

马久蓉,高松,闫明等.野生东北草莓与栽培草莓光合特性的比较[J].江苏农业科学,2018,46(5):132-134.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.05.035

# 野生东北草莓与栽培草莓光合特性的比较

马久蓉<sup>1</sup>,高松<sup>2</sup>,闫明<sup>1</sup>,李钧敏<sup>2</sup>

(1.山西师范大学生命科学学院,山西临汾 041004; 2.台州学院生态研究所/浙江省植物进化生态学与保护重点实验室,浙江台州 318000)

**摘要:**于 2017 年 4 月中旬晴朗天气,使用 Li-6400 便携式光合作用测定系统对野生东北草莓与栽培草莓“红颜”的光合作用日变化、光响应等参数进行测定。结果表明,春季全光照环境下,东北草莓与红颜草莓的净光合速率( $P_n$ )日变化呈“M”形双峰曲线,第 1 个峰值出现在 09:00,第 2 个峰值出现在 14:00,午间有明显的“午休”现象;胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )日变化与  $P_n$  日变化趋势大致相反,呈“W”形,中午  $C_i$  增加,表明净光合速率午间降低主要是受非气孔限制因素影响;气孔导度( $G_s$ )、蒸腾速率( $T_r$ )的日变化趋势与  $P_n$  较为一致;草莓叶片净光合速率-光强、净光合速率- $CO_2$  浓度可用直角双曲线修正模型来拟合。红颜草莓的初始量子效率( $\alpha$ )与东北草莓相近,最大净光合速率( $P_{nmax}$ )、光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)均高于东北草莓,表明红颜草莓对强光有更高的适应能力,更具有阳生植物的特点;东北草莓光合能力( $A_{max}$ )、初始羧化效率(CE)、饱和胞间  $CO_2$  浓度( $C_{isat}$ )、光呼吸速率( $R_p$ )均低于红颜草莓, $CO_2$  补偿点(CCP)高于红颜草莓,说明东北草莓对  $CO_2$  的利用效率相对较低,对低温环境有更好的适应性。

**关键词:**红颜;东北草莓;日进程;光合作用;响应参数;光合速率

**中图分类号:** S668.401 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)05-0132-03

我国地域辽阔,有着丰富的草莓资源。雷家军等通过多年观察发现了野生东北草莓(*Fragaria mandshurica* Staudt)<sup>[1-4]</sup>。东北草莓株丛生,新茎多,中心小叶呈长椭圆形;植株绒毛多,叶柄、匍匐茎上具直立白色绒毛;匍匐茎较细,数量较少;果实红色,圆锥形,香味极浓;种子绿色,并凸于果面,抗寒性强<sup>[4]</sup>。目前,除少量细胞遗传学研究<sup>[5]</sup>外,有关东北草莓的研究相对较少。

光合作用是植物最重要的生理功能<sup>[6]</sup>,是植物合成有机物质、获得能量的根本源泉<sup>[7]</sup>。叶片光合产物的形成由光合能力决定,并在不同品种间存在差异<sup>[8]</sup>。本试验以栽培草莓“红颜”为对照,分析野生东北草莓的光合生理特性,以探讨东北草莓可能的适应生境,为东北草莓的资源开发利用提供一定的理论依据。

## 1 材料与与方法

### 1.1 试验材料的培养

东北草莓种子采于东北省吉林市,2014 年 3 月萌发并于温室中培养,栽培基质为泥炭土:松树皮:蛭石:沙=4:2:2:1;红颜草莓幼苗,2016 年 3 月购于浙江台州某草莓合作社,并移栽于温室中培养。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 光合参数日进程

2017 年 4 月中旬,取东北草莓和

红颜草莓生长部位相同、冠层阳面、健康成熟的功能叶,采用 Li-6400 便携式光合作用仪测定其光合参数,测定前,调节仪器至草莓叶片的饱和光强与  $CO_2$  浓度,诱导 30 min;08:00—18:00,每隔 1 h 测定 1 次光合气体交换参数与环境因子,每次测定 3 张叶片,每张叶片重复记录 3 组数据,取平均值。测定的光合指标有净光合速率 [ $P_n$ ,  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ],蒸腾速率 [ $T_r$ ,  $\text{mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ],气孔导度 [ $G_s$ ,  $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ],胞间  $CO_2$  浓度 [ $C_i$ ,  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ ]等。

1.2.2 光响应曲线 使用自带红蓝光光源的 Li-6400 便携式光合作用仪,测定光合有效辐射强度(PAR)分别为 0、20、50、100、150、200、400、600、800、1 000、1 200、1 500  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  时的草莓叶片净光合速率,重复 3 次。 $CO_2$  浓度设置为 400  $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

1.2.3  $CO_2$  响应曲线 使用 Li-6400 便携式光合作用仪,测定  $CO_2$  浓度分别为 10、60、70、80、100、120、150、200、400、600、800、1 000、1 200、1 800、2 000  $\mu\text{mol}/\text{mol}$  时的草莓叶片净光合速率,重复 3 次。光照强度设置为 1 500  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

### 1.3 数据分析

采用植物光合作用对光响应的直角双曲线修正模型<sup>[9]</sup>对红颜草莓与东北草莓的各项光合指标进行分析,计算得到初始量子效率( $\alpha$ )、暗呼吸速率( $R_d$ )、最大净光合速率( $P_{nmax}$ )、光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)、初始羧化效率(CE)、光呼吸速率( $R_p$ )、光合能力( $A_{max}$ )、饱和胞间  $CO_2$  浓度( $C_{isat}$ )、 $CO_2$  补偿点(CCP)。采用 Excel 2010 软件对试验数据进行统计分析,采用 Origin 8.5 软件进行辅助作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 光合参数日进程

2.1.1  $P_n$  日变化 由图 1 可见,春季全光照环境下,野生东

收稿日期:2017-07-10

基金项目:国家自然科学基金(编号:31261120580)。

作者简介:马久蓉(1991—),女,硕士研究生,从事生态学专业研究。

E-mail:2513727225@qq.com。

通信作者:闫明,副教授,从事植物生态学研究,E-mail:mycorrhiza

@sina.com;李钧敏,教授,从事植物生态学研究,E-mail:lijmtz@

126.com。

北草莓和红颜草莓的叶片  $P_n$  日变化呈“M”形双峰曲线;08:00 时气温相对较低,光强相对较弱,其净光合速率也较低;随气温升高,光合有效辐射增强,09:00 时红颜草莓与东北草莓叶片  $P_n$  日变化出现第 1 个峰值,东北草莓、红颜草莓叶片净光合速率分别为  $9.01$ 、 $13.45 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;13:00 时  $P_n$  出现峰谷,说明东北草莓与红颜草莓叶片有光合“午休”现象;后随光合有效辐射、叶温下降,  $P_n$  在 14:00 时出现第 2 个峰值,东北草莓、红颜草莓叶片净光合速率分别为  $4.20$ 、 $14.86 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

2.1.2  $C_i$  日变化 植物胞间  $\text{CO}_2$  是光合作用的主要原料之一。由图 1 可见,野生东北草莓和红颜草莓的  $C_i$  日变化与  $P_n$  日变化趋势大致相反,呈“W”形;08:00 时,红颜草莓、东北草莓的  $C_i$  相对较高,分别为  $330.06$ 、 $322.95 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ;08:00—11:00,红颜草莓的  $C_i$  下降幅度大于东北草莓;11:00 时,由于净光合速率较大,  $C_i$  出现谷值,且红颜草莓的  $C_i$  值小于东北草莓;后  $C_i$  逐渐增大,13:00 时,出现 1 个峰值,东北草莓、

红颜草莓的  $C_i$  分别达到  $340.80$ 、 $289.39 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ;14:00—18:00,由于净光合速率不断降低,  $C_i$  出现上升趋势。

2.1.3  $G_s$  日变化 由图 1 可见,春季全光照环境下,野生东北草莓和红颜草莓的  $G_s$  变化趋势呈“M”形双峰结构,与净光合速率日变化趋势大致相同;09:00 时红颜草莓  $G_s$  达到最大,为  $0.31 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,东北草莓为  $0.21 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,与 08:00 时相差较小;随后 2 种草莓的  $G_s$  逐渐降低,11:00 时红颜草莓  $G_s$  出现谷值,并在 12:00 再次出现峰值,而东北草莓  $G_s$  在 12:00 出现谷值,15:00 再次出现峰值。

2.1.4  $T_r$  日变化 由图 1 可见,野生东北草莓和红颜草莓的  $T_r$  日变化呈“M”型双峰曲线,与  $P_n$  日变化趋势一致,第 1 个峰出现在 09:00,东北草莓、红颜草莓的  $T_r$  值分别为  $4.47$ 、 $6.01 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,第 2 个峰出现在 13:00,东北草莓、红颜草莓的  $T_r$  值分别为  $2.88$ 、 $8.42 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,后逐渐下降;东北草莓  $T_r$  日变化趋势较红颜草莓平缓。

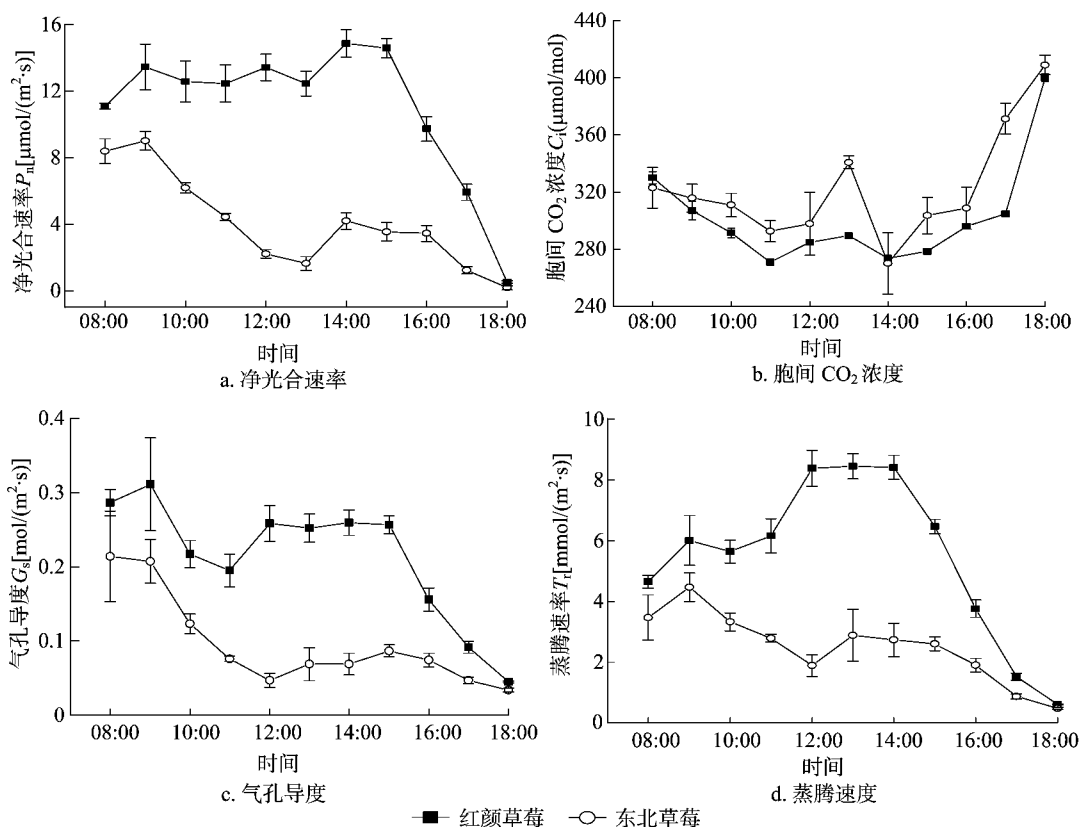


图1 红颜草莓与东北草莓叶片光合参数的日变化

## 2.2 光响应曲线

试验结果表明,红颜草莓与东北草莓的光合作用-光响应曲线拟合方程决定系数( $r^2$ )均达到 0.996 以上( $P < 0.01$ ),拟合光响应曲线见图 2;东北草莓的  $P_{\text{max}}$  为  $8.54 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,远低于红颜草莓的  $18.09 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ;东北草莓的 LSP、LCP、 $R_d$  分别为  $896.06$ 、 $24.04$ 、 $1.20 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,红颜草莓的 LSP、LCP、 $R_d$  分别为  $1322.92$ 、 $46.15$ 、 $2.83 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,均大于东北草莓;东北草莓的  $\alpha$  为 0.060,红颜草莓  $\alpha$  为 0.074,接近于东北草莓。

## 2.3 $\text{CO}_2$ 响应曲线

试验结果表明,红颜草莓与东北草莓的光合作用- $\text{CO}_2$

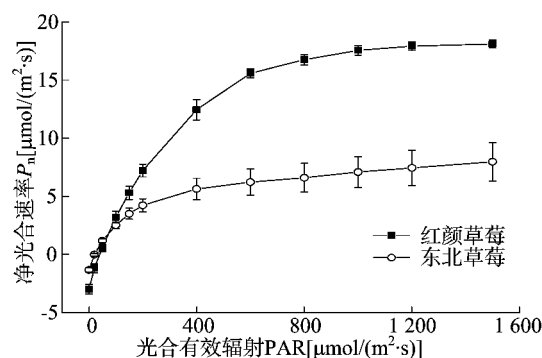


图2 红颜草莓和东北草莓的光响应曲线

响应曲线拟合方程决定系数 ( $r^2$ ) 均达到 0.996 以上 ( $P < 0.01$ ), 拟合  $\text{CO}_2$  响应曲线见图 3; 东北草莓  $A_{\max}$  为  $40.32 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , CE 为  $0.03 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 而红颜草莓  $A_{\max}$  为  $73.24 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , CE 为  $0.07 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 均高于东北草莓; 东北草莓  $C_{\text{isat}}$  为  $1\ 625 \mu\text{mol}/\text{mol}$ , 红颜草莓  $C_{\text{isat}}$  为  $2\ 390 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ; 东北草莓 CCP 为  $90.98 \mu\text{mol}/\text{mol}$ , 而红颜草莓 CCP 为  $88.95 \mu\text{mol}/\text{mol}$ , 低于东北草莓; 红颜草莓  $R_p$  为  $5.68 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 而东北草莓  $R_p$  为  $2.16 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

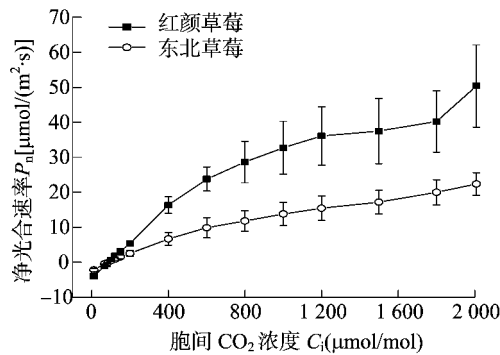


图3 红颜草莓和东北草莓的  $\text{CO}_2$  响应曲线

### 3 结论与讨论

光合“午休”是对炎热环境下有益的生态适应和自我调节机制<sup>[10]</sup>。本研究发现,东北草莓与红颜草莓叶片的净光合速率日变化呈“M”形双峰曲线,具有“午休”现象;13:00时,红颜草莓与东北草莓的叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度、气孔导度、蒸腾速率均升高,表明红颜草莓与东北草莓的“午休”现象主要由非气孔限制因素造成。与东北草莓相比,红颜草莓的总体光合能力相对较强,蒸腾速率高,说明红颜草莓的输导组织相对发达,生理活动代谢比较旺盛,进行光合作用时需水量相对较大,不适合在干旱或缺水的地区生长,比较适合在南方栽培<sup>[11]</sup>,而东北草莓抗旱性相对较强,比较适合北方栽种。

光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)分别代表植物可利用的光合有效辐射的上限与下限,体现植物对强光和弱光的利用能力和对光照条件的要求<sup>[12-14]</sup>,LCP、LSP较高的植物对光环境的适应性相对较强。红颜草莓的LSP、LCP、暗呼吸速率( $R_d$ )均大于东北草莓,说明红颜草莓能更好地适应高温与强光环境。表观量子效率反映植物对光能的利用效率,可以表示植物叶片把光能转化为净能量的能力<sup>[9]</sup>。红颜草莓初始量子效率与东北草莓接近,具有较高的LSP、LCP,说明与东北草莓相比,红颜草莓对光强的适应范围较大,并对强光有更高的适应能力,具有阳生植物的特点。

通常,光合能力( $A_{\max}$ )反映植物叶片的光合电子传递和磷酸化的活性<sup>[15]</sup>,初始羧化效率(CE)反映核酮糖-1,5-二磷酸羧化酶/加氧酶(Rubisco)的活性大小及含量多少<sup>[16]</sup>,而CE与Rubisco活性呈正相关<sup>[17]</sup>。红颜草莓的 $A_{\max}$ 与CE明显高于东北草莓,说明红颜草莓光合电子传递、磷酸化活性和

Rubisco活性高于东北草莓,其对 $\text{CO}_2$ 有更高的利用效率<sup>[15]</sup>。饱和胞间 $\text{CO}_2$ 浓度( $C_{\text{isat}}$ )反映植物利用高 $\text{CO}_2$ 浓度的能力; $\text{CO}_2$ 补偿点(CCP)反映植物光同化作用与呼吸消耗相当的 $\text{CO}_2$ 浓度<sup>[17]</sup>。东北草莓 $C_{\text{isat}}$ 、CCP低于红颜草莓,说明在较高的大气 $\text{CO}_2$ 浓度下,东北草莓的光合速率及光合活性不高,而红颜草莓在较低的 $\text{CO}_2$ 浓度下就能进行光合产物积累,且高 $\text{CO}_2$ 浓度下仍能保持较高的 $P_n$ 和光合磷酸化活性,较高的 $C_{\text{isat}}$ 、CCP、 $R_p$ 能使红颜草莓消耗过剩激发能来减轻夏季强光、高温对其造成的伤害,对高温环境有更好的适应性。

### 参考文献:

- [1]雷家军,杨高,代汉平,等.我国的草莓野生种质资源[J].果树科学,1997(3):198-200.
- [2]俞德浚.中国果树分类学[M].北京:农业出版社,1979:220-226.
- [3]中国科学院植物志编辑委员会.中国植物志(第37卷)[M].北京:科学出版社,1985:350-357.
- [4]雷家军,望月龙也,邓明琴.草莓属二倍体种东北草莓(*Fragaria mandshurica* Staudt)研究[J].果树学报,2001,18(6):337-340.
- [5]马鸿翔,陈佩度,余桂红,等.东北草莓×凤梨草莓种间杂种一代的细胞遗传学观察与RAPD分析[J].园艺学报,2007,34(3):597-604.
- [6]杨文.不同草莓品种光合特性的研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2016.
- [7]赵依杰,张小红,林航,等.二倍体与四倍体西瓜叶片若干生理指标比较[J].中国农学通报,2010,26(16):144-146.
- [8]陈年来,李庭红,王刚,等.甜瓜光合特性研究[J].兰州大学学报,2001,37(2):105-111.
- [9]叶子飘.光合作用对光和 $\text{CO}_2$ 响应模型的研究进展[J].植物生态学报,2010,34(6):727-740.
- [10]万素梅,贾志宽,杨宝平.苜蓿光合速率日变化及其与环境因子的关系[J].草地学报,2009,17(1):27-31.
- [11]张大鹏,黄丛林,王学臣,等.葡萄叶片光合速率与量子效率日变化的研究及利用[J].植物学报,1995(1):25-33.
- [12]柯世省,金则新,林恒琴,等.天台山东南石栎光合生理生态特性[J].生态学杂志,2004,23(3):1-5.
- [13]李桂祥,王长君,刘伟,等.燕红桃及其芽变岱妃桃的叶片参数与光合特性的比较[J].江苏农业科学,2016,44(6):241-244.
- [14]许殊.重庆市常见园林植物光合和生理生态特性[J].江苏农业科学,2016,44(8):281-285.
- [15]Coste S, Roggy J C, Imbert P, et al. Leaf photosynthetic traits of 14 tropical rain forest species in relation to leaf nitrogen concentration and shade tolerance[J]. Tree Physiology, 2005, 25(9):1127-1137.
- [16]张彦敏,周广胜.植物叶片最大羧化速率及其对环境因子响应的研究进展[J].生态学报,2012,32(18):5907-5917.
- [17]苏培玺,张立新,杜明武,等.胡杨不同叶形光合特性、水分利用效率及其对加富 $\text{CO}_2$ 的响应[J].植物生态学报,2003,27(1):34-40.