

doi:10.11937/bfyy.20164656

## 不同土壤 pH 对蓝莓光合作用的影响

皇甫诗男, 高庆玉, 张丙秀, 魏媛媛, 张宇, 张昭

(东北农业大学园艺园林学院, 黑龙江 哈尔滨 150030)

**摘要:**以 3 年生盆栽蓝莓“北陆”“都克”“喜来”“伯克利”为试材, 采用硫磺粉调节土壤 pH, 测定不同土壤 pH 处理(pH 3.42、4.27、4.75、5.84、6.83)对 4 个蓝莓品种当年生枝条上叶片的光合作用及叶绿素荧光参数等叶片光合生理指标的影响, 为蓝莓大面积栽培于黑龙江省提供参考依据。结果表明: 4 个品种蓝莓叶片叶绿素含量及净光合速率(Pn)随着 pH 的升高呈先升高后降低趋势; 胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)呈相反趋势, 并在 pH 4.75 时达最佳值; 气孔导度(Gs)和蒸腾速率(Tr)无明显变化; 叶绿素含量以“伯克利”>“北陆”>“都克”, Pn 以“北陆”>“都克”>“伯克利”>“喜来”, “喜来”叶片的光合作用受土壤 pH 影响最大; 最大荧光(Fm)、可变荧光(Fv)、PSII 最大光化学量子效率(Fv/Fm)、实际光化学量子效率(ΦPSII)随着 pH 的升高呈先升高再降低变化趋势, 初始荧光(Fo)则相反, 先降低再升高。荧光参数测定结果表明, pH 3.42、6.83 时蓝莓叶片受到较大的光抑制, 此时蓝莓会将过多的光能以热能形式损失。综上所述, pH 4.75 最适宜蓝莓生长; 4 个品种的光合作用比较, “喜来”受土壤 pH 影响较大, “北陆”“都克”“伯克利”适应性强。

**关键词:** 蓝莓; 土壤 pH; 光合作用

**中图分类号:** S 663.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2017)13-0031-07

蓝莓是喜酸性土壤植物, 在 pH 4.0~5.5 的土壤中能正常生长<sup>[1]</sup>。光合作用是果树重要的生理过程之一, 光合作用效率与果实产量有着密切的关系, 蓝莓生长对土壤的要求较高, 只有土壤适宜生长, 才能有更好的光合作用。因此, 分析不同土壤 pH 的蓝莓叶片光合生理指标, 对蓝莓产业在黑龙江省的发展具有重要意义。光合作用是植物生长的基础, 也是其生命体征的反应, 光合作用强弱可作为判断植物对生长环境适应性的强弱, 而叶绿素含量和光合荧光参数是衡量植物光

合作用强弱的重要指标<sup>[2]</sup>。近年来我国关于蓝莓光合作用的研究已取得很大进展<sup>[3-4]</sup>。随着光合有效辐射强度的提高, 3 个蓝莓品种的净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)和气孔导度(Gs)增加, 胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)降低, 有利于同化 CO<sub>2</sub> 产生较多干物质, 增加蓝莓生物产量<sup>[5]</sup>。蓝莓净光合速率在最适宜温度条件下达最高<sup>[6]</sup>。前人研究过 4 个蓝莓品种的光合特性, 发现叶绿素含量越高其光合作用越强<sup>[7]</sup>。目前, 针对土壤 pH 对蓝莓光合作用影响的研究, 仅以南高丛蓝莓“薄雾”为试材进行了报道<sup>[8]</sup>, 对“北陆”“都克”“喜来”“伯克利”等多个蓝莓品种叶片光合作用及叶绿素荧光参数影响的研究尚鲜见报道。因此, 该试验测定分析了不同土壤 pH 对多个蓝莓品种光合生理的影响, 探讨不同蓝莓品种对土壤 pH 环境的生理适应性, 以为选择适宜在黑龙江省大面积栽培蓝莓提供参考。

**第一作者简介:**皇甫诗男(1993-), 女, 硕士研究生, 研究方向为果树栽培育种及生物技术。E-mail: 545531084@qq.com.

**责任作者:**高庆玉(1960-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为果树栽培及育种。E-mail: gaoqingyu@tom.com.

**基金项目:**公益性行业(农业)科研专项资助项目(201103037)。

**收稿日期:**2017-02-28

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试蓝莓品种为“北陆”(‘Northland’)、“伯克利”(‘Berkeley’)、“都克”(‘Duke’)和“喜来”(‘Sierra’),均为3年生盆栽苗,定植在东北农业大学园艺试验站。硫磺粉购自当地市场。

### 1.2 试验方法

试验于2015年6—8月进行,每个品种分别设5个土壤pH处理,分别记为T1、T2、T3、T4和T5(对照,CK),4次重复;施入的硫磺粉量分别为2.0、1.5、1.0、0.5、0 kg·m<sup>-3</sup>。施硫磺粉2个月后,测定各处理土壤pH(表1)。各处理管理措施严格一致。

表1 各处理土壤的pH

Table 1 Soil pH of different treatments

处理 Treatment	施硫量 Sulfur application/(kg·m <sup>-3</sup> )	pH
T1	2.0	3.42±0.39
T2	1.5	4.27±0.40
T3	1.0	4.75±0.26
T4	0.5	5.84±0.31
T5	0.0	6.83±0.21

### 1.3 项目测定

叶绿素荧光参数测定:每隔半个月测定一次,选择晴朗的09:00—11:00,选取生长一致的当年生枝条从上往下第4片无病虫害的成熟叶片,使用LI-6400XT光合作用测量仪选用开放式气路,测定各品种蓝莓的蒸腾速率(Tr)、净光合速率(Pn)、胞间CO<sub>2</sub>浓度(Ci)及气孔导度(Gs),计算平均值。16:00—18:30,使用LI-6400-09荧光叶室光合系统,黑暗处理待测蓝莓叶片20 min,测取F<sub>m</sub>、F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>、F<sub>o</sub>及F<sub>v</sub>,打开活化光将叶片光活化20 min,然后将其分别记录为F<sub>m</sub>′、F<sub>v</sub>′/F<sub>m</sub>′、F<sub>o</sub>′、F<sub>s</sub>。光合仪器将自动计算ΦPSⅡ。

叶绿素含量测定:取枝条顶端第5~9片生长良好、无病虫害的叶片,各品种不同土壤pH处取20片叶,洗净擦干剪成碎片,混合后参照AN-RON<sup>[9]</sup>的方法测定叶绿素含量。称量0.1 g待测样品,置于10 mL带刻度试管中,加入体积比为1:1的丙酮/无水乙醇提取液10 mL,置于黑暗环

境中浸提24 h,分别测A<sub>645</sub>和A<sub>663</sub>。按照丙酮法公式计算叶绿素总量。叶绿素总量(mg·g<sup>-1</sup>)=(8.05×A<sub>663</sub>+20.29×A<sub>645</sub>)V×10<sup>-3</sup>/W。

### 1.4 数据分析

试验数据以平均值±标准差表示,采用Excel 2013软件进行统计和绘制图表;采用SPSS 19.0软件进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同土壤pH对蓝莓叶片光合代谢的影响

#### 2.1.1 对叶绿素含量的影响

从图1可以看出,各品种蓝莓叶绿素含量随着土壤pH升高总体上呈先上升后下降变化趋势。“伯克利”的叶绿素含量以T3处理最高,为1.14 mg·g<sup>-1</sup>,分别比T2、T1、T4、T5处理高3.8%、21.0%、25.2%、30.6%;“北陆”的叶绿素含量以T3处理最高,为1.06 mg·g<sup>-1</sup>,分别比T2、T1、T4、T5处理高2.1%、17.1%、25.8%、30.5%;“都克”的叶绿素含量以T3处理最高,为1.02 mg·g<sup>-1</sup>,分别比T2、T4、T1、T5处理高0.8%、16.5%、18.5%、21.6%;“喜来”的叶绿素含量以T3处理最高,为0.80 mg·g<sup>-1</sup>,分别比T2、T4、T1、T5处理高26.3%、49.6%、61.9%、74.6%。其中,各品种的T3处理与T2处理差异不显著(P>0.05,下同),与T1、T5处理差异显著(P<0.05,下同),说明T3处理(pH 4.75的土壤)最适宜蓝莓生长。

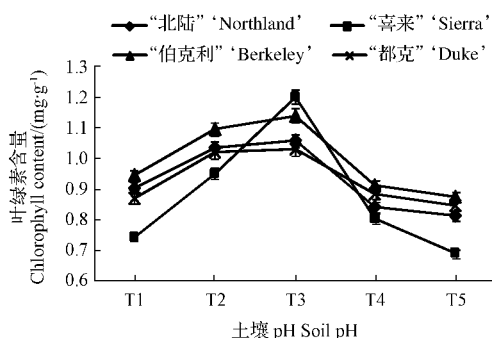


图1 土壤pH对蓝莓叶片叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effect of different soil pH on chlorophyll contents in blueberry leaves

#### 2.1.2 对光合指标的影响

由表2可知,随着土壤pH的升高,“北陆”

“喜来”“伯克利”的 Pn 变化趋势相同,均以 T3>T2>T4>T1>T5;4 个品种 Pn 排序为“北陆”>“都克”>“伯克利”>“喜来”。“北陆”以 T3 处理的 Pn 最高,为  $6.45 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,分别比 T2、T4、T1、T5 处理的 Pn 高 21.7%、47.7%、88.8%、110.7%,其中 T3 处理与 T2、T4 处理差异不显著,与 T1、T5 处理差异显著。“喜来”T3 处理的 Pn 最高,为  $5.18 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,分别比 T2、T4、T1、T5 处理高 18.81%、41.53%、60.37%、94.74%,其中 T3 处理与 T2 处理差异不显著,与 T1、T4、T5 处理差异显著。“伯克利”T3 处理的 Pn 最高,为  $5.01 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,分别比 T2、T4、T1、T5 处理高 7.28%、26.28%、39.17%、55.11%,其中 T3、T4 处理与 T2 处理差异不显

著,与 T1、T4 处理差异显著。“都克”的 Pn 变化趋势与前三者略有不同,Pn 从高到低的趋势为 T3、T2、T4、T5、T1 处理,T3 处理的 Pn 最高,为  $5.96 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,分别比 T2、T4、T5、T1 处理高 9.56%、29.00%、45.72%、79.52%,其中 T3 处理与 T2 处理差异不显著,与 T1、T4、T5 处理差异显著。

由表 2 可知,随着土壤 pH 的升高,4 个品种蓝莓叶片的 Ci 变化趋势不相同,其中“北陆”“喜来”和“都克”T1、T5 处理的 Ci 较高,T3、T2 处理的 Ci 较低;随着土壤 pH 的升高,4 个品种蓝莓叶片的 Gs 和 Tr 变化趋势均无相同变化规律,土壤 pH 对蓝莓叶片气孔导度(Gs)和蒸腾速率(Tr)影响较小。

表 2 土壤 pH 对蓝莓叶片 Pn,Gs,Ci 和 Tr 的多重比较  
Table 2 Multiple comparison of Pn,Gs,Ci and Tr in blueberry leaf under different soil pH

处理 Treatment	净光合速率 Net photosynthetic rate		气孔导度 Stomatal conductance		胞间 CO <sub>2</sub> 浓度 Internal CO <sub>2</sub> concentration		蒸腾速率 Transpiration rate	
		$/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$		$/(\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$		$/(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$		$/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$
“北陆” 'Northland'	T1	3.42c		0.124 4b		209a		6.551 7ab
	T2	5.30ab		0.119 5ab		174bc		6.535 9ab
	T3	6.45a		0.120 1ab		161c		6.591 6ab
	T4	4.37ab		0.108 3a		184b		6.408 7b
	T5	3.06c		0.116 3ab		198ab		6.771 4a
“喜来” 'Sierra'	T1	3.23b		0.112 4a		202a		6.218 2a
	T2	4.36ab		0.108 3a		184b		6.191 4a
	T3	5.18a		0.119 5a		175c		6.625 3b
	T4	3.66b		0.103 5a		192ab		6.121 1a
	T5	2.66c		0.093 7a		198ab		6.198 5a
“伯克利” 'Berkelay'	T1	3.60c		0.103 8a		189ab		6.208 1ab
	T2	4.67ab		0.108 6a		177c		6.412 6a
	T3	5.01a		0.100 3a		170c		6.288 7ab
	T4	3.97ab		0.106 6a		193a		5.895 3c
	T5	3.23c		0.100 2a		190ab		6.229 9ab
“都克” 'Duke'	T1	3.32c		0.098 7a		191a		6.038 1c
	T2	5.44ab		0.123 3b		182ab		6.788 1a
	T3	5.96a		0.116 8ab		163c		6.567 5ab
	T4	4.62b		0.111 3ab		180ab		6.228 6ab
	T5	4.09c		0.107 5a		185ab		6.255 7ab

注:同品种各处理数据后不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ )。  
Note:With varieties of processing data after the different lowercase letters mean significant difference( $P<0.05$ ).

2.2 土壤 pH 对蓝莓叶片叶绿素荧光参数的影响

2.2.1 土壤 pH 对蓝莓叶片初始荧光(Fo)的影响

从图 2 可以看出,随着土壤 pH 的升高,各品

种蓝莓叶片的 Fo 均呈先降低后升高的趋势。4 个品种之间 Fo 均在 T3 处理最低,T2、T4、T1、T5 处理逐次升高,“北陆”“喜来”“伯克利”“都克”最高 Fo 依次达到 194.55、159.49、187.20、167.13。“北陆”T3 处理 Fo 为 132.67,T2、T4、

T1、T5 处理分别升高 18.39%、35.83%、41.62%、46.64%，说明 T5 处理显著升高。“喜来”T3 处理  $F_o$  为 122.06，T2、T4、T1、T5 处理分别升高 3.03%、9.92%、23.92%、30.67%，说明 T5 处理显著升高。“伯克利”T3 处理  $F_o$  为 149.72，T2、T4、T1、T5 处理分别升高 3.49%、12.82%、20.24%、25.03%，说明 T5 处理显著升高。“都克”T3 处理  $F_o$  为 131.87，T2、T4、T1、T5 处理分别高出 3.33%、12.07%、19.03%、26.74%，说明 T5 处理显著升高。

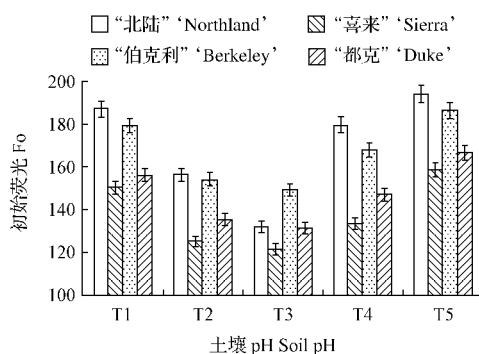


图2 土壤 pH 对蓝莓叶片初始荧光 ( $F_o$ ) 的影响

Fig. 2 Effect of different soil pH on  $F_o$  in blueberry leaves

## 2.2.2 土壤 pH 对蓝莓叶片最大荧光 ( $F_m$ ) 的影响

随着土壤 pH 的升高，4 个品种蓝莓叶片的  $F_m$  均呈先升高后降低的趋势。 $F_m$  为最大荧光，它的值反映的是光系统 II 中的电子传递状况，4 个品种之间  $F_m$  无明显差异。4 个品种均在 T3 处理  $F_m$  最高，T2、T4、T1、T5 处理依次降低。“北陆”T3 处理  $F_m$  为 781.03，T2、T4、T1、T5 处理分别降低 4.12%、10.66%、14.11%、25.29%，T3 与 T2、T4 处理差异不显著，与 T5 处理差异显著。“喜来”T3 处理  $F_m$  为 701.30，T2、T4、T1、T5 处理分别降低 8.28%、13.50%、15.41%、34.58%，T3 与 T2、T4、T1 处理差异不显著，与 T5 处理差异显著。“伯克利”T3 处理  $F_m$  为 759.30，T2、T4、T1、T5 处理分别降低 7.52%、12.37%、14.29%、14.44%，T3 与 T2 处理差异不显著，与 T1、T5 处理差异显著。“都克”T3 处理  $F_m$  为 697.84，T2、T4、T1、T5 处理分别降低 5.25%、13.67%、20.13%、23.42%，T3 处理与 T2 处理差异不显著，与 T5 处理差异显著。

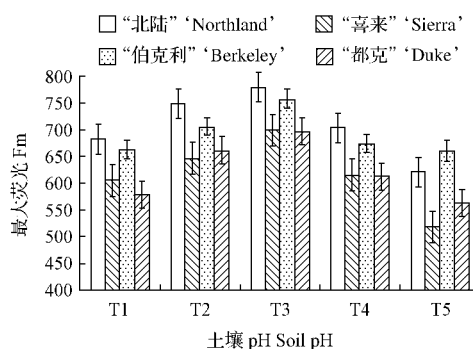


图3 土壤 pH 对蓝莓叶片最大荧光 ( $F_m$ ) 的影响

Fig. 3 Effect of different soil pH on  $F_m$  in blueberry leaves

## 2.2.3 土壤 pH 对蓝莓叶片可变荧光 ( $F_v$ ) 的影响

随着土壤 pH 的升高，4 个品种蓝莓叶片  $F_v$  均呈先升高后降低的趋势。 $F_v$  为最大可变荧光，4 个品种之间  $F_v$  无明显差异。4 个品种蓝莓均在 T3 处理时  $F_v$  最高，T2、T4、T1、T5 处理依次降低。“北陆”T3 处理  $F_v$  为 648.36，T2、T4、T1、T5 处理分别降低 9.33%、23.35%、30.57%、51.20%，T3 与 T2 处理差异不显著，与 T5 处理差异显著。“喜来”T3 处理  $F_v$  为 579.24，T2、T4、T1、T5 处理分别降低 10.98%、19.74%、26.91%、60.18%，T3 与 T2、T4 处理差异不显著，与 T1、T5 处理差异显著。“伯克利”T3 处理  $F_v$  为 609.58，T2、T4、T1、T5 处理分别降低 10.59%、20.29%、25.86%、27.98%，各处理间差异均不显著。“都克”T3 处理  $F_v$  为 565.97，T2、T4、T1、T5 处理分别降低 7.44%、21.42%、33.50%、42.10%，T3 处理与 T2 处理差异不显著，与 T5 处理差异显著。

## 2.2.4 土壤 pH 对蓝莓 $F_v/F_m$ 的影响

随着土壤 pH 的升高，4 个品种蓝莓叶片  $F_v/F_m$  均呈先升高后降低的趋势。 $F_v/F_m$  为 PSII 最大光化学量子效率，4 个品种之间  $F_v/F_m$  均无明显差异。4 个品种蓝莓均在 T3 处理时  $F_v/F_m$  最高，T2、T4、T1、T5 处理依次降低，各品种下降幅度不同。“北陆”T3 处理  $F_v/F_m$  为 0.83，T2、T4、T1、T5 处理分别降低 5.00%、11.47%、14.42%、20.68%，T3 处理与 T2 处理差异不显著，与 T5 处理差异显著。“喜来”T3 处理  $F_v/F_m$  为 0.83，T2、T4、T1、T5 处理分别降低 2.50%、

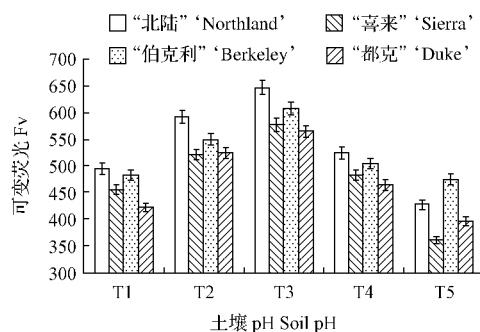


图 4 土壤 pH 对蓝莓叶片可变荧光(Fv)的影响

Fig. 4 Effect of different soil pH on Fv in blueberry leaves

5.50%、9.97%、19.02%，T3 处理与 T2、T4 处理差异不显著，与 T5 处理差异显著。“伯克利”T3 处理 Fv/Fm 为 0.80，T2、T4、T1、T5 处理分别降低 2.85%、7.04%、10.12%、11.83%，T3 处理与 T2、T4 处理差异不显著，与 T1、T5 处理差异显著。“都克”T3 处理 Fv/Fm 为 0.81，T2、T4、T1、T5 处理分别降低 2.08%、6.82%、11.13%、15.14%，T3 处理与 T2 处理差异不显著，与 T1、T5 处理差异显著。

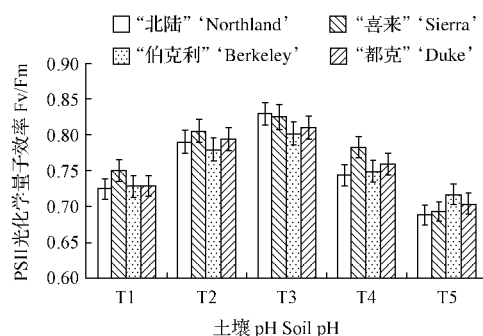


图 5 土壤 pH 对蓝莓叶片 PSII 光化学量子效率(Fv/Fm)的影响

Fig. 5 Effect of different soil pH on Fv/Fm in blueberry leaves

### 2.2.5 土壤 pH 对蓝莓叶片 $\Phi$ PSII 的影响

由图 6 可以看出，随着土壤 pH 的升高，4 个品种蓝莓叶片  $\Phi$ PSII 均呈先升高后降低的趋势。 $\Phi$ PSII(实际光化学效率)反映了 PSII 光合作用反应中心实际的光能捕捉效率，4 个品种之间  $\Phi$ PSII 均无显著差异。4 个品种蓝莓均在 T3 处理时  $\Phi$ PSII 最高，“喜来”“都克”T2、T4、T1、T5

处理依次降低，不同土壤 pH 下各品种下降幅度不同。“北陆”T3 处理  $\Phi$ PSII 为 0.21，T2、T4、T5、T1 处理分别降低 11.27%、53.22%、72.96%、74.79%，T3 处理与 T2 处理差异不显著，与 T1、T4、T5 处理差异显著。“喜来”T3 处理  $\Phi$ PSII 为 0.15，T2、T4、T1、T5 处理分别降低 11.61%、15.96%、30.46%、35.72%，T3 处理与 T2、T4 处理无差异，与 T1、T5 处理存在明显差异。“伯克利”T3 处理  $\Phi$ PSII 为 0.15，T2、T1、T4、T5 处理分别降低 7.13%、17.75%、19.93%、142.50%，T3、T2 处理之间无明显差异，T3、T5 处理之间存在明显差异。“都克”T3 处理  $\Phi$ PSII 为 0.23，T2、T4、T1、T5 处理分别降低 21.67%、43.13%、65.48%、77.44%，T3 处理与 T2 处理差异不显著，与 T1、T5 处理差异显著。

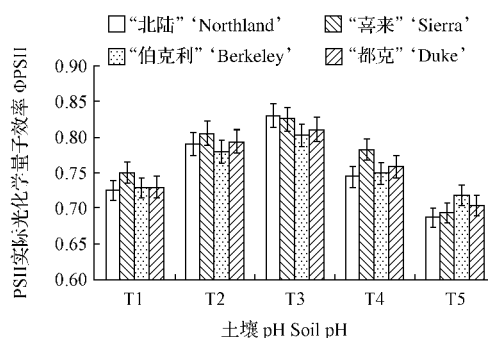
图 6 土壤 pH 对蓝莓叶片 PSII 实际光化学量子效率( $\Phi$ PSII)的影响

Fig. 6 Effect of different soil pH on  $\Phi$ PSII in blueberry

## 3 讨论

随着土壤 pH 升高，4 个蓝莓品种 T3 处理叶绿素含量最高，说明土壤 pH 较高和较低的处理，蓝莓叶片叶绿素含量都会降低。其中“喜来”叶绿素含量变化幅度最大，达到 74.6%，说明土壤 pH 对“喜来”叶片叶绿素含量的影响较大。不同 pH 培养液对观赏植物生长影响时表明适宜的 pH 范围内植株叶绿素含量较高，pH 降低或升高，叶绿素含量均呈下降趋势<sup>[10]</sup>。研究土壤 pH 对蓝莓生长及光合作用的影响发现，蓝莓适宜栽培的土壤 pH 范围为 4.5~5.5，pH 4.5 时叶绿素含量最高<sup>[11]</sup>，与该试验研究结果一致。

土壤 pH 对蓝莓叶片净光合速率(Pn)存在显著影响。“北陆”“喜来”“伯克利”“都克”4 个品种均在 T3 处理下净光合速率最高,分别为 6.45、5.18、5.01、5.96  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , T1、T5 处理净光合速率最低, T2、T3 处理与 T1、T5 处理存在显著差异,说明不适宜的土壤 pH 降低植物的净光合速率。总体来看净光合速率,“北陆”>“都克”>“伯克利”>“喜来”。对长春地区蓝莓 3 个种 17 个品种的净光合速率测定结果表明,不同种间净光合速率差异显著,相同种内部分品种间净光合速率差异显著,高丛蓝莓净光合速率显著高于半高丛蓝莓<sup>[12]</sup>,这一点在该研究中没有体现出来,可能是由于品种起源地、系统发育程度的不同所造成<sup>[13]</sup>。4 个品种蓝莓叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度(Ci)变化趋势不同,“北陆”“喜来”在 T1、T5 处理 Ci 较高, T3、T2 处理 Ci 较低,与净光合速率变化趋势相反,“伯克利”“都克”T2、T3 处理 Ci 也是处于最低水平,认为净光合速率与胞间  $\text{CO}_2$  浓度呈负相关关系<sup>[14]</sup>。FARQUHAR<sup>[15]</sup>研究表明,根据 Ci 的变化能够判断是气孔原因还是非气孔原因,如果光合速率减弱而 Ci 降低,那么就是气孔原因影响了光合作用;如果 Ci 升高,那么就是非气孔原因影响了光合作用。因此认为,该试验中蓝莓光合作用受到非气孔限制因素的影响。土壤 pH 对蓝莓叶片气孔导度(Gs)、叶片蒸腾速率(Tr)无显著影响。不同蓝莓品种叶片蒸腾速率随着土壤 pH 的变化趋势各不相同,该试验认为气孔导度和蒸腾速率可能不是研究植物对土壤 pH 适应性的可靠指标。

当植物生长环境不适宜时, Fo 将会增加, Fv/Fm 值也会发生变化<sup>[16]</sup>。该试验中,土壤 pH 对蓝莓叶片的 Fo、Fm、Fv、Fv/Fm 均有显著影响。T3 处理(pH 4.75)的 Fo 最低, T1 处理(pH 3.42)和 T5 处理(pH 6.83)的 Fo 较高; T3 处理的 Fm、Fv、Fv/Fm 值均最高,而 T1 处理和 T5 处理的 Fm、Fv、Fv/Fm 值均较低。“北陆”“喜来”“伯克利”和“都克”T1、T5 处理的 Fv/Fm 值均低于 0.75,且 4 个品种 Fo 增加幅度“北陆”>“喜来”>“都克”>“伯克利”。说明 T1、T5 处理对 4 个蓝莓品种叶片的 PSII 反应中心可能造成了可逆失活, pH 3.42、6.83 处理蓝莓叶片受到较大的光抑制。当植物受到光抑制时 Fv/Fm 值就会明

显降低<sup>[17]</sup>。土壤酸度对脂松苗木 Fo、Fm、Fv、Fv/Fm 有显著影响,土壤 pH 不适宜时 Fm、Fv、Fv/Fm 下降, Fo 升高,与该试验结果一致<sup>[18]</sup>。

$\Phi\text{PSII}$  反映的是 PSII 光合机构中心的开放程度,较高的  $\Phi\text{PSII}$  说明反应中心活性大,捕获的光能转化率较高,用来进行光反应和电子传递的光能较多。Fv/Fm 和  $\Phi\text{PSII}$  降低,光能过剩,受到光抑制或光破坏<sup>[19]</sup>。该试验结果表明, T3 处理  $\Phi\text{PSII}$  最高, T2 处理与 T3 处理差异不显著, T1、T5 处理  $\Phi\text{PSII}$  较低,说明 T2、T3 处理蓝莓光合能力较强, T1、T5 处理光合能力较弱,土壤 pH 对蓝莓 PSII 反应中心激发能的捕获效率和开放程度都产生了较大影响,导致 PSII 的能力降低,因此光合能力下降。

## 4 结论

不同土壤 pH 处理间蓝莓叶片叶绿素含量存在显著差异。pH 在 4.72~4.75,蓝莓叶绿素含量高;pH 小于 4.75 或大于 4.75 处理,叶绿素含量相对较低。整体来看叶绿素含量“伯克利”>“北陆”>“都克”,“喜来”叶片叶绿素含量受土壤 pH 影响最大。土壤 pH 对蓝莓叶片 Pn、Ci 有明显的影响。4 个品种蓝莓 Pn 排序为“北陆”>“都克”>“伯克利”>“喜来”。净光合速率与胞间  $\text{CO}_2$  浓度变化趋势相反,说明 Pn 与 Ci 呈负相关关系。土壤 pH 对蓝莓叶片的 Fo、Fm、Fv、Fv/Fm、 $\Phi\text{PSII}$  均有显著影响。当 pH 小于 4.27 或大于 4.75 时 Fo 值升高, Fm、Fv、Fv/Fm、 $\Phi\text{PSII}$  值均降低。荧光参数表明 pH 3.42、6.83 时蓝莓叶片受到较大的光抑制,此时蓝莓会将过多的光能以热能的形式散掉,一定程度上保护了光合机构。总体来说,蓝莓对酸性环境的适应性较强。在盆栽条件下,土壤 pH 4.27~5.84 时蓝莓植株可以正常生长,土壤 pH 4.27~4.75 时“北陆”“喜来”“伯克利”和“都克”的各项生理指标均处于良好水平,最适宜蓝莓生长。

## 参考文献

- [1] 李亚东,郝瑞,陈伟,等.越桔对长白山区酸性土壤的适应性[J].园艺学报,1994,21(2):129-133.
- [2] 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.

- [3] 孙山,李鹏民,刘庆忠,等.高冠蓝莓光合作用对若干因子的响应[J].园艺学报,2007,34(1):67-70.
- [4] 韦继光,於虹,曾其龙,等.蓝莓光合作用研究进展[J].果树学报,2014(6):67-70.
- [5] 贾晓鹰,吕国华.不同蓝莓品种光合特性的比较[J].石河子大学学报(自然科学版),2012,30(4):419-443.
- [6] 李根柱,张自川.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.
- [7] 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):1-6.
- [8] 宋雷,柏文富,梁文斌,等.土壤pH对蓝莓生长及光合作用的影响[J].湖南林业科技,2015,42(1):6-11.
- [9] ANRON D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts; Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*[J]. Plant Physiol, 1949, 24: 1-15.
- [10] 易海艳. 营养液 pH 值对观赏植物的影响[J]. 西安文理学院学报(自然科学版), 2012, 15(1): 66-68.
- [11] 宋雷,柏文富,梁文斌,等.土壤pH对蓝莓生长及光合作用的影响[J].湖南林业科技,2015,42(1):6-11.
- [12] 陈薇.温室、大棚、露地三种栽培模式下越橘光合特性研究[D].长春:吉林农业大学,2006.
- [13] 张国良,安连荣.柿幼树光合特性的研究[J].河北农业大学学报,2000,23(3):51-53.
- [14] 张栋.干旱胁迫对苹果光合作用和叶绿素荧光的影响及叶片衰老特性研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2011.
- [15] FARQUHAR G D. Carbon isotope discrimination and photosynthesis[J]. Annu Rev Plant Physiology, 1989, 40: 520-523.
- [16] JIANG H, HOWELL G S. Applying chlorophyll fluorescence technique to cold hardiness studies of grapevines[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 2002, 53(3): 210-217.
- [17] OGREN E, EVANS J R. Photoinhibition of photosynthesis *in situ* in six species of *Eucalyptus*[J]. Functional Plant Biology, 1992, 19(3): 223-232.
- [18] 刘爽,王庆成,刘亚丽,等.土壤酸度对脂松苗木光合和叶绿素荧光的影响[J].应用生态学报,2009,20(12):2905-2910.
- [19] 张黎萍,荆奇,戴廷波,等.温度和光照强度对不同品种类型小麦旗叶光合特性和衰老的影响[J].应用生态学报,2008,19(2):311-316.

## Effects of Different Soil pH on Photosynthesis of Blueberries

HUANGFU Shinan, GAO Qingyu, ZHANG Bingxiu, WEI Yuanyuan, ZHANG Yu, ZHANG Zhao

(College of Horticulture and Landscape Architecture, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030)

**Abstract:** The three-year-old blueberry of ‘Northland’ ‘Duke’ ‘Sierra’ ‘Berkeley’ were used as test materials, via potted method, using sulfur powder to adjust soil pH, photosynthesis and chlorophyll fluorescence parameters under annual branches leaves in different soil pH treatment (pH 3.42, 4.27, 4.75, 5.84, 6.83) determined. Photosynthetic physiological changes of blueberry leaf under different pH were studied, to provide theoretical guidance for the production of large-area cultivation of high quality blueberry to choose suitable pH of soil. The results showed that four species of chlorophyll content and photosynthetic rate ( $P_n$ ) firstly decreased then rised with pH increasing and intercellular  $CO_2$  concentration with counter trend, both achieved optimal value in T3 treatment, while no significant changes in stomatal conductance and transpiration rate. Chlorophyll content order was ‘Berkeley’ > ‘Northland’ > ‘Duke’, net photosynthetic rate order was ‘Northland’ > ‘Duke’ > ‘Berkeley’ > ‘Sierra’. Photosynthesis of ‘Sierra’ was most affected by soil pH.  $F_m$ ,  $F_v$ ,  $F_v/F_m$ ,  $\Phi PSII$  value were first up and then down with increase pH trends,  $F_o$  value showed the opposite trend. Fluorescence parameters showed blueberries blade subject to greater light suppression under pH 3.42 and pH 6.83, and too many blueberries energy dissipated as heat. Overall, the most appropriate growth of blueberries was pH 4.75. ‘Sierra’ was greatly influenced by soil pH, ‘Northland’ ‘Duke’ ‘Sierra’ and ‘Berkeley’ had greater adaptability.

**Keywords:** blueberries; soil pH; photosynthesis