及繁育方式研究发现这 4 个北美海棠品种在漯河均具有很高的观赏和推广应用价值;昌吉市园林局于 2009 年从北京植物园引进北美海棠栽植在新疆昌吉市园林局科研所试验基地,并进行了为期 3 年的引种驯化试验,结果表明引进的北美海棠系列,适应性强,观赏价值高^[8];徐基平等^[9]对克拉玛依地区引种的 6 个北美海棠品种进行引种栽培,发现 6 个北美海棠品种均能正常生长、发育、开花、结果,除‘草莓果冻’(*M. ‘Strawberry Jelly’*)外,其余 5 个北美海棠品种表现出较强的抗寒、耐热、耐旱和抗病性;张亿艳等^[10]对亚当斯(*M. ‘Adams’*)和高原红(*M. ‘Prairifire’*) 2 个北美海棠品种在福建省沙县地区试种,结果表明这 2 个品种适应性强,表现为耐旱、耐寒、耐热,但抗病虫害能力一般。然而对北美海棠的引种和栽培研究绝大多数分布于我国北方温带地区,而南方地区耐热型海棠种质资源的引种、挖掘与利用研究较少,从而限制了优良北美海棠品种在我国的种植范围。

物候期观测是指对植物生长发育过程中在形态上显著不同的各个时期进行观测,从而得出植物在一定的外部环境条件下的生长发育规律^[11]。高温是“北树南移”的一个重要限制因子,而温度也是制约植物生长的主要环境因子^[12]。在高温环境下,植物外部形态、生理生化、渗透调节物质、光合特性等均发生相应的变化以适应周边的环境^[13-15],因此耐热性的高低成为评价北美海棠“北树南移”成功与否的重要指标。

本研究为探索北美海棠在南方地区的区域适应性和观赏性,扩大其在园林绿化中的应用范围,以 6 个新优北美海棠品种为试验材料,在引种繁育的基础上进行物候期、观赏性及耐热性的观测和试

验,为北美海棠在南方地区的合理引种栽培、选育、推广应用和新品种改良等研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于江西省南昌市江西省林业科学院北美海棠基地(115°48′53″E,28°44′31″N),属亚热带湿润季风气候区,气候温和,雨量充沛。年均气温 17.0~17.7℃,极端最高气温 40.9℃,极端最低气温-15.2℃。年降雨量 1 600~1 700 mm,降水时长为 147~157d,年平均暴雨日 5.6 d,年平均相对湿度为 78.5%。年日照时间 1 723~1 820 h,日照率为 40%。年平均风速 2.3 m/s,无霜期 251~272 d。试验地土壤为黄壤土,土层深厚肥沃,试验地地势平坦,灌排条件良好。

根据 2017 年 6—9 月南昌市天气预报数据整理试验地 6—9 月气温情况见表 1。

表 1 试验地 6—9 月气温情况

Table 1 Temperature in the test site from June to September ℃				
月份 month	平均气温 mean temperature		极端气温 extreme temperature	
	高温 maximum	低温 minimum	高温 highest	低温 lowest
6	28	22	33	20
7	34	28	39	24
8	34	26	38	24
9	31	23	36	20

1.2 试验材料

试验选择‘黛玉’(*M. ‘Black Jade’*)、‘白兰地’(*M. ‘Brandywine’*)、‘丰盛’(*M. ‘Profusion’*)、‘王族’(*M. ‘Royalty’*)、‘草莓果冻’(*M. ‘Strawberry Jelly’*)和‘紫宝石’(*M. ‘Purple Gems’*) 6 个新优北美海棠品种,图表中分别标记为 BJ、B、P、R、SJ 和 PG,于 2015 年 12 月 1 日引自山东省临沂地区,每个品种 100 株,均为 2 年生裸根嫁接苗。各品种栽植时间相同,采用相同的种植环境和管理方法,供试苗木生长良好,无病虫害。

1.3 试验方法

1.3.1 物候期及观赏性观测

选择江西省林业科学院内北美海棠种质资源圃内生长健壮的苗木各 50 株,自然条件下分别于 2016 年、2017 年连续两年进行物候期和观赏性观测,每周记载 1 次,遇特殊气候则向后顺延。主要观测芽、叶、花、果、枝的情况,以确定每一项物候期的具体时间。物候观测指标主要包括以下几个时

期:萌芽初期(芽鳞开始裂开)、展叶初期(全树 5% 的叶展开)、始花初期(全树 5% 的花开放)、盛花初期(全树 25% 的花开放)、落花初期(全树有 5% 的花的花瓣正常脱落)、挂果初期(开始挂果)、落果初期(果实开始脱落)、落叶期(秋末全树有 5% 的叶片正常脱落)。

1.3.2 耐热性观测

1) 叶片 6—9 月外部形态月动态变化。于 2017 年 6—9 月,每月 10—15 日选取晴朗的一天于 12:00—13:00 对 6 种北美海棠品种进行叶片夏季外部形态月动态变化观测和伤害症状观测评价,遇到雨水天气则向后顺延。观察指标包括叶形、叶色、叶斑及叶片是否脱落等。

2) 生理生化指标的测定。试验首先于 2017 年 5 月 15 日对北美海棠品种第 4~7 节位成熟的全展叶片进行标记,于 6—9 月中旬晴朗天气时(6 月 16 日、7 月 15 日、8 月 15 日、9 月 16 日)对标记叶进行采摘,每次采摘 10 片,放入超低温冰箱内贮存,用于生理生化指标的测定。

质膜透性测定采用电导率法,MDA 含量测定采用硫代巴比妥酸法,SOD 活性测定采用 NBT 显色法^[16],POD 活性测定采用改进的薛应龙等^[16]的方法,CAT 活性测定参照李玲^[17]的方法,可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮蓝法^[18],可溶性糖含量测定采用蒽酮法^[18],游离脯氨酸含量测定采用酸性茚三酮法^[18]。定义 U 为 1 min 内催化 1 μmol 底物发生反应所需要的酶量。

3) 光响应曲线的测定。于 2017 年 7 月 15 日开始对 6 个海棠品种采取遮阴处理,光照强度为对照(CK)的 50%,CK 为对照水平,不作任何遮阴处理。于 2017 年 8 月 15 日天气晴朗的上午(8:00—

11:30),采用 Li-6400 便携式气体交换系统(Li-Cor,美国)的标准叶室测定系统测定遮阴及对照情况下北美海棠光响应曲线。所测叶片皆为生长健康的植株上部向阳面第 3~5 节位正常叶片,每个品种测定 3 株。测定时,参比室 CO₂ 浓度控制为 380 μmol/mol,叶温控制为 25 ℃,设置模拟光强梯度为 1 800、1 400、1 000、800、500、200、100、50、20、10 和 0 μmol/(m²·s),测定其净光合速率 P_n 。光响应曲线的拟合选用非直角双曲线模型^[19]。

1.4 数据处理

采用 SPSS 19.0 和 Excel 2007 程序进行分析数据处理、统计及绘图。

2 结果与分析

2.1 北美海棠在南方地区的物候期

物候是植物引种后需要观察的首要项目,它可以为植物引种驯化及其合理栽培提供科学依据,引种的 6 个北美海棠品种物候期观测结果见表 2。结果表明引种的 6 种北美海棠在南昌地区均能正常萌芽、展叶、开花、结果,完成其生活史。6 种北美海棠在南昌地区的萌芽期集中在 2 月中下旬,展叶期在 2 月下旬至 3 月上旬,开花期在 3 月至 4 月上旬,结果期在 4—8 月,落叶期在 9 月下旬至 10 月上旬。其中开花较早的品种是‘草莓果冻’(M. ‘Strawberry Jelly’),‘紫宝石’(M. ‘Purple Gems’)和‘丰盛’(M. ‘Profusion’),花期较长的品种是‘黛玉’(M. ‘Black Jade’),‘白兰地’(M. ‘Brandywine’),‘草莓果冻’。挂果较早的品种是‘黛玉’、‘紫宝石’、‘草莓果冻’、‘丰盛’,果期较长的是‘草莓果冻’。

表 2 北美海棠物候期观测
Table 2 Phenological observation of north American crabapple

品种 cultivars	月-日							
	萌芽初期 initial germination date	展叶初期 initial leaf spreading date	始花初期 initial blooming date	盛花初期 initial flowering period date	落花初期 initial falling flowers date	挂果初期 initial fruit hanging date	落果初期 initial fruit setting date	落叶初期 initial defoliation date
‘黛玉’ M. ‘Black Jade’ (BJ)	02-21	03-08	03-27	04-01	04-07	04-09	08-16	10-09
‘白兰地’ M. ‘Brandywine’ (B)	02-18	02-28	03-23	04-06	04-10	04-18	07-18	09-29
‘丰盛’ M. ‘Profusion’ (P)	02-24	03-08	03-14	03-23	04-01	04-06	08-20	10-09
‘王族’ M. ‘Royalty’ (R)	02-21	03-03	03-26	03-29	04-06	04-12	07-25	09-20
‘草莓果冻’ M. ‘Strawberry Jelly’ (SJ)	02-18	02-28	03-03	03-22	04-01	04-07	08-20	09-29
‘紫宝石’ M. ‘Purple Gems’ (PG)	02-16	02-21	03-08	03-14	03-29	04-05	07-10	09-20

2.2 北美海棠的观赏性

从北美海棠观赏特征观测(表3)可以看出,6个北美海棠品种的观赏特性存在差异。从枝型、枝色来看,均呈现树形直立、树冠开展的特点,枝色呈白褐色、深褐色、黄绿色、紫红色、紫色、深紫色等多种颜色,其中‘黛玉’的枝形比较特别,枝条向四周盘旋下垂,可塑性强,可作为垂枝品种或塑型品种,观赏性高。从叶形、叶色来看,叶形多呈卵形、长卵形,叶色是体现观赏性的主要方面,其中‘王族’、

‘紫宝石’为紫叶品种,观赏性高。从花量、花形、花色来看,花量比较大的品种是‘黛玉’、‘丰盛’和‘草莓果冻’,其中‘白兰地’为唯一的重瓣花,‘王族’、‘紫宝石’为紫花品种,‘黛玉’和‘草莓果冻’的花色最为特别,‘黛玉’花色初期玫红色后逐渐变淡至白色,‘草莓果冻’花色中间较白边缘较红,二者花色观赏性佳。从果形、果色来看,‘黛玉’果实较大,紫红色,观赏性高,‘草莓果冻’果实亮红色且经冬而不落,观赏期长。

表3 北美海棠观赏特征观测
Table 3 Observation of ornamental quality of north American crabapple

品种 cultivars	枝 branch		叶 leaf		量 quantity	花 flower		果 fruit	
	形 shope	色 color	形 shope	色 color		形 shope	色 color	形 shope	色 color
BJ	直立,枝向四周盘旋,下垂,可塑性强	黄绿色	长卵或宽卵形	新叶红色,老叶黛绿色	大	伞形花序,单瓣	初期玫红色后逐渐变淡至白色	球形	紫红色
B	直立,开展呈半球形	白褐色	宽卵形,二裂	新叶墨绿色,老叶绿色	中等	伞形花序,重瓣	花粉色	扁球形	初紫黑色后转绿色
P	直立,树冠开展近半圆形	深褐色	椭圆形,不裂	幼叶紫红色,密被毛,叶缘紫红色;老叶紫色到绿色	大	伞形花序,单瓣	花蕾紫红色,花紫红色到淡紫	圆球形	酱紫色至暗红色,被白粉
R	直立,树冠半球形	紫红色	卵形	幼叶紫红色,光滑无毛,叶缘紫红色;老叶暗紫红色	小	伞形花序,单瓣(部分花朵半重瓣)	花暗紫红色	倒卵形	紫红色
SJ	挺拔,半张开冠呈倒卵形	暗紫色	卵形	幼叶紫红色,老叶深绿色	大	伞形花序,单瓣	花蕾大红色,花为粉红色(花瓣中间较白边缘较红)	球形	亮红色
PG	直立,冠半球形	深紫色	卵形至宽卵形	叶紫绿色至紫红色	中等	伞形花序,单瓣(偶有重瓣)	花玫红色	球形	紫黑色

2.3 北美海棠叶片6—9月外部形态月动态变化

由北美海棠叶片6—9月外部形态月动态变化及适应性评价结果(表4)可知,6个北美海棠品种在南昌地区夏季适应性栽培过程中,叶片外观形态出现不同程度的伤害症状。从叶形来看,6个北美海棠品种叶片均出现了不同程度皱缩、卷曲、叶缘枯焦等变化,且新叶较老叶更易发生叶形的改变,6月叶形变化并不显著,7—8月叶形改变最为明显,9月有一定程度的缓解。其中,‘黛玉’、‘白兰地’、‘紫宝石’在夏季生长各阶段叶形的改变程度较小,‘丰盛’、‘王族’、‘草莓果冻’的叶形改变程度较大。从叶色来看,6

个北美海棠品种叶片在夏季适应性生长过程中主要是叶色变淡、黄化等现象,且主要发生在7—9月,其中‘丰盛’、‘草莓果冻’叶色黄化现象较为明显。从叶斑来看,6个北美海棠品种均出现不同程度的伤斑,且主要发生在7—9月,其中‘草莓果冻’叶片伤斑最为严重。从叶片的脱落情况来看,6个北美海棠品种均有不同程度的叶片脱落情况,且主要集中在8、9月,其中‘丰盛’和‘草莓果冻’叶片脱落量大。适应性评价结果来看,‘黛玉’、‘白兰地’、‘紫宝石’的夏季适应性强,‘王族’的夏季适应性较强,丰盛’和‘草莓果冻’的夏季适应性中等。

表 4 北美海棠叶片 6—9 月外部形态月动态变化及适应性评价

品种 cultivars	6 月 June	7 月 July	8 月 August	9 月 September	适应性评价 adaptability evaluate
BJ	基本没有伤害 症状	嫩叶叶缘上卷,部分 有红斑及黄化	嫩叶叶缘上卷,老叶部分 卷曲有部分孔洞和斑点, 下部老叶部分黄化	嫩叶微卷,中下部叶有少 量病斑,下部叶极少量 黄化	强
B	基本没有伤害 症状	嫩叶无伤害症状,老 叶叶缘微卷,极少量 黄化脱落	嫩叶微卷,中下部少量黄 化,并伴有部分脱落	新叶部分微卷,中下部少 量黄化脱落	强
P	部分嫩叶叶尖上 卷,老叶基本无伤 害症状	嫩叶开始变少,中部 叶少量有病斑,下部 少量黄化	嫩叶较少,中部叶有少量 病斑,下部部分黄化脱落	新叶极少,中部叶部分有 斑点黄化,下部大量脱落	一般
R	部分嫩叶叶尖上 卷,老叶基本无伤 害症状	嫩叶较少,少量老叶 有斑点,部分脱落	嫩叶较少,中下部叶部分 卷曲有斑点,部分黄化 脱落	上部叶微卷,有病害,中 下部有部分病斑,少量 脱落	较强
SJ	嫩叶叶缘微卷,老 叶少量有红色 斑点	嫩叶叶尖上卷,老叶 基本没有伤害症状, 较少表面有黑斑	嫩叶叶缘上卷,老叶部分 卷曲有部分斑点,下部老 叶部分黄化	上部叶片卷曲,中下部部 分卷曲有大量斑点,下部 大量黄化脱落	一般
PG	基本没有伤害 症状	嫩叶叶缘微上卷,中 部叶少量微卷,下部 叶部分黄化	嫩叶叶缘上卷,中部叶少 量微卷,下部叶部分黄化	嫩叶微卷,中部叶微卷, 下部叶少量黄化脱落	强

2.4 北美海棠夏季生理生化指标分析

6 个北美海棠品种在南方夏季高温环境下,质膜透性及 MDA 含量均发生了不同程度的变化(图 1)。质膜透性及 MDA 含量变化的总体趋势均为 6 月较低,证明此时生理代谢环境较好,7 月均大幅上升,且与 6 月相比增幅较大。8 月较 7 月总体下

降,9 月较 8 月变化差异显著。其中‘黛玉’、‘白兰地’、‘紫宝石’叶片的质膜透性和 MDA 含量在越夏过程中均较低,且增幅也较小;‘草莓果冻’叶片的质膜透性和 MDA 含量在越夏过程中较高,且增幅也较大;‘丰盛’、‘王族’叶片的质膜透性和 MDA 含量在越夏过程中含量适中,变化不显著。

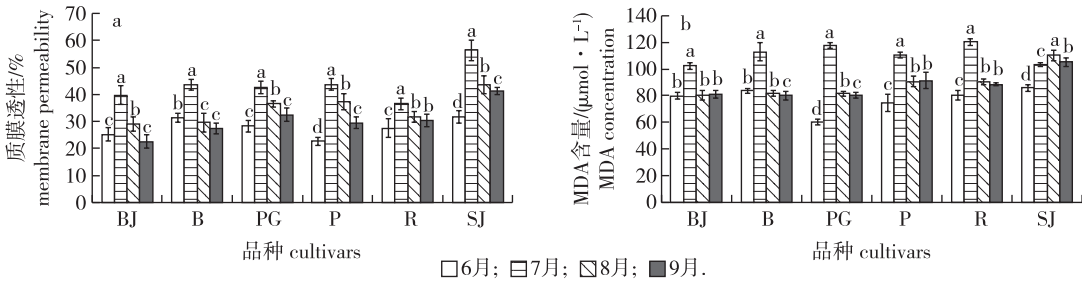


图 1 北美海棠 6—9 月质膜透性和 MDA 含量
Fig. 1 Changes of membrane permeability and concentration of MDA in north American crabapple from June to September

6 月,6 个北美海棠品种叶片 SOD、POD、CAT 活性均存在差异(图 2),这可能是由不同品种之间的抗氧化系统及不同品种对环境适应性调节共同作用的结果^[20]。7 月,各品种 SOD 活性呈上升趋势,此时各品种 SOD 活性最高,其中活性较高的品种为‘黛玉’、‘紫宝石’,SOD 活性分别为 1 320 和 1 308 U/g。8 月,各品种 SOD 均呈现下降的趋势,至 9 月一直呈缓慢下降趋势,但‘黛玉’、‘紫宝石’

的 SOD 活性依然高于其他品种,显示出较强的抗氧化能力。POD 活性的变化与 SOD 活性的变化基本一致,各品种 POD 活性的最高值出现在 7 月,但‘草莓果冻’、‘王族’的 POD 活性在 8—9 月出现先下降后迅速上升的变化,表明这两个北美海棠品种在高温环境下受到的氧化胁迫较为严重。CAT 活性的变化与 POD 活性相比,7 月除‘黛玉’、‘白兰地’、‘丰盛’呈上升趋势,‘紫宝石’、‘王族’、

‘草莓果冻’则出现了下降或者基本不变的情况,且各品种CAT活性的最高值出现在7月或8月,9月的CAT活性依然较高,表明虽然POD和CAT均为催化分解H₂O₂的两种关键酶,但由于在温度和时间范围上的分工合作机制,导致其在6个北美海棠品种夏季高温环境下的变化趋势并不一致^[21]。

在高温环境下,植物体内水分变化明显,植物通过改变细胞液浓度和渗透势等渗透调节方式来适应环境,脯氨酸(Pro)、可溶性糖、可溶性蛋白作为参与植物体内渗透调节的关键物质,其在植物体内的变化较为明显。本研究结果(图2)表明,在南方夏季高温环境下,各品种Pro含量出现先上升后下降的趋势,8月Pro含量达到最高,这可能受南方5—7月梅雨季节的影响,8月相比7月空气湿

度低,导致植物体内水分亏损更大。另外相同环境条件下,‘黛玉’、‘白兰地’、‘紫宝石’的Pro含量较其他品种更高,表明其耐热性更强。可溶性糖含量在高温刺激下,以渗透调节因子的形式,通过积累升高细胞渗透浓度启动ABA的合成,进而诱导蛋白质合成以增加植物的耐热性,但变化趋势不明显(图2)。可溶性蛋白由于受到高温影响产生了变性和凝聚的变化,在南方夏季的持续高温作用下,蛋白质发生不可逆凝聚变化,导致了6个北美海棠品种体内可溶性蛋白含量变化的无规律升降,另外,高温作用也可能诱导植物体内合成热激蛋白,一定程度上影响了可溶性蛋白含量的测定,但也对北美海棠高温环境下的胞内环境提供保护。

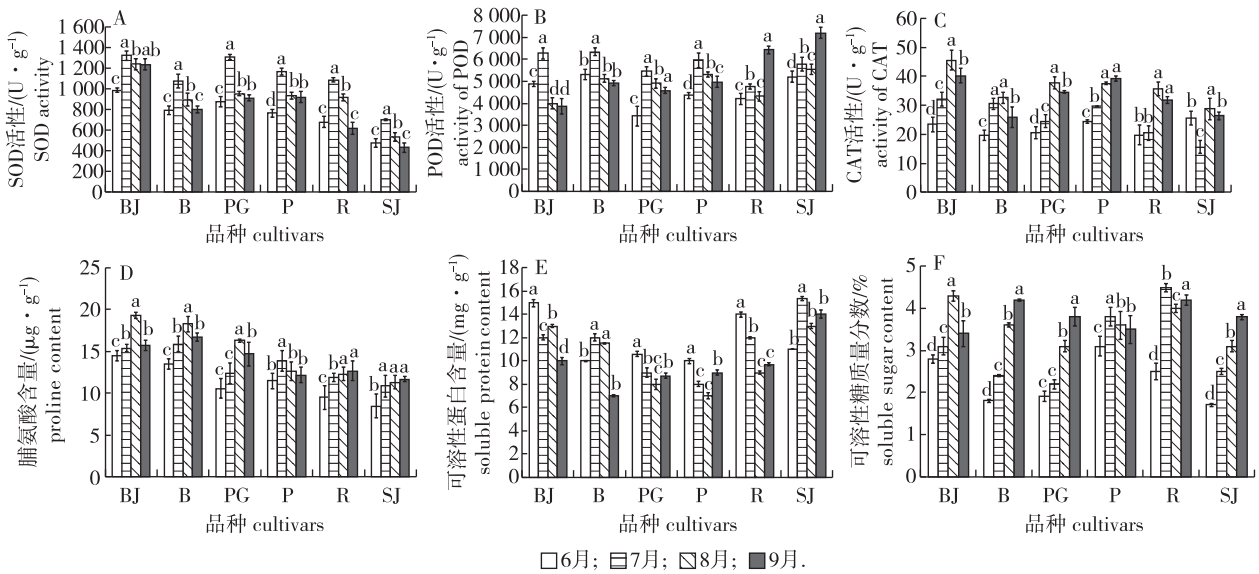


图2 北美海棠品种6—9月的生理生化指标

Fig. 2 The physiology and biochemistry index in north American crabapple from June to September

2.5 全光照及遮阴条件下不同北美海棠品种光响应曲线特征参数

在全光照下通过测定得到6个北美海棠品种的光响应曲线特征参数如表5,由表5可以看出,各海棠品种之间的光响应曲线特征参数存在一定的差异性。最大净光合速率($P_{n,max}$)反映了植物单个叶片光合能力的大小,6个海棠品种中,‘白兰地’的 $P_{n,max}$ 最大,‘丰盛’的 $P_{n,max}$ 最小,说明白兰地单个叶片光合作用能力最强,6个品种的 $P_{n,max}$ 大小顺序为‘白兰地’>‘紫宝石’>‘黛玉’>‘草莓果冻’>‘王族’>‘丰盛’。光补偿点(P_{LCP})能够用来判断植物耐阴性的强弱,6个海棠品种中,‘紫宝石’的 P_{LCP} 最小,‘草莓果冻’的 P_{LCP} 最大,6个品种的 P_{LCP} 大小顺序为‘草莓果冻’>‘丰盛’>‘黛

玉’>‘草莓果冻’>‘王族’>‘紫宝石’。光饱和点(P_{LSP})能够反映植物利用强光的能力强弱,6个海棠品种中,‘白兰地’的 P_{LSP} 最大,‘草莓果冻’的 P_{LSP} 最小,6个品种的 P_{LSP} 大小顺序为‘白兰地’>‘丰盛’>‘黛玉’>‘王族’>‘紫宝石’>‘草莓果冻’。表观量子效率(η_{AQY})反映了植物对弱光利用能力的大小,6个海棠品种中,‘紫宝石’的 η_{AQY} 最大,‘丰盛’的 η_{AQY} 最小,6个品种的 η_{AQY} 大小顺序为‘紫宝石’>‘黛玉’>‘白兰地’>‘王族’>‘草莓果冻’>‘丰盛’。暗呼吸速率(R_d)能够反映植物维持自身生命活动所消耗有机物的大小,6个海棠品种中,‘草莓果冻’的 R_d 最大,‘白兰地’的 R_d 最小,说明‘草莓果冻’维持自身生命活动消耗有机物的量较多,‘白兰地’维持自身生命活动消耗

有机物的量较少,6 个品种的 R_d 大小顺序为‘草莓果冻’>‘黛玉’>‘紫宝石’>‘丰盛’>‘王族’>‘白兰地’。

表 5 全光照下 6 个北美海棠品种光响应曲线特征参数

品种 varieties	$P_{n,max}/$ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	$P_{LCP}/$ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	$P_{LSP}/$ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	η_{AQY}	$R_d/$ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
BJ	19.056±0.056 BCb	29.898±2.017 ABa	1 753.17±12.574 Ab	0.080±0.002 ABb	2.13±0.061 Bb
B	22.320±0.675 Aa	23.161±1.673 Bb	1 839.987±15.279 Aa	0.078±0.003 Bb	1.512±0.112 Dd
P	14.336±0.819 Dc	31.154±1.881 Aa	1 791±18.019 Aa	0.065±0.003 Cc	1.818±0.068 Cc
R	17.521±1.122 Cb	24.718±2.657 Bb	1 515.5±28.865 Bc	0.077±0.004 Bb	1.786±0.056 Cc
SJ	17.684±0.753 Cb	33.642±2.051 Aa	1 498.79±9.946 Bc	0.076±0.004 BCb	2.406±0.127 Aa
PG	21.332±1.104 ABa	22.997±2.604 Bb	1 508.2±10.712 Bc	0.091±0.002 Aa	1.93±0.045 BCc

注:表中数字后不同小写字母表示 $P<0.05$ 差异显著水平,不同大写字母表示 $P<0.01$ 差异极显著水平。下同。The different small letters after data in the table express the significance at $P<0.05$ level and the different capital letters at $P<0.01$ level. The same below.

在遮阴条件下通过测定得到 6 个海棠品种的光响应曲线特征参数如表 6,由表 6 可以看出,各海棠品种之间的光响应曲线特征参数存在一定的差异性。6 个海棠品种中,‘草莓果冻’的 $P_{n,max}$ 最大,‘紫宝石’的 $P_{n,max}$ 最小,说明‘草莓果冻’在遮阴条件下单个叶片光合作用能力最强,6 个品种的 $P_{n,max}$ 大小顺序为‘草莓果冻’>‘白兰地’>‘王族’>‘黛玉’>‘丰盛’>‘紫宝石’。6 个海棠品种中,‘白兰地’的 P_{LCP} 最小,‘王族’的 P_{LCP} 最大,6 个品种的 P_{LCP} 大小顺序为‘王族’>‘草莓果冻’>‘丰盛’>‘黛玉’>‘紫宝石’>‘白兰地’。6 个海棠品种中,‘草莓果冻’的 P_{LSP} 最大,‘紫宝石’的 P_{LCP} 最小,6 个品种的 P_{LCP} 大小顺序为‘草莓果冻’>‘丰盛’>‘黛玉’>‘白兰地’>‘紫宝石’>‘王族’。6 个海棠品种中,‘紫宝石’的 η_{AQY} 最大,‘王族’的 η_{AQY} 最小,6 个品种的 η_{AQY} 大小顺序为‘紫宝石’>‘丰盛’>‘黛玉’>‘草莓果冻’>‘白兰地’>‘王族’。6 个海棠品种中,‘草莓果冻’的 R_d 最大,‘白兰地’的 R_d 最小,说明‘草莓果冻’维持自身生命活动消耗有机物的量较多,‘白兰地’维持自身

生命活动消耗有机物的量较少,6 个品种的 R_d 大小顺序为‘草莓果冻’>‘王族’>‘丰盛’>‘黛玉’>‘紫宝石’>‘白兰地’。

通过表 5 和表 6 对比可以看出,遮阴与全光照条件下相比,各海棠品种的 $P_{n,max}$ 、 P_{LCP} 、 P_{LSP} 、 η_{AQY} 和 R_d 均有所变化。6 个海棠品种中,‘黛玉’、‘白兰地’、‘紫宝石’这 3 个品种的 $P_{n,max}$ 均有所下降,其中‘紫宝石’的 $P_{n,max}$ 下降最多;‘丰盛’、‘王族’、‘草莓果冻’这 3 个品种的 $P_{n,max}$ 均有所上升,其中‘丰盛’ $P_{n,max}$ 上升最多。各海棠品种的 P_{LCP} 均有所下降,其中‘黛玉’的 P_{LCP} 下降最多,‘王族’的 P_{LCP} 下降最少。6 个海棠品种中仅有‘草莓果冻’的 P_{LSP} 有所增加,其他海棠品种的 P_{LSP} 均有所下降,其中‘白兰地’的 P_{LSP} 下降最多,‘紫宝石’的 P_{LSP} 下降最少。6 个海棠品种中,‘黛玉’、‘丰盛’、‘草莓果冻’这 3 个品种的 η_{AQY} 均有所增加,其中‘丰盛’的 η_{AQY} 增加最多,‘白兰地’、‘王族’、‘紫宝石’这 3 个品种的 η_{AQY} 均有所下降,其中‘3 王族’的 η_{AQY} 下降最多。各海棠品种的 R_d 均有所下降,其中‘黛玉’的 R_d 下降最多,‘王族’的 R_d 下降最少。

表 6 遮阴条件下 6 个北美海棠品种光响应曲线特征参数

品种 cultivars	$P_{n,max}/$ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	$P_{LCP}/$ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	$P_{LSP}/$ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	η_{AQY}	$R_d/$ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
BJ	16.931±0.249 Bbc	15.239±1.668 Cb	1 454.69±14.085 Cd	0.082±0.002 ABab	1.234±0.082 BCcd
B	19.225±0.183 Aa	12.181±1.633 Cb	1 452.387±19.867 Cd	0.076±0.002 Bb	0.984±0.193 Cd
P	16.764±0.245 BB	17.013±1.633 BCb	1 554.347±17.153 Bc	0.083±0.002 ABab	1.337±0.107 ABCbc
R	19.014±0.817 Aa	24.504±2.858 Aa	1 402.117±5.039 Ce	0.067±0.002 Cc	1.598±0.163 ABab
SJ	20.169±0.851 Aa	23.494±1.225 ABa	1 972.993±12.568 Aa	0.081±0.002 ABb	1.781±0.082 Aa
PG	15.135±0.838 Bc	14.326±1.697 Cb	1 408.83±7.352 Ce	0.084±0.001 Aa	1.197±0.080 Ccd

3 结 论

夏季高温是北美海棠“北树南移”的主要限制因素,对6个北美海棠品种在南昌地区的夏季(6—9月)生长适应性观测反映出各品种对高温的适应性。观测结果表明6个北美海棠品种在夏季高温环境下均出现了不同程度的伤害,但从伤害程度来看,‘草莓果冻’伤害程度最大,表明其对南昌地区夏季高温环境适应能力较弱,其次是‘丰盛’和‘王族’,‘黛玉’、‘白兰地’、‘紫宝石’的伤害程度相对较小,表明其对南昌地区夏季高温的适应能力较强。但从最终结果来看,6个北美海棠品种均能顺利度过夏季高温天气,完成其生活史。

生理生化试验结果表明,6个北美海棠品种可通过维持自身细胞膜的热稳定性、平衡抗氧化系统及改变渗透调节物质含量的方式来适应南方高温高湿的夏季环境。其中质膜透性、MDA含量、SOD活性、POD活性、Pro含量受高温影响的变化趋势明显,可作为北美海棠夏季高温生长适应性的评价指标。细胞膜是植物胞内环境与外界环境沟通联系的媒介,细胞膜的稳定性与细胞所处的环境有很大的关联。有研究表明,细胞膜的热稳定性与植物的耐热能力呈正相关^[22]。MDA含量的增加则会加剧质膜的伤害^[23]。SOD、POD是常见的酶促防御体系,在高温环境下通过提高SOD、POD活性抑制 O_2^- 、 H_2O_2 等活性氧自由基的过量累积,从而平衡植株体内的活性氧代谢,稳定细胞膜结构。Pro具有防止水分散失和增强原生质胶体稳定性的功能,是最有效和最重要的有机渗透调节物质,耐热性强的植物Pro含量高于耐热性弱的植物^[24]。综合以上研究来看,相同高温环境下‘黛玉’适应性明显高于其他品种,相反‘草莓果冻’的适应性最低。

植物通过光合作用光响应曲线得到的特征参数是植物生理生态学研究的基础,它们可以反映植物对所处生活环境适应能力的强弱,同时也是评价植物适应性的指标之一^[25]。光合试验中6个海棠品种的光响应曲线特征参数均存在一定的差异性,因此根据其不同的光合特性进行合理的管理是极为关键的。

全光照下,‘白兰地’、‘紫宝石’、‘黛玉’的 $P_{n,max}$ 较大,长势较好,因此在引种栽培时要预留出适当的生长空间,并在快速生长期做好水肥管理。‘丰盛’、‘王族’、‘草莓果冻’在全光照下 $P_{n,max}$ 较小,长势一般,叶片有部分会出现叶缘微卷

及黄化现象。植物叶片的 P_{LCP} 与 P_{LSP} 能够用来反映植物对光照条件的适应性, P_{LSP} 较低时, P_{LCP} 越低,则植物对弱光的利用能力越强; P_{LSP} 较高时, P_{LCP} 越高,则植物对强光的利用能力越强; P_{LCP} 较低且 P_{LCP} 较高的植物对环境适应性很强^[26-27]。全光照下‘白兰地’的 P_{LCP} 最低, P_{LSP} 最高,说明‘白兰地’属于环境适应性较强的品种,可推广栽培的地区较广泛;‘草莓果冻’的 P_{LCP} 最高, P_{LSP} 最低,说明‘草莓果冻’属于环境适应性较窄的品种,在引种栽培过程中应首先考虑光照强弱对其影响。‘王族’的 P_{LCP} 和 P_{LSP} 均较小,对低光强表现出一定的适应性,在推广和应用中应栽植在光照较弱的地区。

在遮阴条件下‘丰盛’、‘王族’、‘草莓果冻’这3个品种的 $P_{n,max}$ 均有所增加,说明这3个品种在强光下生长受到了一定程度的限制,在遮阴条件下 $P_{n,max}$ 则有所增加,对弱光表现出一定的适应性。在遮阴条件下各海棠品种的 P_{LCP} 、 P_{LSP} 和 R_d 均有所下降,说明在遮阴条件下各海棠品种消耗有机物的量均有所减少,但其进行光合作用所需的最大光强变小,这有可能是在遮阴条件下温度下降导致的。

综上所述,引种的6个北美海棠品种在南昌地区均能正常的萌芽、展叶、开花、结果,完成其整个生活史,也表现出了较高的观赏性,其中‘黛玉’不论是从适应性、观赏性还是枝条的可塑性均表现最好,集观枝、观叶、观花、观果为一体,且花色特别,果实较大,花期、果期较长。其次是‘白兰地’和‘紫宝石’,‘丰盛’、‘草莓果冻’的花量及花色也表现出较高的观赏性,但其对高温的适应性相对较弱,‘王族’作为紫叶品种具有一定的观叶价值,但在南昌地区开花量较小,高温适应性也比较差。因此,‘黛玉’、‘白兰地’和‘紫宝石’在南方高温环境下表现出较强的适应性,具有很高的观赏价值和推广价值,适宜在南方地区种植。北美海棠作为一种优良的园林绿化彩化植物,各品种枝色、叶色、花色、果色丰富多彩^[28-30],园林应用形式多样,适应环境能力强,在苗木生产和绿化中可根据实际景观需要和环境条件选择适宜的品种种植,具有非常好的发展前景。

参考文献(reference):

- [1] 楚爱香,汤庚国.观赏海棠品种分类研究进展[J].生物学通报,2008,43(7):15-19. DOI:10.3969/j.issn.0006-3193.2008.07.005.
CHU A X, TANG G G. Advances in research on classification of

ornamental crabapple [J]. Bulletin of Biology, 2008, 43(7): 15-19.

[2] 浦静,张晶,赵聪,等. ‘紫王子’海棠半同胞家系苗期表型特征分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2017, 41(6):33-40. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2006.2017.12.048.

PU J, ZHANG J, ZHAO C, et al. Analysis and evaluation on flower color characteristics of the *Malus* ‘Purple Prince’ half-sib progenies[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2017, 41(6):33-40.

[3] 孙鑫,何亚飞,卢俊芳,等. 增温促花对盆栽海棠‘长寿冠’复栽后光合特性日变化的影响[J]. 江西农业大学学报, 2017, 39(1):64-71. DOI: 10.13836/j.jjau.2017009.

SUN X, HE Y F, LU J F, et al. Effects of increasing temperature to promote flowering on the diurnal variation of photosynthesis in potted *Chaenomeles speciosa* (Sweet) Nakai ‘Changshouguan’ [J]. Acta Agriculturae Niversitatis Jiangxiensis, 2017, 39(1): 64-71.

[4] ILES J K, ROMER J P, HAYNES C L. Selection preferences for crabapple cultivars and species[J]. Horttechnology, 2003, 13(3): 522-525. DOI: 10.1023/A:1024797132744.

[5] 韩强,尚海. 6个北美海棠新品种在酒泉地区的引种栽培试验[J]. 林业科技通讯, 2017(11):86-88. DOI:10.13456/j.cnki.lykt.2017.11.027.

HAN Q, SHANG M. Introduction and cultivation of six new north American *Begonia* varieties in Jiuquan Area[J]. Forest Science and Technology, 2017(11): 86-88.

[6] 张波,石建宁,徐慧琳. 王族、钻石海棠在银川市的引种表现[J]. 农业科技与信息, 2017,(13):93-94. DOI:10.15979/j.cnki.cn62-1057/s.2017.13.044.

ZHANG B, SHI J N, XU H L. Introduction performance of *Mauls* ‘Royalty’ and *Mauls* ‘Sparkler’ in Yinchuan City[J]. Agricultural Science-technology and Information, 2017, (13): 93-94.

[7] 宋克. 北美海棠在漯河地区的引种栽培及应用[J]. 现代园艺, 2013(9): 20-21. DOI: 10.14051/j.cnki.xddy.2013.09.056.

SONG K. Introduction, cultivation and application of *Begonia crabapple* in Luohe area[J]. Xiandai Horticulture, 2013(9): 20-21.

[8] 李伟,杨彬. 北美海棠系列在昌吉地区的引种栽培试验[J]. 新疆林业, 2012(1): 21-24. DOI:10.3969/j.issn.1005-3522.2012.01.014.

LI W, YANG B. Introduction and cultivation experiment of North American *Begonia* series in Changji area[J]. Forestry of Xinjiang, 2012(1): 21-24.

[9] 徐基平,李艳红,胡秀琴. 克拉玛依地区北美海棠的引种栽培及推广应用研究[J]. 园艺与种苗, 2011(1):51-53. DOI: 10.3969/j.issn.2095-0896.2011.01.015.

XU J P, LI Y H, HU X Q. Study on introduction, cultivation and application of North American *Begonia* in Karamay area[J]. Horticulture & Seed, 2011(1): 51-53.

[10] 张亿艳,杨培华,朱业辉. 北美海棠在沙县引种试验[J]. 福建农业科技, 2017(5):18-19. DOI:10.13651/j.cnki.fjnykj.2017.05.007.

ZHANG Y Y, YANG P H, ZHU Y H. Introduction text on North American *Begonia* in Sha County[J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2017(5): 18-19.

[11] 蔡军火,魏绪英,李金峰,等. 环境温度对红花石蒜生长节律的调控研究[J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(1):24-31. DOI: 10.13836/j.jjau.2018004.

CAI J H, WEI X Y, LI J F, et al. The regulation and control of ambient temperature on growth rhythm of *lycori radiata*[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2018, 40(1):24-31.

[12] 钟敏,张文标,邹梁峰,等. 高温下猕猴桃光合作用和叶绿素荧光特性的日变化[J]. 江西农业大学学报, 2018,40(3): 472-478. DOI: 10.13836/j.jjau.2018062.

ZHONG M, ZHANG W B, ZHOU L F, et al. Diurnal variation of photosynthesis and chlorophyll fluore-scence characteristics in kiwifruit under high temperature condition[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2018,40(3):472-478.

[13] 刘春风,张往祥,孙垒,等. 高温对观赏海棠生长和光合作用的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2013,37(4): 17-22. DOI: 10.3969/j.issn.1000-2006.2013.04.004.

LIU C F, ZHANG W X, SUN L, et al. Effects of high temperature on photosynthesis and growth of crabapple seedling[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2013, 37(4):17-22.

[14] 王新娟. 苹果属种质资源光合特性研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2010.

WANG X J. Photosynthetic chanacteristics of apper germplasm resources [D]. Yangling: North West Agriculture and Forestry University,2010.

[15] 杨肖华,郭圣茂,冯美玲,等. 干旱胁迫及复水对射干光合作用和叶绿素荧光特性的影响[J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(3):525-532. DOI:10.13836/j.jjau.2018069.

YANG X H, GUO S M, FENG M L, et al. Effects of drought stress and re-watering on the characteristics of photosynthesis and chlorophyll fluorescence of blackberry lily[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2018, 40(3):525-532.

[16] 薛应龙. 植物生理学试验[M]. 北京:高等教育出版社, 1985:12.

XUE Y L. Plant physiology experiment [M]. Beijing: Higher Education Press, 1985:12.

[17] 李玲. 植物生理学模块实验指导[M]. 北京:科学出版社,2009.

LI L. Guide for plant physiology experiment[M]. Beijing: Science Press, 2009.

[18] 郝建军,康宗利,于洋. 植物生理学实验技术[M]. 北京:化学工业出版社,2006.

HAO J J, KANG Z L, YU Y. Experimental technology of plant physiology[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.

[19] 叶子飘,李进省. 光合作用对光响应的直角双曲线修正模型和非直角双曲线模型的对比研究[J]. 井冈山大学学报(自然科学版), 2010,31(3): 38-44. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8085.2010.03.009.

YE Z P, LI J S. Comparative investigation light response of photosynthesis on non-rectangular hyperbola model and modified model of rectangular hyperbola[J]. Journal of Jinggangshan University (Natural Science), 2010, 31(3): 38-44.

[20] 李晓磊. 观赏海棠 (*Malus* sp.) 花粉特性及花果香气研究 [D]. 泰安:山东农业大学,2008.

LI X L. Analysis of pollen characteristics of ornamental crabapple (*Malus* sp.) and its flowers, fruit aroma [D]. Taian: Shandong Agricultural University,2008.

[21] ZHU D. Effects of cadmium, water single and combined stress on antioxidant enzyme activity of *Arisaema heterophyllum* BI leaves [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(15):

292-297. DOI: 10.11924/j.issn.1000-6850.2013-2660.

[22] KOMATSU S, WADA T, ABALÉA Y, et al. Analysis of plasma membrane proteome in soybean and application to flooding stress response[J]. Journal of Proteome Research, 2009, 8(10): 4487-4499. DOI: 10.1021/pr9002883.

[23] SHAHEEN M R, AYYUB C M, AMJAD M, et al. Morpho-physiological evaluation of tomato genotypes under high temperature stress conditions[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2016, 96(8):2698-2704. DOI: 10.1002/jsfa.7388.

[24] 班甜甜, 张素勤, 肖体菊, 等. 干旱胁迫对草石蚕保护酶活性和渗透调节物质的影响[J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(5):956-964. DOI: 10.13836/j.jjau.2018120.

BAN T T, ZHANG S Q, XIAO T J, et al. Effects of drought stress on protective enzyme activity and osmotic adjustment substances of *Stachys sieboldii* Miq[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2018, 40(5): 956-964.

[25] 靳甜甜, 刘国华, 胡婵娟, 等. 黄土高原常见造林树种光合蒸腾特征[J]. 生态学报, 2008, 28(11):5758-5765. DOI:10.3321/j.issn:1000-0933.2008.11.063.

JIN T T, LIU G H, HU C J, et al. Characteristics of photosynthetic and transpiration of three common afforestation species in the Loess Plateau [J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5758-5765.

[26] 王旭军, 潘百红, 程勇, 等. 红榉不同种源光合特性的比较[J]. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(6):37-42. DOI:10.14067/j.cnki.1673-923x.2013.06.024.

WANG X J, PAN B H, CHENG Y, et al. Comparison of photosynthetic characteristics of different provenances of *Zelkova schneideriana* Hand-Mazz [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2013, 33(6): 37-42.

[27] 冷平生, 杨晓红, 胡悦, 等. 5 种园林树木的光合和蒸腾特性的研究[J]. 北京农学院学报, 2000, 15(4): 13-18. DOI: 10.3969/j.issn.1002-3186.2000.04.003.

LENG P S, YANG X H, HU Y, et al. Studies on the characteristics of photosynthesis and transpiration of five gardening trees [J]. Journal of Beijing Agricultural College, 2000, 15(4): 13-18.

[28] 何梅, 王华, 胡玉安, 等. 彩叶树种研究与开发利用现状[J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(6): 1134-1144. DOI: 10.13836/j.jjau.2018143.

HE M, WANG H, HU Y A, et al. Research status, development and utilization of color-leaf trees[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2018, 40(6): 1134-1144.

[29] 王明荣. 引进 33 种欧洲海棠品种繁殖栽培研究及景观应用价值评价[D]. 南京: 南京林业大学, 2005.

WANG M R. The breeding and cultivating of 33 Europe *Malus* species or cultivars and their ornamental appraisal [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2005.

[30] 许军, 何梅, 胡玉安, 等. 观赏海棠研究进展[J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(3): 553-560. DOI: 10.13836/j.jjau.2018072.

XU J, HE M, HU Y A, et al. Advances in the research on and expectation of ornamental crabapple[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2018, 40(3): 553-560.

(责任编辑 吴祝华)