

‘奥尼尔’和‘密斯梯’在湖北地区光合特性与动态果实品质研究

申 强^{1,2,3}, 田 野^{1,2,3}, 张晓婷^{1,2,3}, 祖 蕾^{1,2,3}, 王 颖^{1,2,3}, 吴 林^{1,2,3,4*}

(1. 吉林农业大学园艺学院, 长春 130118; 2. 吉林省蓝莓研究中心, 长春 130021; 3. 吉林省蓝莓产业化创新团队, 长春 130118; 4. 吉林省普蓝高科技, 长春 130021)

摘 要:对湖北随县安居镇越橘主栽品种‘奥尼尔’(O’neal)和‘密斯梯’(Misty)的光合生理特性和动态果实品质变化进行测定和分析。结果表明:‘密斯梯’叶绿素a、叶绿素b和总叶绿素含量高于‘奥尼尔’;‘奥尼尔’和‘密斯梯’光合速率日变化为双峰曲线,伴随明显的“光合午休”现象;‘奥尼尔’和‘密斯梯’光饱和点较高,对强光的利用效率高,‘密斯梯’光补偿点较低,表现出对光环境较强的适应能力;‘密斯梯’暗呼吸速率低于‘奥尼尔’,有机物质积累量大于‘奥尼尔’;‘密斯梯’果实生长发育期横、纵径显著大于‘奥尼尔’,蓝果期可溶性固形物含量显著大于‘奥尼尔’。

关键词:越橘;品种;光合生理;果实品质

中图分类号:S663.9

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2022)04-0108-05

The Study on Photosynthetic Characteristics and Dynamic Quality of the O’neal and Misty in Hubei Areas

SHEN Qiang^{1,2,3}, TIAN Ye^{1,2,3}, ZHANG Xiaoting^{1,2,3}, ZU Lei^{1,2,3}, WANG Ying^{1,2,3}, WU Lin^{1,2,3,4*}

(1. College of Horticulture, Jilin Agricultural University, Changchun 130118; 2. Blueberry Research Center of Jilin Province, Changchun 130021; 3. Jilin Province Blueberry Industry Innovation Team, Changchun 130118; 4. Jilin Pulan High-Tech Co., Ltd., Changchun 130021, China)

Abstract: The photosynthetic physiological characteristics and fruit dynamic quality changes of the main blueberry cultivars of O’neal and Misty were measured and analyzed in Sui County of Hubei Province. The results showed that the chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll of Misty was higher than O’neal. The diurnal variation of photosynthetic rate of O’neal and Misty was bimodal curve, with obvious "photosynthetic noon break". O’neal and Misty had higher LSP and better utilization efficiency of strong light. The LCP of Misty was low, and showed strong adaptability to the light environment. The respiratory rate of Misty was lower than that of O’neal, and the organic matter accumulation was higher than O’neal. The horizontal and vertical diameters of the fruit growth stage of Misty were significantly larger than O’neal, and the soluble solid content was significantly larger than O’neal at late development stage.

Key words: Blueberry; Cultivars; Photosynthetic physiology; Fruit quality

越橘为杜鹃花科越橘属多年生常绿或落叶灌木类小浆果树种^[1]。根据树种的树体特征和需冷量,将其分为兔眼越橘、南高丛越橘、北高丛越

橘、半高丛越橘、矮丛越橘等5大类群。我国越橘研究工作开始于1981年,1999年推向产业化种植^[2],形成长白山和大兴安岭产区、辽东半岛产区、胶东半岛产区、长江流域产区、华南产区和西南产区等6个主要栽培区。湖北随县位于长江以北淮河以南的南北交界处,区位优势突出,气候、土壤条件优势明显,冬季有一定的冷量,是国内最适宜栽培越橘的区域^[2]。

我国越橘研究始于吉林农业大学,目前正在品种选育、栽培生理、果实品质和产业经济等方面取得了一些成果^[2-5]。湖北越橘的研究工作

收稿日期:2019-12-25

基金项目:长春市科技发展计划项目地院(校、所)合作专项(18DY022);吉林省中青年科技创新领军人才及团队项目(20160519014JH);吉林省教育科学“十三五”规划课题(GH170250)

作者简介:申 强(1993-),男,在读硕士,主要从事果实品质评价与商品化研究。

通讯作者:吴 林,男,硕士,教授,E-mail: 310710966@qq.com

从2001年开始,秦仲麒、涂俊凡和杨夫臣^[6-11]等进行品种适应性、栽培技术、花粉活力和果实品质等方面的研究。在光合生理方面,吴思政等^[12]研究表明兔眼越橘梯芙蓝净光合速率日变化为单峰曲线,南高丛越橘库帕、北高丛越橘蓝丰和矮丛越橘美登为双峰曲线。徐德冰和康华靖等^[13-14]研究发现湖南地区和浙江地区‘奥尼尔’和‘密斯梯’的最大净光合速率、光饱和点和补偿点等光响应曲线参数值存在一定差异,但对湖北地区越橘光合生理特性和果实品质的研究少见报道。本文以湖北地区越橘主栽品种‘奥尼尔’和‘密斯梯’为试验材料,研究光合生理特性和果实品质,旨在了解掌握品种特性,并为该地区越橘产业化栽培提供理论依据。

表1 越橘树体生长状况

品种	株高(cm)	冠幅(南北)(cm)	冠幅(东西)(cm)	基生枝条数(个)
‘奥尼尔’	56.2667±1.5568	58.6667±3.2022	61.1333±7.6239	4.2000±0.2225
‘密斯梯’	84.0667±2.6770	71.0000±3.0999	76.5333±2.9534	4.6667±0.2702

注:数据为“平均值±标准误差”,下同

1.3 试验方法

叶样采集:2018年5月29日摘取结果枝组顶端第4~6节位上的叶片若干,用于叶片形态指标和叶绿素含量测定。

叶面积测定:将叶片平铺于A4纸上,用铅笔沿着叶缘精准画出叶形,用METTLER TOLEDO万分之一天平称量叶形纸质量,再称量已知面积的A4纸,计算叶面积,重复3次^[15]。

含水量和比叶质量:使用METTLER TOLEDO万分之一天平称量新鲜叶片质量,再将新鲜叶片置于电热鼓风干燥箱(GZX-94246MBZ)内烘干至恒重,根据叶片鲜、干质量和叶面积分别计算叶片含水量和比叶质量,重复3次。

叶绿素含量:准确称取新鲜叶样0.3 g,将叶样转入大试管中,加入10 mL乙醇-丙酮(1:1)浸提至叶片变白,Hanoni13紫外分光光度计645 nm和663 nm波长下测吸光度值,计算叶绿素a、叶绿素b和总叶绿素含量以及叶绿素a/叶绿素b,重复3次^[16]。

净光合速率(Pn)-日变化曲线:试验于2018年5月末到6月初(蓝果期)进行,选择晴朗无云的天气,使用CIRAS-2便携式光合仪,测定2个品种越橘结果枝顶端第4~6节位上的3片健康成熟叶片的Pn,测定时间为5:00~19:00,间隔2 h,重复3次。

净光合速率(Pn)-光响应曲线:使用CIRAS-2便携式光合仪固定红蓝LED光源,光合有效辐射

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于湖北省随县安居镇广济食品研究所基地(113°12′54″E, 31°46′2″N),年平均降水量865~1 070 mm,年平均气温15.5℃,年光照总数在2 009.6~2 059.7 h,无霜期220~240 d,土壤为黄棕壤土,地势平坦。

1.2 试验材料

试验材料为3年生南高丛越橘‘奥尼尔’(O’neal)和‘密斯梯’(Misty),定植时间为2017年5月,定植苗为2年生营养钵苗,2个品种分别选择长势一致的3株标准树,生长状况见表1。

(P_{A,R})梯度设置为1 400、1 200、1 000、800、600、400、300、200、100、50、0 μmol/(m²·s),于晴朗无云9:30~11:30,测定植株结果枝顶端第4~第6节位上的3片健康成熟叶片的Pn,重复3次^[17]。

果实品质:使用DL91150数显游标卡尺和LYT-330折光仪测定绿果期、白果期、白粉果期、粉蓝果期和蓝果期的果实纵、横径及可溶性固形物含量,重复30次(30粒果实)^[18-20]。

1.4 数据整理与分析

使用Excel 2016进行数据整理和作图,SPSS 16.0进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),以最小显著差异法(LSD)进行差异显著性比较,光合计算软件4.1(井冈山大学生命科学学院/数理学院)直角双曲线修正模型对光响应曲线实测数据进行拟合。

2 结果与分析

2.1 越橘叶片形态

‘奥尼尔’叶面积比‘密斯梯’高18.28%,比叶质量比‘密斯梯’低22.22%,均达到显著水平。2个品种越橘的叶片干质量和含水量之间差异不显著(表2)。

2.2 越橘叶片叶绿素含量

‘密斯梯’叶片叶绿素a、叶绿素b和总叶绿素含量显著高于‘奥尼尔’40.31%、49.73%和42.23%。‘奥尼尔’叶片叶绿素a/b较‘密斯梯’高7.17%,差异不显著(表3)。

表2 2个品种越橘叶片形态

品种	叶面积 (cm ²)	干质量 (g)	含水量 (%)	比叶质量 (g/cm ²)
‘奥尼尔’	14.5859±0.5109a	0.1447±0.0052a	40.9438±0.6655a	0.0099±0.0001b
‘密斯梯’	12.3315±1.3205b	0.1448±0.0057a	40.9250±0.3106a	0.0121±0.0016a

注：同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$),下同

表3 2个品种越橘叶片叶绿素含量

品种	叶绿素 a 含量 (mg/g)	叶绿素 b 含量 (mg/g)	叶绿素 a/b	总叶绿素含量 (mg/g)
‘奥尼尔’	1.2572±0.0338a	0.3241±0.0118a	3.8957±0.2344a	1.5814±0.0201a
‘密斯梯’	1.7640±0.0811b	0.4853±0.0225b	3.6349±0.0364a	2.2493±0.1032b

2.3 越橘光合生理特性

2.3.1 越橘 Pn-日变化

‘奥尼尔’和‘密斯梯’叶片 Pn 日变化均呈双峰曲线,‘密斯梯’叶片 Pn 日变化曲线的幅度高于‘奥尼尔’,说明‘密斯梯’叶片光合能力较强。2个品种叶片 Pn 日变化的第1个峰值均出现在 7:00~9:00,随后 Pn 下降,11:00~13:00 发生“光合午休”,第2个峰值均出现在 13:00~15:00,之后又继续下降,在 17:00~9:00 降至较低水平。

2.3.2 越橘 Pn-光响应曲线

当 $P_{A,R}=0\text{ }\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,对应的 Pn 为暗呼吸速率。随着 $P_{A,R}$ 上升,叶片加快对 CO_2 的吸收,当叶片吸收的 CO_2 与释放的 CO_2 相等,叶片 $P_n=0\text{ }\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,此时的 $P_{A,R}$ 为光补偿点 ($L_{C,P}$)。当 $P_{A,R}<400\text{ }\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,Pn 随 $P_{A,R}$ 的升高而迅速增加,二者为线性变化关系,Pn 增量与 $P_{A,R}$ 增量的比值为表观量子效率 ($A_{Q,Y}$)。当 $P_{A,R}>400\text{ }\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 时,Pn

的增长趋势变得相对缓慢,达到某一 $P_{A,R}$ 时,Pn 出现最高值即为最大净光合速率 ($P_{n,max}$),此时的 $P_{A,R}$ 为光饱和点 ($L_{S,P}$)。达到光饱和点后再增加 $P_{A,R}$,‘密斯梯’叶片 Pn 开始趋于平稳,‘奥尼尔’小幅度下降。

根据 2 个品种越橘叶片 Pn-光响应曲线计算得出表观量子效率 ($A_{Q,Y}$)、最大净光合速率 ($P_{n,max}$)、光饱和点 ($L_{S,P}$)、光补偿点 ($L_{C,P}$) 和暗呼吸速率 (R_d) 等参数值 (表 4)。“奥尼尔”和“密斯梯”叶片的最大净光合速率和表观量子效率的差异表现出一致性,可知 2 个品种越橘叶片光合潜力和对光的敏感度相似;‘奥尼尔’与‘密斯梯’叶片光饱和点和光补偿点差异显著,‘密斯梯’叶片光饱和点和点较‘奥尼尔’高 19.13%,光补偿点较‘奥尼尔’低 87.05%,可见‘密斯梯’叶片对强光和弱光的利用能力较好,光适应范围较宽。‘奥尼尔’叶片暗呼吸速率显著高于‘密斯梯’42.35%,说明‘奥尼尔’在呼吸生理活动中消耗的有机物相对较多,

表4 两个品种越橘光响应参数值

品种	$A_{Q,Y}$	$P_{n,max} [\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})]$	$L_{S,P} [\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})]$	$L_{C,P} [\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})]$	$R_d [\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})]$
‘奥尼尔’	0.0640±0.0033a	3.5075±0.7316a	862.3905±82.2739a	85.2740±9.8972a	3.2714±0.1680a
‘密斯梯’	0.0755±0.0053a	3.7987±0.2825a	1027.3828±85.7490b	45.5868±5.1072b	2.2981±0.4316b

‘密斯梯’相对较少。

2.4 越橘5个时期果实品质

从表 5 可以看出,整个果实发育期 2 个越橘品种果实横、纵径和可溶性固形物含量呈增长趋

势。其中,‘密斯梯’果实横、纵径显著大于‘奥尼尔’。绿果期‘奥尼尔’果实可溶性固形物含量显著高于‘密斯梯’,这种趋势持续到白果期,进入白粉果期,‘奥尼尔’比‘密斯梯’高 2.03%,关键性

表5 越橘5个时期果实品质

品种	绿果期			白果期			白粉果期			粉蓝果期			蓝果期		
	纵径 (mm)	横径 (mm)	固形物 含量 (%)	纵径 (mm)	横径 (mm)	固形物 含量 (%)	纵径 (mm)	横径 (mm)	固形物 含量 (%)	纵径 (mm)	横径 (mm)	固形物 含量 (%)	纵径 (mm)	横径 (mm)	固形物 含量 (%)
‘奥尼尔’	9.31±0.1474a	11.90±0.1626a	7.73±0.1398a	10.95±0.1296a	14.36±0.1198a	9.72±0.1607a	11.35±0.1143a	14.94±0.1469a	10.05±0.1387a	11.72±0.1359a	15.42±0.0964a	10.53±0.1533a	12.53±0.0979a	17.39±0.1872a	11.86±0.2162a
‘密斯梯’	11.21±0.1115b	14.98±0.1251b	6.78±0.1846b	12.50±0.1847b	16.08±0.2517b	8.92±0.2421b	13.10±0.1662b	16.99±0.1338b	9.85±0.1662a	13.23±0.1018b	17.41±0.1732b	10.60±0.2019a	13.90±0.1716b	18.87±0.2520b	12.96±0.2620b

变化发生在粉蓝果期,‘奥尼尔’比‘密斯梯’低0.66%,蓝果期‘奥尼尔’比‘密斯梯’低9.27%,差异显著。比较发现‘密斯梯’果实较大,风味较好。

3 讨论与结论

植物光合日变化曲线有单峰、双峰和三峰等三种类型,本研究发现‘奥尼尔’和‘密斯梯’光合速率日变化呈双峰曲线,伴随明显的“光合午休”现象,与前人的研究结果一致^[12-13, 11-20]。“光合午休”现象发生的原因有气孔限制因素和非气孔限制因素,前者是因为植物叶片气孔闭合引起,后者是叶肉细胞光合活性减弱引起^[21],判断是否由气孔限制因素导致光合速率下降需结合气孔导度和胞间二氧化碳浓度做进一步分析。

光饱和点和光补偿点是判别植物对不同强度光照利用能力的依据。相较‘奥尼尔’,‘密斯梯’光饱和点更高、补偿点更低,说明‘密斯梯’对强光和弱光均有较好的利用能力,光适应范围较宽。分析原因认为‘密斯梯’光合能力强由两方面因素导致,一是‘密斯梯’叶面积和比叶质量比‘奥尼尔’大,有研究表明植物叶面积大,比叶质量高,则光合能力强^[22-23]。二是‘密斯梯’叶片叶绿素a、叶绿素b和总叶绿素含量比‘奥尼尔’高,叶片的叶绿素含量越高,光合能力越强,且叶绿素a含量高有利于提升植物对强光的利用效率,叶绿素b含量高有利于提升植物对弱光的利用效率。本研究发现,‘奥尼尔’和‘密斯梯’光饱和点高于辽东半岛地区^[24]、浙江杭州地区^[25]和湖南长沙地区^[13],可见湖北地区‘奥尼尔’和‘密斯梯’对强光的利用能力较为突出。最大净光合速率可以反映植物自身的光合潜力^[19],‘奥尼尔’和‘密斯梯’的最大净光合速率值相差不大,但与其他地区相比较低。这可能是由于光响应曲线测定时间为9:30~11:30,较高温度下Rubisco活化酶会限制叶片光合潜力的发挥^[26]。本研究发现‘密斯梯’暗呼吸速率比‘奥尼尔’低,暗呼吸速率反映植物经呼吸作用消耗有机物质的量,说明黑暗条件下‘奥尼尔’呼吸活动中消耗的有机物较多,‘密斯梯’较少。有学者认为表观量子效率在0.04~0.07,植物生长势较强^[27],‘奥尼尔’和‘密斯梯’表观量子效率分别为0.06和0.07,呈现出旺盛的生长状态。

本研究中,蓝果期‘密斯梯’果实横、纵径和可溶性固形物含量均优于‘奥尼尔’。分析原因认为是‘密斯梯’光合能力强于‘奥尼尔’,可以形成

更多的碳水化合物,有利于果实品质形成,与王瑜等的研究一致^[28]。本研究‘奥尼尔’可溶性固形物含量高于陕西汉中(10.35%)、四川成都(11.30%~11.67%)、浙江杭州(10.43%)、浙江宁波(8.5%)、贵州黔北(9.8~10.6%),‘密斯梯’可溶性固形物含量高于上海(9.8%)、四川成都(12.93%)和湖南郴州(12.37%)^[29-30]。

综上所述,‘奥尼尔’和‘密斯梯’在湖北地区表现出良好的光合能力和果实品质,适于在该地区推广种植。

参考文献:

- [1] 勾天兵,韩 姣,杨瑞芹,等.蓝莓冻害研究进展[J].吉林农业科学,2015,40(6):101-103,107.
- [2] 吴 林.中国蓝莓35年—科学研究与产业发展[J].吉林农业大学学报,2016,38(1):1-11.
- [3] 吴 林.我国越橘栽培生理研究进展[J].吉林农业大学学报,2013,35(4):379-383,388.
- [4] 胡秋丽.不同越橘品种果实有机酸和香气成分差异性研究[D].长春:吉林农业大学,2017.
- [5] 马文汉.不同地区越橘园矿质营养状况研究[D].长春:吉林农业大学,2016.
- [6] 秦仲麒,刘先琴,李先明,等.兔眼越桔引种研究[J].中国南方果树,2006,35(4):49-51.
- [7] 涂俊凡,秦仲麒,李先明,等.湖北省适栽蓝莓品种及优质丰产栽培技术[J].农业科技通讯,2015(8):245-247.
- [8] 杨夫臣,秦仲麒,李先明,等.高丛蓝莓和兔眼蓝莓在湖北的引种试验[J].中国南方果树,2015,44(1):59-62.
- [9] 杨夫臣,秦仲麒,李先明,等.培养基组分及pH值对高丛越橘花粉萌发的影响[J].经济林研究,2015,33(3):122-125.
- [10] 杨夫臣,秦仲麒,李先明,等.早熟蓝莓“奥尼尔”在湖北孝感引种表现及栽培技术[J].中国南方果树,2017,46(6):145-147.
- [11] 杨夫臣,秦仲麒,涂俊凡,等.南高丛蓝莓“密斯蒂”在湖北的引种试验[J].中国南方果树,2016,45(6):131-132.
- [12] 吴思政,聂东伶,梁文斌,等.4个蓝莓品种光合特性的比较[J].经济林研究,2015,33(3):1-7.
- [13] 徐德冰,王雪松,熊喜红,等.湖南省主栽越橘品种光合特性的比较[J].中国农机化学报,2017,38(2):95-99.
- [14] 康华靖,余宏傲,叶朝军,等.温州地区主栽蓝莓品种叶片饱和光强的研究[J].热带亚热带植物学报,2018,26(4):399-406.
- [15] 徐德冰.云南丽江高海拔地区五个越橘品种光合特性和果实品质研究[D].长春:吉林农业大学,2017.
- [16] 成 果,陈立业,王 军,等.2种整形方式对‘赤霞珠’葡萄光合特性及果实品质的影响[J].果树学报,2015,32(2):215-224.
- [17] 宫中志.UV对不同时期蓝莓叶片光合作用和生理反应的影响[D].北京:北京林业大学,2016.
- [18] 吴 慧.越橘果实品质分析比较及透湿性反光膜和秸秆覆盖对其形成的影响[D].南京:南京农业大学,2011.

- [19] 王雪松,祖 蕾,申 强,等.长白山区主栽越橘品种光合特性及果实品质动态[J].东北林业大学学报,2018,46(5): 55-58.
- [20] 陈 薇,马怀宇,李亚东,等.三种栽培方式对越橘光合特性的影响[J].园艺学报,2008(9):1255-1260.
- [21] 许大全.光合作用气孔限制分析中的一些问题[J].植物生理学通讯,1997(4):241-244.
- [22] 李性苑,钟 程,田 鑫.3种兔眼蓝莓品种光合特性的比较[J].凯里学院学报,2018,36(6):56-59.
- [23] 陈华蕊,陈业渊,高爱平,等.芒果叶绿素含量、比叶重与光合速率关系的研究[J].西南农业学报,2010,23(6):1848-1850.
- [24] 李根柱,张自川,王贺新,等.南高丛蓝莓6个品种的光合特征[J].中国南方果树,2014,43(2):17-21.
- [25] 刘兆玲,温国胜,胡 莉.3个蓝莓品种光合特性的比较研究[J].中国南方果树,2011,40(5):59-61.
- [26] Kim K,Portis A R.Temperature dependence of photosynthesis in arabidopsis plants with modifications in rubisco activase and membrane fluidity[J].Plant and Cell Physiology,2005,46(3): 522.
- [27] 蒋高明,常 杰,高玉葆,等.植物生理生态学[M].北京:高等教育出版社,2004:65-67.
- [28] 王 瑜,向青云,吴亚维,等.贵州中部地区苹果的光合特性及其对产量和品质的影响[J].园艺学报,2010,37(6): 984-990.
- [29] 毛鹏娟.不同品种蓝莓在陕西的引种试验[D].杨凌:西北农林科技大学,2016.
- [30] 邱 霞,李 苑,毛富平,等.成都地区主栽蓝莓品种果实的形态特征及品质分析[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2017,43(5):524-528.

(责任编辑:王 昱)

(上接第78页)

- [22] Vogt T. Phenylpropanoid Biosynthesis[J]. Molecular Plant, 2010, 3(1): 2-20.
- [23] Tonnessen B W, Manosalva, P, Lang J M, et al.Rice phenylalanine ammonia-lyase gene *OsPAL4* is associated with broad spectrum disease resistance[J]. Plant Molecular Biology,2014, 87(3): 273-286.
- [24] Peter M G. Chemical modifications of biopolymers by quinones and quinone methides[J]. Angewandte Chemie International Edition, 1989, 28(5): 555-570.
- [25] Qin X J, Xiao H M, Xue C H, et al. Biocontrol of gray mold in grapes with the yeast *Hanseniaspora uvarum* alone and in combination with salicylic acid or sodium bicarbonate[J]. Postharvest Biology and Technology, 2015, 100(100): 160-167.
- [26] Quiroga M, Guerrero C, Botella M A, et al. A tomato peroxidase involved in the synthesis of lignin and suberin[J]. Plant Physiology, 2000(122): 1119-1127.
- [27] Martinez C, Montillet S L, Bresson F, et al. Apoplastic peroxidase generates superoxide anions in cells of cotton cotyledons undergoing the hypersensitive reaction to *Xanthomonas campestris* pv. *malvacearum* race 18[J]. Molecular Plant-Microbe Interactions, 1998(11): 1038-1047.
- [28] Torres M A. ROS in biotic interactions[J]. Physiologia Plantarum, 2010(138): 414-429.
- [29] Apel K, Hirt H. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction[J]. Annual Review of Plant Biology, 2004(55): 373-399.
- [30] Hernández J A, Ferrer M A, Jimenez A, et al. Antioxidant systems and O₂(-)/H₂O₂ production in the apoplast of pea leaves. Its relation with salt-induced necrotic lesions in minor veins[J]. Plant Physiology, 2001(127): 817-831.
- [31] 张立峰,程 茁,丁 伟.复合微生物药肥对水稻秧苗几种抗逆酶活性的影响[J].东北农业科学,2016,41(4):49-52.

(责任编辑:王 昱)