

五种北高丛蓝莓对干旱胁迫的生理响应及其耐旱性评价

李根柱¹, 张自川¹, 郑云普², 娄鑫¹, 王贺新¹, 丁小艺³

(1. 大连大学 现代农业研究院, 辽宁 大连 116622; 2. 河北工程大学 水电学院, 河北 邯郸 056038;

3. 中国人民公安大学 侦察与反恐学院, 北京 102623)

摘 要:以“蓝丰”“大果蓝金”“公爵”“卡拉”“双迪”等5个常用北高丛蓝莓栽培品种为试材, 经过近45 d的培养, 进行干旱胁迫试验。设置干旱胁迫为浇透水后的第25天(水势为 (-0.10 ± 0.011) MPa)、第35天(水势为 (-1.98 ± 0.17) MPa)、第45天(水势为 (-2.97 ± 0.18) MPa)等3个水平为轻度、中度、重度胁迫水平及正常浇水对照(水势为 (-0.03 ± 0.003) MPa), 对照10 d左右浇1次水。测定了叶片相对含水量、电导率、脯氨酸、过氧化物酶(POD)、光合速率及荧光参数, 并采用隶属函数法综合评价5个品种的耐旱性。结果表明:随着干旱胁迫的加重, 5个品种叶片相对含水量呈现逐渐降低的趋势, 在重度干旱胁迫下, 5个品种叶片均显著失水, 但“公爵”和“大果蓝金”的情况较好, “蓝丰”和“卡拉”适中, “双迪”失水最快; 叶片电导率在轻度和中度胁迫下上升不明显, 但在重度胁迫时显著升高, 电导率大小依次是“双迪”>“卡拉”>“公爵”>“蓝丰”>“大果蓝金”; 脯氨酸含量随着胁迫程度加剧呈上升趋势, 中度和重度干旱时增幅较大, 大小排序是“卡拉”>“双迪”>“蓝丰”>“公爵”>“大果蓝金”; POD活性均呈先升后降趋势, 5个品种间POD活性差异显著, 轻度胁迫时差异性加大、重度胁迫下各个品种间差异变小, 且次序上发生了变化, 为“公爵”>“双迪”>“卡拉”>“蓝丰”>“大果蓝金”; 5个品种的光合速率随着干旱胁迫程度加剧呈明显下降趋势, 3种胁迫条件下的光合速率均与对照差异性显著, 重度胁迫与对照及轻度干旱胁迫均存在着显著差异; 在轻度和中度胁迫下5个蓝莓品种叶片的 F_v/F_m 降幅较小, 在重度胁迫时下降幅度明显。应用隶属函数法综合评价5个蓝莓品种的耐旱性强弱顺序为“公爵”>“卡拉”>“蓝丰”>“大果蓝金”>“双迪”。

关键词:北高丛蓝莓; 干旱胁迫; 脯氨酸; 过氧化物酶; 光合速率; 荧光参数

中图分类号:S 663.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)24-0010-05

蓝莓(*Vaccinium* spp.)属杜鹃花科(Ericaceae)越桔属(*Vaccinium*)小浆果植物, 其果实内所富有的花青素等抗氧化活性物质, 具有提高视力、抗衰老、抗肿瘤、治疗心血管和泌尿系统疾病等功效^[1-6], 极大地提高了其经济价值, 从而也促进了人工栽培的发展。

干旱胁迫为限制植物生长的最重要的环境胁迫因子^[7-9], 蓝莓为浅根系植物, 根系纤细不发达, 主根不明显, 无根毛, 不能吸收深层土壤水分, 因此它对土壤水分

要求较为苛刻, 更容易受到干旱的危害^[8]。蓝莓引入我国的时间较短, 对其在水分胁迫下的反应尚无系统的研究, 较其它果树而言, 蓝莓干旱逆境生理的相关研究较少。李亚东等^[8]研究了6年生组培繁殖越桔苗“北空”在淹水和干旱条件下的生理反应, 吴林等^[10]采用盆栽方法研究了矮丛越桔“美登”、半高丛越桔“北村”、高丛越桔“艾朗”3个国外引进品种对干旱胁迫的生理反应, 并比较了3个品种的耐干旱能力, 这是我国最早在蓝莓干旱生理方面的研究。陈文荣等^[11]以北高丛蓝莓中的“布里吉塔”“斯巴坦”以及南高丛蓝莓中的“夏普蓝”“奥尼尔”4个品种为材料, 在人工控水模拟水分胁迫条件下, 测定叶片生理生化指标的变化, 并对4个高丛蓝莓品种的抗旱性强弱进行了综合评价。上述研究丰富了蓝莓干旱生理研究的内容, 对我国高丛蓝莓的栽培有一定指导意义。然而, 尽管目前我国引进的蓝莓品种已多达300余

第一作者简介:李根柱(1965-), 男, 博士, 教授, 现主要从事小浆果研究等工作。E-mail: ligenzhu@126.com

基金项目:辽宁省自然科学基金资助项目(201602021); 辽宁省教育厅资助项目(L2013469); 辽宁省科技计划资助项目(2013204001)。

收稿日期:2016-07-26

种,但不同品种的耐旱能力存在很大差异,从生理特性角度探讨不同蓝莓品种对于干旱胁迫的响应有助于深入理解蓝莓植物抗旱的生理机制。该试验以 5 个北方高丛蓝莓为试材,研究其在干旱胁迫方面的生理响应并进行耐旱性评价,以期耐旱品种的筛选和培育提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

2015 年 5 月初选取北高丛蓝莓 5 个品种“蓝丰”“大果蓝金”“公爵”“卡拉”“双迪”的 2 年生休眠苗各 50 株,栽培在口径 33 cm 的塑料花盆中。

1.2 试验方法

由于蓝莓喜欢酸性土壤环境,生产中多使用草炭土栽培或改土,试验选取草炭土栽培基质,每个花盆中使用同等量的草炭土;所选草炭土 pH 4.56,栽培后放在顶棚玻璃防水的室内,四面通风处于自然环境下。

水分处理:在经过近 45 d 的培养后,开始控制水分。设置干旱胁迫为浇透水后的第 25 天(水势为 (-0.10 ± 0.011) MPa)、第 35 天(水势为 (-1.98 ± 0.17) MPa)、第 45 天(水势为 (-2.97 ± 0.18) MPa)等 3 个水平为轻度、中度、重度胁迫水平及正常浇水对照(水势为 (-0.03 ± 0.003) MPa),对照 10 d 左右浇 1 次水。使用 PE 膜完全覆盖在花盆土壤表面防止各个梯度的水分继续流失,维持水分梯度恒定。分别测量各处理的以下各项生理指标。

1.3 项目测定

蓝莓叶片相对含水量测定^[11]:取鲜叶,称鲜样质量,在蒸馏水中浸泡 24 h 后称其饱和鲜样质量。之后在 100~105 ℃下烘干,称其干样质量。相对含水量(%)=(鲜样质量—干样质量)/(饱和鲜样质量—干样质量)×100。

蓝莓叶片电导率测定^[11]:蓝莓叶片洗净后用打孔器打取圆片 10 片,置于洁净的刻度试管测定初电导值以及所用无离子水的空白电导值。之后将各试管盖塞封口,在沸水浴中 10 min 杀死组织细胞,冷却后测其终电导值。相对电导率(%)=(初电导值—空白值)/(终电导值—空白值)×100。

蓝莓叶片脯氨酸含量测定采用酸性茚三酮法^[12]。蓝莓叶片过氧化物酶(POD)测定采用愈创木酚法^[12]。

光合速率测定:使用 LI-6400XT 光合作用测量仪进行测量。CO₂ 浓度为环境自然浓度(约 400 mg·L⁻¹),光强设为 1 000 μmol·m⁻²·s⁻¹,温度设为 28 ℃,流速控制 500 mmol·mol⁻¹。选择当年枝条顶端叶片之下第 3~5 片成熟叶片测量^[13]。

荧光参数测定:利用 LI-6400XT 便携式光合测量系统及其配套的荧光叶室测定荧光参数,选择当年枝条顶

端叶片之下第 3~5 片叶子测量。使用荧光叶室夹住测量叶片,进行 30 min 的暗诱导,进行测量保存数据。每株测量 3 片叶取均值,每处理重复 3 次^[14]。

1.4 数据分析

采用 SPSS 20.0 处理分析试验数据;利用隶属函数法综合各项指标进行抗旱性评价^[15-16]。

2 结果与分析

2.1 蓝莓叶片相对含水量对于干旱胁迫的响应

由表 1 可知,随着水分胁迫程度的加强,蓝莓叶片的相对含水量呈逐渐降低趋势。在轻度干旱胁迫下,5 个品种的叶片相对含水量与对照差异均不显著;在中度干旱胁迫下,除“大果蓝金”外其它 4 个品种的叶片相对含水量与对照差异显著;在重度干旱胁迫下,5 个品种均与对照差异显著。

重度胁迫下“公爵”和“大果蓝金”2 个品种的叶片含水量较高,均值为 44% 和 43%，“双迪”最低,均值为 29%。从叶片失水情况来看,“公爵”和“大果蓝金”的情况较好,“蓝丰”和“卡拉”适中,“双迪”失水最快。

表 1 不同干旱处理对各品种的叶片
相对含水量的影响

Table 1 Effects of drought stress on the leaf relative water content (RWC) of blueberry cultivars

品种 Cultivar	干旱处理 Drought treatment			
	对照	轻度胁迫	中度胁迫	重度胁迫
“蓝丰”“Blue crop”	96±3a	89±5ab	80±11b	36±2c
“大果蓝金”“Big bluegold”	89±6a	88±3a	85±2a	43±2b
“公爵”“Duke”	93±2a	90±1a	74±6b	44±2c
“卡拉”“Carla”	96±3a	89±5ab	80±10b	36±2c
“双迪”“Shuangdi”	90±2a	87±6a	74±2b	29±2c

注:不同字母表示处理间 $P<0.05$ 时差异显著。下同。

Note: The different letters indicate significant difference among drought treatments in each cultivar at $P<0.05$. The same below.

2.2 蓝莓叶片电导率对于干旱胁迫的响应

干旱程度的加剧会造成植物的膜伤害,质膜透性增大,电导率值即可反映伤害程度,从而鉴定出植物的抗旱能力。由表 2 可知,轻度和中度胁迫下,各品种的电导率上升并不明显;重度胁迫下,各品种的增幅较大,存

表 2 不同干旱处理对各品种的叶片
电导率的影响

Table 2 Effects of drought stress on the leaf electrolytic conductivity (EC) of blueberry cultivars

品种 Cultivar	干旱处理 Drought treatment			
	对照	轻度胁迫	中度胁迫	重度胁迫
“蓝丰”“Blue crop”	21±4a	23±5a	29±2a	69±8b
“大果蓝金”“Big bluegold”	15±3a	16±4a	26±9a	53±3b
“公爵”“Duke”	14±3a	16±3a	18±2a	71±12b
“卡拉”“Carla”	16±2a	17±2a	17±1a	80±7b
“双迪”“Shuangdi”	13±2a	14±2a	21±4b	91±4c

在显著性差异。重度胁迫下 5 个品种的电导率大小依次是“双迪”>“卡拉”>“公爵”>“蓝丰”>“大果蓝金”，电导率越大表明植物受到的干旱伤害越严重。

2.3 蓝莓叶片脯氨酸含量对干旱胁迫的响应

由表 3 可知,5 个蓝莓品种的脯氨酸含量随着胁迫程度的加深呈上升趋势。在轻度胁迫时只有“公爵”与对照差异性显著,其它 4 个品种与对照的差异性并不显著;在中度和重度干旱时,增加的幅度较大,且均与对照差异性显著;重度干旱时脯氨酸含量是“卡拉”>“双迪”>“蓝丰”>“公爵”>“大果蓝金”。“卡拉”(对照)的脯氨酸含量比“双迪”(对照)低很多,但是在受到中度和重度胁迫时超过了“双迪”,可见“卡拉”对干旱胁迫的反应剧烈。

表 3 不同干旱处理对各品种叶片脯氨酸含量的影响

Table 3 Effects of drought stress on the leaf proline content of blueberry cultivars $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$

品种 Cultivar	对照	轻度胁迫	中度胁迫	重度胁迫
“蓝丰” “Blue crop”	50.84±1.48a	108.18±14.90a	265.04±23.34b	304.57±19.06c
“大果蓝金” “Big bluegold”	65.19±23.01a	126.08±28.90ab	168.60±44.79b	194.72±36.78b
“公爵” “Duke”	76.11±17.58a	148.52±23.12b	210.27±20.56c	302.71±19.56d
“卡拉” “Carla”	92.26±26.12a	135.03±28.59a	270.58±33.69b	382.43±86.75c
“双迪” “Shuangdi”	154.23±20.70a	149.32±29.84a	268.36±80.37b	327.37±12.56b

2.4 蓝莓叶片过氧化物酶(POD)活性对干旱胁迫的响应

在干旱胁迫初期 POD 活性的上升是蓝莓对逆境的一种保护反应,POD 保护酶系统在较高的活性水平能够防止了因逆境产生的毒害物质,减轻了由膜脂过氧化所引起的膜伤害,从而增加了机体的抵抗能力。由图 1 可知,经过干旱胁迫后 5 种蓝莓叶片的 POD 活性均呈先上升后下降的趋势。其中“蓝丰”“大果蓝金”“公爵”“卡拉”4 个品种的峰值均出现在轻度干旱处理期,“双迪”的峰值出现在中度干旱处理期。对照处理 5 个品种 POD

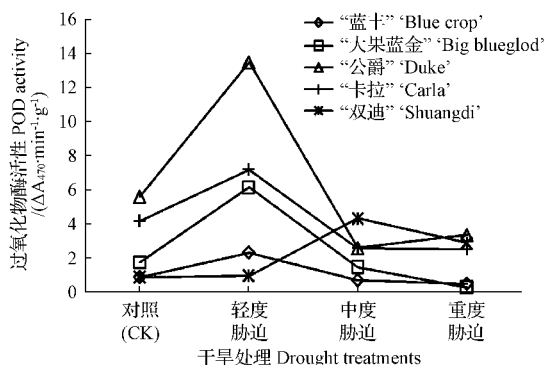


图 1 干旱处理下过氧化物酶活性变化
Fig. 1 Effects of drought stress on the leaf superoxidase activity of blueberry cultivars

活性存在差异,其活性排序为“公爵”>“卡拉”>“大果蓝金”>“蓝丰”>“双迪”,而峰值期活性排序依然是上述顺序,在重度干旱胁迫下各品种间差异变小且都有了明显下降。随着胁迫程度的加剧,POD 活性的下降明显,且除“双迪”外,其它 4 个品种都低于对照处理。

2.5 蓝莓光合速率对干旱胁迫的响应

由表 4 可知,不同处理下 5 个品种的光合速率随着干旱胁迫程度的加剧而呈下降趋势,轻度胁迫下蓝莓 5 个品种的光合速率与对照差异显著;中度胁迫下“蓝丰”“卡拉”“双迪”等 3 个品种与轻度干旱胁迫的差异性显著,而“大果蓝金”“公爵”2 个品种在中度胁迫下与轻度干旱胁迫的光合速率差异不显著;重度干旱胁迫下蓝莓 5 个品种均与对照及轻度干旱胁迫存在显著差异,而与中度干旱胁迫间的差异只有“大果蓝金”差异显著。干旱胁迫使果树的光合作用受到抑制,光合速率下降。

表 4 不同干旱处理对各品种叶片光合速率的影响

Table 4 Effects of drought stress on the leaf photosynthetic rates (P_n) of blueberry cultivars $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

品种 Cultivar	对照	轻度胁迫	中度胁迫	重度胁迫
“蓝丰” “Blue crop”	8.35±1.03a	5.14±1.46b	3.59±0.73c	2.66±1.81c
“大果蓝金” “Big bluegold”	10.28±2.33a	8.09±1.30b	5.83±1.26b	2.09±0.09c
“公爵” “Duke”	9.49±2.64a	5.31±0.92b	3.75±1.07bc	1.87±0.27c
“卡拉” “Carla”	9.25±0.63a	6.33±0.68b	3.67±1.33c	2.80±0.32c
“双迪” “Shuangdi”	7.78±1.04a	5.89±0.69b	2.31±0.13c	1.28±0.10c

2.6 干旱胁迫对 PSII 最大光化学量子产量 F_v/F_m 的影响

对于大多数植物而言, F_v/F_m 变化范围在 0.75~0.85,有的研究认为正常生长的植物 F_v/F_m 约为 0.83^[11],该试验所测得的数值符合这一规律。轻度和中度胁迫下,5 个蓝莓品种叶片 F_v/F_m 的降幅较小,只有在重度胁迫下, F_v/F_m 的下降幅度才明显,尤其是“双迪”品种呈现断崖式下降,说明了“双迪”这个品种在重度胁迫下的光合

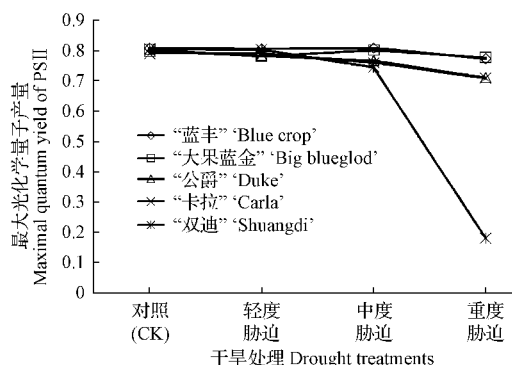


图 2 干旱处理下叶片 F_v/F_m 变化
Fig. 2 Change of leaf F_v/F_m under drought treatments

作用能力很快丧失。

2.7 蓝莓品种抗旱性综合评价

干旱胁迫对蓝莓各项生理指标综合作用的结果,表现为蓝莓植物的干旱胁迫抗性。应用隶属函数法对 5

表 5

不同蓝莓品种耐旱性综合评价

Table 5

Evaluation on drought resistance of different blueberry cultivars

指标 Index	“蓝丰” ‘Blue crop’	“大果蓝金” ‘Big bluegold’	“公爵” ‘Duke’	“卡拉” ‘Carla’	“双迪” ‘Shuangdi’
叶片含水量 Leaf water content	0.669 7	0.566 7	0.642 8	0.669 7	0.035 7
质膜透性 Plasma-membrane permeability	0.894 7	0.444 5	0.773 9	0.395 3	0.416 7
脯氨酸含量 Proline content	0.117 3	0.356 5	0.447 8	0.736 7	0.578 8
过氧化物酶 Superoxidase	0.043 8	0.201 8	0.880 1	0.613 0	0.462 5
光合速率 Photosynthetic rates	0.360 3	0.809 1	0.287 7	0.594 4	0.173 8
最大光化学量子产量 Maximal quantum yield of PSII	0.998 5	0.659 1	0.432 8	0.385 4	0.428 8
平均隶属度 Average membership	0.514 1	0.506 3	0.577 5	0.565 8	0.349 4

3 讨论与结论

研究发现,随着水分胁迫程度的加强,蓝莓叶片的相对含水量呈现逐渐降低趋势。水分胁迫下,叶片是外部形态中反应最敏感的器官。轻度干旱胁迫对蓝莓 5 个品种叶片含水量的影响不大;在重度干旱胁迫时对其有显著影响。在中度以下胁迫时,对蓝莓叶片电导率的影响不大,5 个品种的叶片电导率上升并不明显;在重度胁迫时,对蓝莓叶片电导率的影响不尽相同,各品种的叶片电导率存在显著性差异。

植物对水分亏缺的适应包括形态、生理以及亲水性渗透物质如糖及脯氨酸的积累等生化方面的变化^[17]。在干旱胁迫下植物体内会迅速积累脯氨酸,这些脯氨酸通过质量作用定律进行渗透调节,以维持细胞一定的含水量和膨压势^[18],从而增强植物的抗旱能力和抗逆性^[19-20]。各品种的脯氨酸含量随着胁迫程度的加剧呈上升趋势,其中以在中度和重度干旱处理时呈显著增加。

POD 是植物细胞内重要的保护酶之一,其活性越高,保护生物膜的作用就越强,抵御逆境损害的能力也越强^[21]。5 种蓝莓叶片的 POD 活性均呈先上升后下降的趋势,对照处理下的 5 个品种间的 POD 活性存在着差异,在轻度胁迫时差异性加大,而重度干旱胁迫下各品种间差异又变小。

5 个品种在正常情况下的光合速率大小次序为“大果蓝金”>“公爵”>“卡拉”>“蓝丰”>“双迪”,干旱处理下 5 个品种的光合速率均随着干旱胁迫程度的加剧而呈明显下降趋势,这与 MITTLER 等^[22]研究水分胁迫下植物叶片光合速率呈下降趋势相一致。光合速率在干旱胁迫时受到显著影响,其中以重度胁迫影响最为严重。在轻度和中度胁迫下 5 个蓝莓品种叶片的 F_v/F_m 受到影响较小,而在重度胁迫时受到显著影响。

5 个高丛蓝莓品种的各项生理指标在干旱胁迫下

个蓝莓品种的耐旱性进行综合评价,由表 5 可知,结果表明 5 个蓝莓品种的耐旱性强弱顺序分别为“公爵”>“卡拉”>“蓝丰”>“大果蓝金”>“双迪”。

都有所变化,在一定程度上反映了植物对干旱胁迫的调整适应。在干旱条件下,植物能维持较高的叶片含水量,表明植株的叶片持水力越强,细胞膜受到胁迫伤害的程度越小,抗旱性越强。在干旱胁迫中,植物体内脯氨酸含量增加越明显,可能就是受到的胁迫越严重。过氧化物酶活性高低直接反映了耐旱性的强弱,在逆境条件下 POD 活性出现先升后降的趋势^[23],这与该研究结果较一致。而光合速率和 F_v/F_m 的下降也是植物生命特征下降的指标,同样反映了干旱胁迫的严重程度。植物耐旱是一个复杂的生理生化过程,受到多种因素的影响,单独地使用一种指标很难反映其耐旱的本质,因此采用隶属函数法综合各项指标进行抗旱性评价^[15-16]。

该研究中干旱胁迫对蓝莓各项指标影响的结果表明,蓝莓对干旱胁迫的抗性是一个多种因素共同作用后所表现出的性状,根据上述 6 项指标应用隶属函数法评价 5 个蓝莓品种的耐旱性强弱顺序为“公爵”>“卡拉”>“蓝丰”>“大果蓝金”>“双迪”。

参考文献

- [1] YODIM K A, SHUKITT H B, MARTIN A, et al. Short-term dietary supplementation of blueberry polyphenolics: Beneficial effects on aging brain performance and peripheral tissue function[J]. Nutri Neuroscience, 2000(3): 383-397.
- [2] EHLENFELDT M K, PRIOR R L. Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and phenolic and anthocyanin concentrations in fruit and leaf tissues of high bush blueberry[J]. Agric Food Chem, 2001, 49: 2222-2227.
- [3] WEDGE D E, MEEPAGALA K M, MAGEE J B, et al. Anticarcinogenic activity of strawberry, blueberry, and raspberry extracts to breast and cervical cancer cells[J]. Medi Food, 2001, 4(1): 49-51.
- [4] 陈介甫, 李亚东, 徐哲. 蓝莓的主要化学成分及生物活性[J]. 药学报, 2010, 45(4): 422-429.
- [5] 魏伦收, 张娟娟, 康玉华, 等. 蓝莓花青素对大鼠胃癌 BGC-823 细胞的体外抑制作用[J]. 中药药理与临床, 2015, 31(6): 43-46.
- [6] 刘庆忠, 赵红军, 郑亚芹, 等. 高丛蓝莓微体繁殖技术研究初报[J]. 落叶果树, 2001, 35(5): 1-3.
- [7] 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.

- [8] 李亚东,吴林,张志东. 越橘(蓝莓)栽培与加工利用[M]. 长春:吉林科学技术出版社,2001:5-21.
- [9] 赵燕,李吉跃,刘海燕,等. 水分胁迫对5个沙柳种源苗木水势和蒸腾耗水的影响[J]. 北京林业大学学报,2008,30(5):19-25.
- [10] 吴林,李亚东,张志东,等. 三种类型越橘对干旱胁迫的生理反应[J]. 吉林农业大学学报,1998,20(2):1-4.
- [11] 陈文荣,曾玮玮,李云霞,等. 高丛蓝莓对于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.
- [12] 章家恩. 生态学常用研究方法与技术[M]. 北京:化学工业出版社,2007:74-77.
- [13] 李根柱,张自川,王贺新,等. 南高丛越橘四个品种的光合特性研究[J]. 北方园艺,2014(9):15-19.
- [14] 种培芳,李毅,苏世平. 干旱胁迫下不同地理种源蒙古沙拐枣光合及荧光特性比较[J]. 中国沙漠,2014,34(5):1301-1306.
- [15] 胡标林,余守武,万勇,等. 东乡普通野生稻全生育期抗旱性鉴定[J]. 作物学报,2007,33(3):425-432.
- [16] 张文娥,王飞,潘学军. 应用隶属函数法综合评价葡萄种间抗寒性[J]. 果树学报,2007(6):849-853.
- [17] HUR J, JUNG K H, LEE C H, et al. Stress inducible *OsP5CS2* gene is essential for salt and cold tolerance in rice[J]. *Plant Science*, 2004, 167: 417-426.
- [18] 朱虹,祖元刚,王文杰,等. 逆境胁迫条件下脯氨酸对植物生长的影响[J]. 东北林业大学学报,2009,37(4):86-89.
- [19] 汤章城,吴亚华. 高粱幼苗在水分胁迫下游离脯氨酸的累积及作用[J]. 植物生理学报,1989,15(1):105-110.
- [20] 刘娥娥,宗会,郭振飞,等. 干旱、盐和低温胁迫对水稻幼苗脯氨酸含量的影响[J]. 热带亚热带植物学报,2000,8(3):235-238.
- [21] 陈钰,郭爱华,姚月俊,等. 休眠期内不同杏品种枝条中 SOD、POD 酶活性的变化[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2008,28(1):49-50.
- [22] MITTLER R, ZILINSKAS B A. Regulation of pea cytosolic ascorbate per-oxidase and other antioxidant enzymes during the progression of drought-stress and following recovery from drought[J]. *The Plant Journal*, 1994, 5(3):397-405.
- [23] 徐叶挺,李疆,罗淑萍,等. 低温胁迫下野生巴旦杏抗寒生理指标的测定[J]. 新疆农业大学学报,2008,31(4):1-4.

Physiological Response to Drought Stress and Drought Tolerance Evaluation of Five North High-bush Blueberry Varieties

LI Genzhu¹, ZHANG Zichuan¹, ZHENG Yunpu², LOU Xin¹, WANG Hexin¹, DING Xiaoyi³

(1. Institute of Modern Agricultural Research, Dalian University, Dalian, Liaoning 116622; 2. School of Water Conservancy and Hydropower, Hebei University of Engineering, Handan, Hebei 056038; 3. School of Investigation and Antiterrorism, People's Public Security University of China, Beijing 102623)

Abstract: Five blueberry cultivars ('Blue crop', 'Big bluegold', 'Duke', 'Carla' and 'Shuangdi') were selected to control soil water content after growing in a greenhouse for 45 days to establish canopy. Three drought stress levels (mild drought stress, moderate drought stress, and severe drought stress) were set up by measuring soil water contents after the 25th ($\Psi = (-0.10 \pm 0.011) \text{ MPa}$), 35th ($\Psi = (-1.98 \pm 0.17) \text{ MPa}$) and 45th day ($\Psi = (-2.97 \pm 0.18) \text{ MPa}$), respectively. The control pots were watered once about 10 days ($\Psi = (-0.03 \pm 0.003) \text{ MPa}$). The leaf relative water content, conductivity, proline content and peroxidase (POD), photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence parameters were measured and meanwhile the anti-drought ability of the five varieties was evaluated with the membership function methods. The results showed that the leaf relative water content of the blueberry cultivars gradually decreased with the strengthening of drought stress and the leaves of the five varieties were significant water loss under severe drought, but 'Duke' and 'Big bluegold' were better than the other three varieties. The leaf conductance did not increased significantly under moderate drought, but was rising significantly under severe stress, the order was 'Shuangdi' > 'Carla' > 'Big bluegold' > 'Duke' > 'Blue crop'. Meanwhile, the proline content was also enhanced with the increased drought stress, and obviously increased in moderate and severe drought ('Carla' > 'Shuangdi' > 'Blue crop' > 'Duke' > 'Big bluegold'). However, the activity of POD activity shared a 'bell' ship curve with the increases of drought stress. There were significant differences among the POD activity of the five blueberry varieties, and severe stress between different varieties under the difference became smaller. The order of the POD activity change was 'Duke' > 'Shuangdi' > 'Carla' > 'Blue crop' > 'Big bluegold'. The photosynthetic rates of the five blueberry varieties were significantly decreased with the intensity of drought stress. The photosynthetic rate was significant different between the mild drought stress and control, and the photosynthetic rate under severe drought were significant differences with control and the mild drought stress. The leaf F_v/F_m had a smaller decline under mild and moderate stresses and significantly decreased in severe drought stress. The strength of drought resistance of the five blueberry varieties with membership function methods was 'Duke' > 'Carla' > 'Blue crop' > 'Big bluegold' > 'Shuangdi'.

Keywords: North high-bush blueberry; drought stress; proline; POD; photosynthetic rate; chlorophyll fluorescence parameters