

# 干旱和淹水处理对蓝浆果生长和光合特性的影响

韦继光, 曾其龙, 姜燕琴, 刘星凡, 刘梦华, 於虹<sup>①</sup>

[江苏省·中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏 南京 210014]

**摘要:** 以兔眼蓝浆果(*Vaccinium ashei* Reade)品种‘粉蓝’(‘Powderblue’)和南方高丛蓝浆果(*V. corymbosum* hybrids)品种‘南月’(‘Southmoon’)优选系 A47 的 1 年生盆栽苗为供试材料,研究了持续干旱和淹水处理对它们的生长及光合特性的影响。结果表明:随着干旱和淹水处理时间的延长,‘粉蓝’和 A47 幼苗的枝叶萎蔫干枯和叶片脱落等受害症状加剧,生长指标和光合参数显著下降。干旱和淹水处理 35 d,二者的枝长、枝长增长量、根系和茎叶干质量、植株增长量和相对生长速率均显著低于对照,根冠比与对照无显著差异;干旱和淹水处理 14 d,二者的叶片净光合速率、气孔导度和蒸腾速率显著低于对照,而胞间 CO<sub>2</sub> 浓度总体上与对照无显著差异或略高于对照。随干旱和淹水处理时间的延长(0~35 d),‘粉蓝’和 A47 幼苗叶片的叶绿素含量指数逐渐下降且总体上小于对照,PS II 最大光化学效率和有效光量子产量总体上呈先升后降趋势且在处理的中后期均低于对照。研究结果表明:干旱和淹水处理对‘粉蓝’和 A47 幼苗的生长和光合特性均有明显的抑制作用,但干旱和淹水胁迫条件下二者的生长和光合特性变化幅度有一定差异,且二者对干旱胁迫的敏感性较强。

**关键词:** 蓝浆果; 干旱; 淹水; 生长指标; 气体交换参数; 叶绿素荧光参数

**中图分类号:** Q945.78; S663.9; R282.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-7895(2015)01-0054-07

**DOI:** 10.3969/j.issn.1674-7895.2015.01.08

**Influence of drought and flooding treatments on growth and photosynthetic characteristics of blueberry (*Vaccinium* spp.)** WEI Jiguang, ZENG Qilong, JIANG Yanqin, LIU Xingfan, LIU Menghua, YU Hong<sup>①</sup> (Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2015, 24(1): 54-60

**Abstract:** Taking one-year-old pot seedlings of cultivar ‘Powderblue’ of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* Reade) and superior strain A47 of cultivar ‘Southmoon’ of southern highbush blueberry (*V. corymbosum* hybrids) as tested materials, effects of successive drought and flooding treatments on their growth and photosynthetic characteristics were researched. The results show that with prolonging of drought and flooding treatment times, damage symptoms of wilting or withering of stems and leaves, and leaf abscission of ‘Powderblue’ and A47 seedlings are aggravated, and their growth indexes and photosynthetic parameters decrease obviously. In drought and flooding treatments for 35 d, their branch length, increment of branch length, dry weight of root, dry weight of stem and leaf, increment of plant growth and relative growth rate all are significantly lower than those of the control, while root/shoot ratio has no significant difference with that of the control; in drought and flooding treatments for 14 d, their net photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate of leaf all are significantly lower than those of the control, while generally difference in intercellular CO<sub>2</sub> concentration is not significant with that of the control. With prolonging of drought and flooding stress times (0-35 d), chlorophyll content index in leaf of ‘Powderblue’ and A47 seedlings decreases gradually and are generally lower than that of the control, while the maximal photochemical efficiency of PS II and effective quantum yield of PS II totally appear the trend of firstly increasing and then decreasing and all are lower than those of the control at the middle and late periods of drought and flooding treatments. It is suggested that drought and flooding

收稿日期: 2014-05-28

基金项目: 江苏省基础研究计划(自然科学基金)项目(BK20130733); 江苏省科学技术厅产学研联合创新资金项目(前瞻性联合研究项目)(BY2012212); 土壤与农业可持续发展国家重点实验室开放基金项目(0812201226)

作者简介: 韦继光(1978—),男,广西都安人,博士,助理研究员,主要从事果树栽培生理研究。

<sup>①</sup>通信作者 E-mail: njyuhong@vip.sina.com

treatments have an obvious inhibition on growth and photosynthetic characteristics of 'Powderblue' and A47 seedlings, but there are a certain difference in change range of their growth and photosynthetic characteristics under conditions of drought and flooding stresses, and their sensitivity to drought stress is stronger.

**Key words:** blueberry (*Vaccinium* spp.); drought; flooding; growth index; gas exchange parameter; chlorophyll fluorescence parameter

蓝浆果 (*Vaccinium* spp.) 在中国的适栽区域属季风气候区, 该区域不同季节降水分布不均, 夏季降水量大且较为集中, 蓝浆果生长和果实品质常因夏季积水而受到影响<sup>[1-2]</sup>; 蓝浆果为浅根系植物, 根系集中分布在 0~20 cm 的土层内, 水平分布范围也较狭窄, 其生长极易受干旱影响。因而, 涝渍和干旱已经成为制约中国蓝浆果产业发展的因素之一, 筛选抗逆品种及开展抗逆栽培研究是解决这一问题的重要且有效的途径。对水分逆境条件下适宜北方地区栽培的蓝浆果品种已有较多研究<sup>[3-7]</sup>, 而对适合长江以南地区栽培的兔眼蓝浆果 (*Vaccinium ashei* Reade) 和南方高丛蓝浆果 (*V. corymbosum* hybrids) 的抗涝渍及抗干旱性能的研究尚不多见<sup>[8-10]</sup>。

品种‘粉蓝’(‘Powderblue’) 是中国南方推广种植面积较大的兔眼蓝浆果品种之一<sup>[11]</sup>, A47 是作者所在研究组选育的丰产性和生长势等表现较好的南方高丛蓝浆果品种‘南月’(‘Southmoon’) 的实生后代优选系<sup>[12]</sup>。作者以品种‘粉蓝’和优选系 A47 为试材, 对水分逆境条件下它们的生长及光合生理响应进行研究, 旨在为南方适栽蓝浆果抗逆品种的筛选及抗逆栽培技术研究提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料和处理

供试材料为兔眼蓝浆果品种‘粉蓝’和南方高丛蓝浆果品种‘南月’优选系 A47 的 1 年生扦插苗。在早春选取均匀一致的幼苗, 修剪根系及地上部后定植于直径 20 cm、高 20 cm 的塑料盆内, 每盆 1 株。盆栽基质为 V(红砂壤):V(泥炭):V(珍珠岩)=2:2:1 的混合基质, pH 5.3, 田间最大持水量 53%。定植后浇透水, 之后视土壤状况及时浇水, 使土壤含水量保持在田间最大持水量的 70% 左右。

实验在两面通风的遮雨棚中进行。于 7 月份开始进行水分处理, 设 3 组处理, 每处理 3 次重复, 每重

复 6 盆。处理 1 为对照 (CK), 盆底打孔并正常浇水, 使土壤含水量保持在田间最大持水量的 70% 左右, 直至实验结束; 处理 2 为干旱处理, 盆底打孔并从处理开始时停止浇水, 使土壤自然干旱, 直至实验结束; 处理 3 为淹水处理, 盆底不打孔, 从处理开始时保持盆中的水位在土面以上 2 cm, 直至实验结束。

### 1.2 方法

1.2.1 植株形态变化观测 于淹水和干旱处理 0、7、14、21、28 和 35 d, 从各处理中分别随机选取 9 株幼苗, 观察和记录植株叶色变化、枝梢萎蔫枯焦及脱落情况等。枝梢萎蔫枯焦植株比=(选定植株中出现枝梢萎蔫枯焦症状的植株数/全部观察植株数)×100%; 枯焦叶片比=(单株枯焦叶片数/单株叶片总数)×100%。

1.2.2 生长指标测定 在实验开始时(0 d)及结束时(35 d), 每个处理随机选取 3 株幼苗, 用卷尺(精度 0.1 cm)测量每一单株上所有当年生枝条的长度; 每一单株所有当年生枝条的长度之和即为枝长, 枝长增长量=处理结束时枝长-实验开始时枝长。完成枝长测量后, 每一单株按根、茎、叶分开, 于 105 °C 下杀青 20 min, 并置于 75 °C 下干燥至恒质量, 称量其干质量; 计算根冠比、植株增长量及相对生长速率(RGR)。根冠比=根系干质量/(茎干质量+叶干质量); 植株增长量=处理结束时单株总干质量-实验开始时单株总干质量;  $RGR = [\ln(DW_2) - \ln(DW_1)] / (t_2 - t_1)$ , 式中,  $DW_2$  为实验结束时单株总干质量(g);  $DW_1$  为实验开始时单株总干质量(g);  $t_1$  和  $t_2$  为处理时间(d)。上述各项指标均测定 3 株幼苗, 各 3 次重复。

1.2.3 光合特性测定 在处理 14 d(晴天), 于 8:30 至 11:00 用 LI-6400XT 气体交换系统(美国 LI-COR 公司)测定叶片净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)和蒸腾速率(Tr)等气体交换参数; 测定时内置光源光强为 1 200 μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>, 大气环境 CO<sub>2</sub> 浓度为(380±10) μmol·mol<sup>-1</sup>, 空气相对湿度 50%~60%。在处理 0、7、14、21、28 和 35 d 分别用

CCM-200 叶绿素测定仪(美国 OPTI-SCIENCES 公司)测定叶片叶绿素含量,通过波长 940 和 660 nm 处的吸光率计算出叶绿素含量指数(CCI)。在处理 0、7、14、21、28 和 35 d,使用 OS1p 便携式调制荧光仪(美国 OPTI-SCIENCES 公司)测定叶绿素荧光参数。每处理随机选取 3 株幼苗测定上述参数,各 3 次重复。

### 1.3 数据处理及统计分析

使用 EXCEL 2003 数据处理软件进行数据处理,用 SPSS 16.0 软件进行统计分析,应用 Duncan 新复极差法检验不同处理间的差异显著性。

## 2 结果和分析

### 2.1 水分逆境对植株生长的影响

2.1.1 对植株外观形态的影响 干旱处理 7 d,约 20% 的兔眼蓝浆果品种‘粉蓝’植株的叶片萎蔫枯焦,枯焦叶片比为 18%;干旱处理 14 d,40% 的‘粉蓝’植株枝梢萎蔫,枯焦叶片比为 25%;干旱处理 21 d,60% 的‘粉蓝’植株枝梢全部枯焦,40% 的植株仅叶片萎蔫枯焦;干旱处理 28 d,所有‘粉蓝’植株的地上部茎叶全部枯焦。淹水处理 7 d,‘粉蓝’植株无明显萎蔫,但新叶黄化;淹水处理 14 d,80% 的‘粉蓝’植株嫩梢萎蔫,50% 的植株出现老叶枯焦现象;淹水处理 21 d,所有‘粉蓝’植株叶片萎蔫枯焦,枯焦叶片比为 50%;淹

水处理 28 d,所有‘粉蓝’植株枝梢均萎蔫枯焦,枯焦叶片比达到 95%。

干旱处理 7 d,有 70% 的南方高丛蓝浆果品种‘南月’实生后代优选系 A47 植株的枝梢萎蔫枯焦,枯焦叶片比为 52.9%;干旱处理 14 d,80% 的 A47 植株枝梢枯焦,枯焦叶片比为 56.2%;干旱处理 21 d,所有 A47 植株的地上部茎叶全部枯焦。淹水处理 7 d,A47 植株无明显萎蔫症状,但新叶黄化;淹水处理 14 d,A47 植株尚未见明显的受害症状;淹水处理 21 d,所有 A47 植株的叶片萎蔫枯焦,枯焦叶片比为 50%;淹水处理 28 d,所有 A47 植株的枝梢均萎蔫枯焦,枯焦叶片比达到 98%。

2.1.2 对枝条生长的影响 干旱和淹水处理 35 d 对兔眼蓝浆果品种‘粉蓝’和南方高丛蓝浆果品种‘南月’优选系 A47 幼苗枝条生长的影响见表 1。由表 1 可见:‘粉蓝’幼苗的枝长和枝长增长量在干旱条件下分别比对照(CK)下降了 51.2% 和 56.9%,在淹水条件下分别比对照下降了 39.8% 和 44.2%,差异均达到显著水平。A47 幼苗的枝长和枝长增长量在干旱条件下分别比对照下降了 51.4% 和 57.1%,在淹水条件下分别比对照下降了 46.5% 和 51.7%,差异也达到显著水平。说明水分逆境均对‘粉蓝’和 A47 幼苗枝条的生长有明显的抑制作用,且干旱胁迫的抑制作用更强。

表 1 干旱和淹水处理 35 d 对兔眼蓝浆果品种‘粉蓝’和南方高丛蓝浆果品种‘南月’优选系 A47 幼苗枝条生长的影响( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 1 Effect of drought and flooding treatments for 35 d on branch growth of seedlings of cultivar ‘Powderblue’ of *Vaccinium ashei* Reade and superior strain A47 of cultivar ‘Southmoon’ of *V. corymbosum* hybrids ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

处理 Treatment	粉蓝 Powderblue		A47	
	枝长/cm Branch length	枝长增长量/cm Increment of branch length	枝长/cm Branch length	枝长增长量/cm Increment of branch length
对照 CK	220.47±10.53a	198.38±10.53a	262.17±22.89a	235.87±22.89a
干旱 Drought	107.50±11.82c	85.42±11.82c	127.50±15.17b	101.20±15.17b
淹水 Flooding	132.83±12.41b	110.75±12.41b	140.33±11.56b	114.03±11.56b

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示不同处理间差异显著( $P < 0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference ( $P < 0.05$ ) among different treatments.

2.1.3 对幼苗生长的影响 干旱和淹水处理 35 d 对兔眼蓝浆果品种‘粉蓝’和南方高丛蓝浆果品种‘南月’优选系 A47 幼苗生长的影响见表 2。由表 2 可见:‘粉蓝’幼苗的根系干质量、茎叶干质量、植株增长量及相对生长速率在干旱条件下分别比对照(CK)下降了 55.9%、60.3%、98.6% 和 98.5%,在淹水条件

下分别比对照下降了 71.5%、71.0%、117.8% 和 135.6%,差异显著。优选系 A47 幼苗的根系干质量、茎叶干质量、植株增长量及相对生长速率在干旱条件下分别比对照下降了 63.8%、64.8%、113.4% 和 125.2%,在淹水条件下分别比对照下降了 75.2%、71.9%、127.6% 和 155.3%,差异显著。‘粉蓝’和

表 2 干旱和淹水处理 35 d 对兔眼蓝浆果品种‘粉蓝’和南方高丛蓝浆果品种‘南月’优选系 A47 幼苗生长的影响( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>Table 2 Effect of drought and flooding treatments for 35 d on seedling growth of cultivar ‘Powderblue’ of *Vaccinium ashei* Reade and superior strain A47 of cultivar ‘Southmoon’ of *V. corymbosum* hybrids ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

样本 Sample	处理 Treatment	根系干质量/g Dry weight of root	茎叶干质量/g Dry weight of stem and leaf	根冠比 Root/shoot ratio	植株增长量/g Increment of plant growth	相对生长 速率/ $g \cdot g^{-1} \cdot d^{-1}$ Relative growth rate
粉蓝 Powderblue	对照 CK	3.79±0.40a	16.53±0.80a	0.23±0.02a	12.26±1.08a	0.03±0.00a
	干旱 Drought	1.67±0.28b	6.56±0.98b	0.26±0.03a	0.17±1.21b	0.00±0.00b
	淹水 Flooding	1.08±0.27b	4.80±0.94b	0.22±0.02a	-2.18±1.20c	-0.01±0.01c
A47	对照 CK	6.13±0.51a	19.74±1.10a	0.31±0.01ab	14.74±1.59a	0.02±0.00a
	干旱 Drought	2.22±0.59b	6.94±1.50b	0.32±0.02a	-1.98±2.09b	-0.01±0.01b
	淹水 Flooding	1.52±0.34b	5.55±0.95b	0.27±0.02b	-4.07±1.27b	-0.01±0.01b

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示同一样本不同处理间差异显著( $P<0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference ( $P<0.05$ ) among different treatments of the same sample.

A47 幼苗的根冠比在干旱条件下略高于对照,在淹水条件下则略低于对照,但均无显著差异。

## 2.2 水分逆境对叶片光合特性的影响

### 2.2.1 对叶片气体交换参数的影响

干旱和淹水处理 14 d 对兔眼蓝浆果品种‘粉蓝’和南方高丛蓝浆果品种‘南月’优选系 A47 幼苗叶片气体交换参数的影

响见表 3。结果表明:与对照(CK)相比,干旱和淹水处理 14 d,‘粉蓝’和 A47 幼苗叶片的净光合速率( $P_n$ )、气孔导度( $G_s$ )和蒸腾速率( $T_r$ )均显著下降;干旱和淹水处理对‘粉蓝’叶片的胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )及淹水处理对 A47 叶片的  $C_i$  均无显著影响,但干旱条件下 A47 叶片的  $C_i$  因非气孔限制显著高于对照。

表 3 干旱和淹水处理 14 d 对兔眼蓝浆果品种‘粉蓝’和南方高丛蓝浆果品种‘南月’优选系 A47 叶片气体交换参数的影响( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>Table 3 Effect of drought and flooding treatments for 14 d on gas exchange parameters of leaf of cultivar ‘Powderblue’ of *Vaccinium ashei* Reade and superior strain A47 of cultivar ‘Southmoon’ of *V. corymbosum* hybrids ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

样本 Sample	处理 Treatment	$P_n/\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	$G_s/mm ol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	$C_i/\mu mol \cdot mol^{-1}$	$T_r/mm ol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$
粉蓝 Powderblue	对照 CK	10.34±0.44a	194.30±19.22a	288.31±14.91a	5.23±0.45a
	干旱 Drought	0.79±0.26b	8.96±1.51b	237.31±34.37a	0.31±0.07c
	淹水 Flooding	2.28±2.35b	41.63±26.17b	301.79±39.02a	1.49±0.87b
A47	对照 CK	10.96±1.20a	193.55±61.67a	279.42±15.64b	5.88±1.33a
	干旱 Drought	-0.41±0.31c	6.80±1.72b	495.48±83.83a	0.30±0.07b
	淹水 Flooding	3.65±1.46b	35.24±12.87b	218.62±9.93b	1.43±0.47b

<sup>1)</sup>  $P_n$ : 净光合速率 Net photosynthetic rate;  $G_s$ : 气孔导度 Stomatal conductance;  $C_i$ : 胞间  $CO_2$  浓度 Intercellular  $CO_2$  concentration;  $T_r$ : 蒸腾速率 Transpiration rate. 同列中不同的小写字母表示同一样本不同处理间差异显著( $P<0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference ( $P<0.05$ ) among different treatments of the same sample.

### 2.2.2 对叶片叶绿素含量指数的影响

干旱和淹水处理对兔眼蓝浆果品种‘粉蓝’和南方高丛蓝浆果品种‘南月’优选系 A47 幼苗叶片叶绿素含量指数(CCI)的影响见表 4。由表 4 可见:随处理时间的延长,‘粉蓝’和 A47 幼苗叶片的 CCI 值呈逐渐下降趋势。干旱和淹水处理 0 和 7 d,‘粉蓝’和 A47 幼苗叶片的 CCI 值与对照均无显著差异。‘粉蓝’叶片的 CCI 值在干旱处理 14 d 时显著低于对照(为对照的 72.7%),在干旱处理 21 d 时与对照无显著差异,在处理 28 d 及以后则降至 0.0;淹水处理 14、21、28 和 35 d,‘粉蓝’叶片的 CCI 值均显著下降,分别为对照的 50.8%、52.1%、36.5% 和 27.9%。A47 叶片的

CCI 值在干旱处理 14 d 时显著降低(为对照的 70.0%)干旱处理 21 d 及以后则降至 0.0;在淹水处理 14、21 和 28 d, A47 叶片的 CCI 值均显著低于对照,分别为对照的 67.9%、53.3% 和 24.4%,处理 35 d 时其 CCI 值则降至 0.0。

### 2.2.3 对叶片叶绿素荧光参数的影响

干旱和淹水处理对兔眼蓝浆果品种‘粉蓝’和南方高丛蓝浆果品种‘南月’优选系 A47 幼苗叶片 PS II 最大光化学效率( $F_v/F_m$ )和 PS II 有效光量子产量[ $Y(II)$ ]的影响分别见表 5 和表 6。

由表 5 可见:随处理时间的延长,干旱条件下‘粉蓝’叶片的  $F_v/F_m$  值及干旱和淹水条件下 A47 叶片的

表4 干旱和淹水处理不同时间对兔眼蓝浆果品种‘粉蓝’和南方高丛蓝浆果品种‘南月’优选系A47叶片叶绿素含量指数(CCI)的影响( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 4 Effect of drought and flooding treatments for different times on chlorophyll content index (CCI) of leaf of cultivar ‘Powderblue’ of *Vaccinium ashei* Reade and superior strain A47 of cultivar ‘Southmoon’ of *V. corymbosum* hybrids ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

样本 Sample	处理 Treatment	不同处理时间叶片的CCI值 CCI value of leaf at different treatment times					
		0 d	7 d	14 d	21 d	28 d	35 d
粉蓝 Powderblue	对照 CK	21.2±2.4a	15.6±3.3a	21.6±2.0a	14.5±2.5a	17.4±3.0a	15.8±3.2a
	干旱 Drought	22.2±2.8a	12.9±3.7a	15.7±0.7b	12.8±1.6a	0.0±0.0c	0.0±0.0b
	淹水 Flooding	22.7±6.3a	12.2±3.1a	11.0±1.0c	7.6±1.9b	6.3±1.2b	4.4±4.2b
A47	对照 CK	21.0±2.6a	15.0±2.9a	21.4±2.8a	23.8±2.7a	29.9±3.4a	33.7±2.4a
	干旱 Drought	23.3±2.5a	14.0±0.3a	15.0±1.2b	0.0±0.0c	0.0±0.0b	0.0±0.0b
	淹水 Flooding	22.9±2.4a	14.6±3.2a	14.5±1.5b	12.7±2.4b	7.3±6.5b	0.0±0.0b

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示同一样本不同处理间差异显著( $P<0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference ( $P<0.05$ ) among different treatments of the same sample.

表5 干旱和淹水处理不同时间对兔眼蓝浆果品种‘粉蓝’和南方高丛蓝浆果品种‘南月’优选系A47叶片PS II最大光化学效率( $F_v/F_m$ )的影响( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 5 Effect of drought and flooding treatments for different times on the maximal photochemical efficiency of PS II ( $F_v/F_m$ ) of leaf of cultivar ‘Powderblue’ of *Vaccinium ashei* Reade and superior strain A47 of cultivar ‘Southmoon’ of *V. corymbosum* hybrids ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

样本 Sample	处理 Treatment	不同处理时间叶片的 $F_v/F_m$ $F_v/F_m$ of leaf at different treatment times					
		0 d	7 d	14 d	21 d	28 d	35 d
粉蓝 Powderblue	对照 CK	0.712±0.013a	0.769±0.012a	0.735±0.011a	0.713±0.003a	0.677±0.002a	0.793±0.003a
	干旱 Drought	0.704±0.007a	0.772±0.010a	0.721±0.025a	0.666±0.020ab	0.000±0.000c	0.000±0.000c
	淹水 Flooding	0.710±0.022a	0.772±0.001a	0.709±0.022a	0.591±0.077b	0.552±0.067b	0.726±0.057b
A47	对照 CK	0.708±0.010a	0.755±0.004a	0.730±0.015a	0.672±0.025a	0.565±0.022a	0.769±0.004a
	干旱 Drought	0.711±0.012a	0.762±0.003a	0.224±0.089c	0.000±0.000c	0.000±0.000b	0.000±0.000b
	淹水 Flooding	0.708±0.027a	0.755±0.003a	0.637±0.013b	0.445±0.082b	0.000±0.000b	0.000±0.000b

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示同一样本不同处理间差异显著( $P<0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference ( $P<0.05$ ) among different treatments of the same sample.

表6 干旱和淹水处理不同时间对兔眼蓝浆果品种‘粉蓝’和南方高丛蓝浆果品种‘南月’优选系A47叶片PS II有效光量子产量[ $Y(II)$ ]的影响( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 6 Effect of drought and flooding treatments for different times on effective quantum yield of PS II [ $Y(II)$ ] of leaf of cultivar ‘Powderblue’ of *Vaccinium ashei* Reade and superior strain A47 of cultivar ‘Southmoon’ of *V. corymbosum* hybrids ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

样本 Sample	处理 Treatment	不同处理时间叶片的 $Y(II)$ $Y(II)$ of leaf at different treatment times					
		0 d	7 d	14 d	21 d	28 d	35 d
粉蓝 Powderblue	对照 CK	0.623±0.051a	0.695±0.014a	0.607±0.034a	0.559±0.052a	0.622±0.031a	0.591±0.014a
	干旱 Drought	0.613±0.026a	0.711±0.006a	0.280±0.054c	0.155±0.018c	0.000±0.000c	0.000±0.000c
	淹水 Flooding	0.624±0.044a	0.689±0.017a	0.402±0.015b	0.248±0.028b	0.221±0.059b	0.399±0.113b
A47	对照 CK	0.403±0.016a	0.673±0.015a	0.609±0.027a	0.483±0.065a	0.475±0.036a	0.580±0.062a
	干旱 Drought	0.400±0.025a	0.682±0.004a	0.091±0.023c	0.000±0.000c	0.000±0.000b	0.000±0.000b
	淹水 Flooding	0.413±0.029a	0.676±0.012a	0.408±0.066b	0.154±0.017b	0.000±0.000b	0.000±0.000b

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示同一样本不同处理间差异显著( $P<0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference ( $P<0.05$ ) among different treatments of the same sample.

$F_v/F_m$ 值呈先升后降的趋势;淹水条件下‘粉蓝’叶片的 $F_v/F_m$ 值则呈先升后降再升的趋势。干旱和淹水处理0和7d,‘粉蓝’和A47叶片的 $F_v/F_m$ 值与对照均无显著差异。‘粉蓝’叶片的 $F_v/F_m$ 值在干旱处理14~21d时逐渐下降,但与对照无明显差异;处理

28d时则骤降至0.000。‘粉蓝’叶片的 $F_v/F_m$ 值在淹水处理14d时小于对照,但无显著差异;在处理21、28和35d时分别比对照下降了17.1%、18.4%和8.6%,差异显著。A47叶片的 $F_v/F_m$ 值在干旱处理14d时较对照下降69.3%,差异显著;处理21d及以

后,则降至 0.000。A47 叶片的  $F_v/F_m$  值在淹水处理 14 和 21 d 时分别比对照下降了 12.7% 和 33.8%, 处理 28 d 及以后则值降至 0.000, 差异均达到显著水平。

由表 6 可见:随处理时间的延长,干旱和淹水条件下‘粉蓝’和 A47 叶片  $Y(II)$  值的变化趋势与叶片的  $F_v/F_m$  值变化趋势一致。干旱条件下‘粉蓝’叶片的  $Y(II)$  值及干旱和淹水条件下 A47 叶片的  $Y(II)$  值均呈先升后降的趋势,淹水条件下‘粉蓝’叶片的  $Y(II)$  值则呈先升后降再升的趋势。干旱和淹水处理 0 和 7 d, ‘粉蓝’和 A47 幼苗叶片的  $Y(II)$  值与对照差异不显著。‘粉蓝’叶片的  $Y(II)$  值在干旱处理 14 和 21 d 时分别比对照下降 54.0% 和 72.2%, 在处理 28 d 及以后则降至 0.000, 均有显著差异;淹水处理 14、21、28 和 35 d, 其叶片的  $Y(II)$  值分别比对照下降 33.8%、55.5%、64.4% 和 32.6%, 也均有显著差异。A47 叶片的  $Y(II)$  值在干旱处理 14 d 时较对照下降 85.1%, 在处理 21 d 及以后则降至 0.000;淹水处理 14 和 21 d, A47 叶片的  $Y(II)$  值分别比对照下降 33.0% 和 68.2%, 处理 28 d 及以后则降至 0.000, 均有显著差异。

### 3 讨论和结论

从外观形态看,淹水对蓝浆果的危害表现为未成熟枝叶萎蔫、成熟叶片叶色变红或失绿、叶片脱落及枝梢干枯等<sup>[13]</sup>, 但不同蓝浆果品种(或品系)在相同水分逆境中<sup>[3,6]</sup>或同一品种(或品系)在不同水分逆境中<sup>[5]</sup>植株的外观形态变化不同。本研究中,兔眼蓝浆果品种‘粉蓝’在干旱处理 7 d 即出现叶片萎蔫枯焦症状,而此时淹水处理的植株尚无明显受害症状;随着胁迫时间的延长,受害症状加剧,干旱处理 28 d 时所有幼苗的枝叶均枯焦,但此时淹水处理的植株仍有少量叶片能维持正常生理功能。南方高丛蓝浆果品种‘南月’优选系 A47 在干旱处理 7 d 已出现明显的受害症状,而此时淹水处理的植株仅新叶黄化;干旱处理 21 d 时 A47 幼苗枝叶已全部枯焦,而此时淹水处理的植株才出现明显的受害症状。可见,在南京地区的气候条件下,品种‘粉蓝’和优选系 A47 均是在干旱条件下较早出现受害症状。随胁迫时间延长,干旱处理下‘粉蓝’幼苗的受害进程与淹水处理相比呈先慢后快的趋势;而干旱条件下 A47 幼苗的受害进

程则始终快于淹水处理。总体上看,干旱条件下品种‘粉蓝’和优选系 A47 幼苗的外观受害症状更重,对干旱胁迫的敏感性强于对淹水胁迫的敏感性。

水分逆境下,植物除了在外观形态上出现适应性变化外,其气体交换等生理过程也会对逆境作出相应的适应性响应。前人的研究结果<sup>[4-5,14-18]</sup>表明:水分逆境下蓝浆果叶片的气孔导度(Gs)降低、光合速率下降;叶绿素合成受阻、光合酶活性下降和光合构件损伤等非气孔限制因素也可抑制其光合作用<sup>[5,9]</sup>。本研究中,干旱和淹水处理 14 d, ‘粉蓝’和 A47 幼苗叶片的净光合速率(Pn)、气孔导度和蒸腾速率(Tr)显著低于对照。结合气孔导度和胞间 CO<sub>2</sub> 浓度的变化规律,可以认为干旱和淹水条件下‘粉蓝’和 A47 幼苗叶片光合能力下降是气孔限制因素和非气孔限制因素共同作用的结果;而淹水条件下非气孔限制因素是‘粉蓝’光合能力降低的主要原因,而气孔限制因素是 A47 光合速率降低的主要原因;干旱条件下则恰好相反。总体上比较,干旱胁迫对品种‘粉蓝’和优选系 A47 叶片气体交换能力的抑制作用较重。

叶绿素是光合作用中吸收传递光能的主要光合色素,其含量直接影响植物对光能的捕获效率,并进而影响光合产物的积累,最终对植株的生长产生抑制作用<sup>[19]</sup>。本研究结果显示:随胁迫时间延长,品种‘粉蓝’和优选系 A47 幼苗叶片的叶绿素含量指数(CCI)降幅增大,叶片光合能力不断降低,这与前人的研究结果一致<sup>[5,10]</sup>。干旱条件下,‘粉蓝’和 A47 幼苗叶片 CCI 值下降趋势为先慢后快,对于干旱胁迫早期植株维持一定的光合能力有积极作用;而淹水条件下则呈先快后慢的下降趋势,这对中长期胁迫过程中维持植株光合能力和抵抗逆境有利。

叶绿素荧光动力学技术是利用体内叶绿素荧光作为天然探针,快速无损探测研究植物光合生理状况及各种外界因子对其细微影响的新型活体测定和诊断技术<sup>[20-21]</sup>。本研究中,随胁迫时间的延长,‘粉蓝’和 A47 幼苗叶片的 PS II 最大光化学效率( $F_v/F_m$ )和有效光量子产量[ $Y(II)$ ]总体上呈先升后降的趋势,表明短时间水分逆境可激发二者叶片的 PS II 光化学活性;而随胁迫时间的延长及胁迫程度增强,二者叶片的 PS II 光合构件损伤加重,PS II 光化学活性的抑制程度加剧,光合性能持续降低甚至丧失光合能力。

水分逆境条件下,植物光合性能可因气孔限制和非气孔限制而下降,导致其生长发育所需的光合同化

产物减少,最终使植株生长减缓甚至饥饿死亡。本研究中,持续干旱和淹水处理 35 d 可显著降低品种‘粉蓝’和优选系 A47 的枝长、枝长增长量、根系和茎叶干质量、植株增长量以及相对生长速率,这与前人的研究结论一致<sup>[22-25]</sup>。淹水条件下二者的枝长及枝长增长量均高于干旱处理组,推测其原因是淹水条件下植株可存活较长时间并维持生长,但因呼吸作用消耗了大量的营养储备,因而淹水条件下二者的根系及茎叶干质量、植株增长量及相对生长速率下降幅度较大。干旱条件下‘粉蓝’和 A47 的根冠比略高于对照,而淹水条件下略低于对照,表明干旱处理可使植株将更多的资源配置给地下部根系,而淹水处理则使植株将更多的资源分配给地上部各器官。

#### 参考文献:

- [1] 顾 娟,贺善安. 蓝浆果与蔓越桔[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 419.
- [2] 於 虹,贺善安,顾 娟. 我国和世界蓝浆果的发展前景[J]. 植物资源与环境学报, 2001, 10(2): 52-55.
- [3] 吴 林,李亚东,张志东,等. 三种类型越桔在淹水逆境下生理及形态反应的比较[J]. 园艺学报, 1997, 24(3): 287-288.
- [4] 吴 林,李亚东,张志东,等. 三种类型越桔对干旱胁迫的生理反应[J]. 吉林农业大学学报, 1998, 20(2): 1-4.
- [5] 吴 林,李亚东,张志东,等. 淹水、干旱条件下北空越桔生理反应的研究[J]. 果树科学, 1998, 15(2): 137-140.
- [6] 吴 林,张志东,李亚东,等. 越桔耐涝品种的筛选[J]. 吉林农业科学, 2002, 27(2): 46-48.
- [7] 马琳娜,吴 林,刘海广. 水分胁迫下越橘品种“北陆”和“蓝丰”的生理反应[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(16): 8434-8435, 8461.
- [8] 张德巧,徐增莱,褚晓芳,等. 蓝莓叶片与抗旱性相关的解剖结构指标研究[J]. 果树学报, 2008, 25(6): 864-867.
- [9] 陈文荣,曾玮玮,李云霞,等. 高丛蓝莓对干旱胁迫的生理响应及其抗旱性综合评价[J]. 园艺学报, 2012, 39(4): 637-646.
- [10] 方品武,王 瑶,张群英,等. 干旱胁迫下蓝莓苗木抗旱指标的初步筛选[J]. 中国园艺文摘, 2012(11): 18-19.
- [11] 於 虹,顾 娟,贺善安. 我国南方地区越橘栽培现状及发展展望[J]. 中国果树, 2009(3): 68-72.
- [12] ZHANG D Q, YU H, JIANG Y Q, et al. Seedling selection of ‘Southmoon’ blueberry[J]. Acta Horticulturae (ISHS), 2009, 810: 65-70.
- [13] CRANE J H, DAVIES F S. Responds of rabbiteye blueberries to flooding[J]. Proceedings of the Florida State Horticultural Society, 1985, 98: 153-155.
- [14] DAVIES F S, FLORE J A. Flooding, gas exchange and hydraulic root conductivity of highbush blueberry[J]. Physiologia Plantarum, 1986, 67: 545-551.
- [15] DAVIES F S, FLORE J A. Short-term flooding effects on gas exchange and quantum yield of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei* Reade)[J]. Plant Physiology, 1986, 81: 289-292.
- [16] CAMERON J S, BRUN C A, HARTLEY C A. The influence of soil moisture stress on the growth and gas exchange characteristics of young highbush blueberry plants (*Vaccinium corymbosum* L.)[J]. Acta Horticulturae (ISHS), 1989, 241: 254-259.
- [17] ERB W A, DRAPER A D, SWARTZ H J. Combining ability for canopy growth and gas exchange of interspecific blueberries under moderate water deficit[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1991, 116: 569-573.
- [18] GLASS V M, PERCIVAL D C, PROCTOR J T A. Influence of decreasing soil moisture on stem water potential, transpiration rate and carbon exchange rate of the lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) in a controlled environment[J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2003, 78: 359-364.
- [19] 孙小玲,许岳飞,马鲁沂,等. 植株叶片的光合色素构成对遮阴的响应[J]. 植物生态学报, 2010, 34(8): 989-999.
- [20] KRAUSE G H, WEIS E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1991, 42: 313-349.
- [21] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, 16(4): 444-448.
- [22] DAVIES F S, JOHNSON C R. Water stress, growth, and critical water potentials of rabbiteye[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1982, 107: 6-8.
- [23] ABBOTT J D, GOUGH R E. Growth and survival of the highbush blueberry in response to root zone flooding[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1987, 112: 603-608.
- [24] CRANE J H, DAVIES F S. Flooding duration and seasonal effects on growth and development of young rabbiteye blueberry plants[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1988, 113: 180-184.
- [25] MINGEAU M, PERRIER C, AMÉGLIO T. Evidence of drought-sensitive periods from flowering to maturity on highbush blueberry[J]. Scientia Horticulturae, 2001, 89: 23-40.

(责任编辑: 张明霞)