

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¹,高松²,闫明¹,李钧敏²

(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(α)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)^[1-4]。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^[4]。目前,除少量细胞遗传学研究^[5]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^[6],是植物合成有机物、获得能量的根本源泉^[7]。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^[8]。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

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。

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^[9]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(α)、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

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 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。

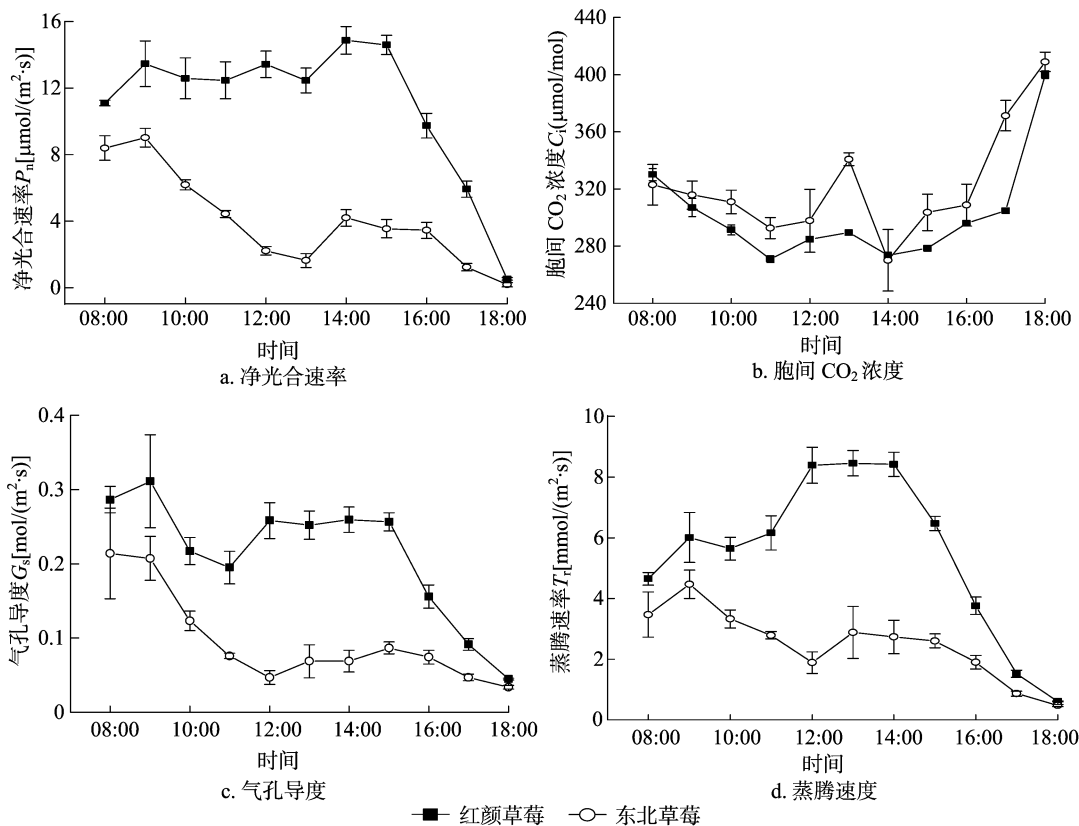


图1 红颜草莓与东北草莓叶片光合参数的日变化

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_{max} 为 $8.54 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,远远低于红颜草莓的 $18.09 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;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 α 为 0.060,红颜草莓 α 为 0.074,接近于东北草莓。

2.3 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- CO_2

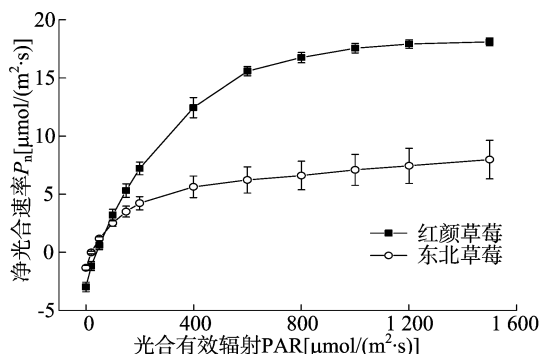


图2 红颜草莓和东北草莓的光响应曲线

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 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_{isat} 为 $1\ 625 \mu\text{mol}/\text{mol}$,红颜草莓 C_{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 $2.16 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

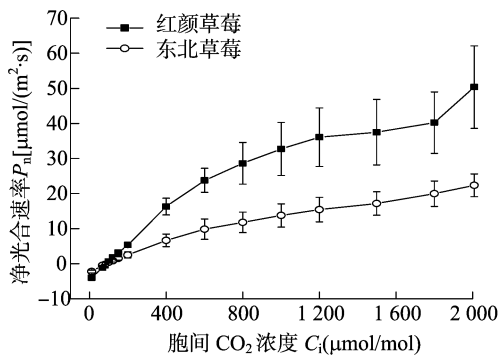


图3 红颜草莓和东北草莓的 CO_2 响应曲线

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^[10]。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 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^[11],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^[12-14],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^[9]。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^[15],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^[16],而 CE 与 Rubisco 活性呈正相关^[17]。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 CO_2 有更高的利用效率^[15]。饱和胞间 CO_2 浓度(C_{isat})反映植物利用高 CO_2 浓度的能力; CO_2 补偿点(CCP)反映植物光合同化作用与呼吸消耗相当的 CO_2 浓度^[17]。东北草莓 C_{isat} 、CCP 低于红颜草莓,说明在较高的 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 CO_2 浓度下就能进行光合产物积累,且高 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_{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,陈佩德,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 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 CO_2 的响应[J]. 植物生态学报,2003,27(1):34-40.