

徐苏婷, 陈露茜, 李钧敏. 二倍体与四倍体黄毛草莓的光合特性[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(5): 110-112.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.05.029

二倍体与四倍体黄毛草莓的光合特性

徐苏婷^{1,2}, 陈露茜², 李钧敏²

(1. 上海师范大学生命与环境科学学院, 上海 200234; 2. 浙江省植物进化生态学与保护重点实验室/台州学院生态研究所, 浙江台州 318000)

摘要:采用 LI-6400 便携式光合作用测定仪和 SPAD-502 叶绿素仪, 测定二倍体与四倍体黄毛草莓叶片的光合作用日变化、光响应及相对叶绿素含量等参数, 结果表明, 夏季全光照环境下, 黄毛草莓的净光合速率日变化呈“双峰”曲线, 有明显的“午休”现象; 1 天中四倍体黄毛草莓的最大净光合速率、气孔导度、蒸腾速率分别为 $4.15 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $0.088 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $3.92 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 分别比二倍体黄毛草莓高 43.6%、29.4%、16.0%; 胞间 CO_2 浓度的变化规律与净光合速率相反, 午间胞间 CO_2 浓度升高, 说明净光合速率午间降低主要是受非气孔限制因素的影响; 四倍体黄毛草莓的光响应曲线中光饱和点、光补偿点、暗呼吸速率这 3 个指标极显著大于二倍体黄毛草莓, 四倍体黄毛草莓的相对叶绿素含量极显著高于二倍体黄毛草莓 ($P < 0.01$)。因此, 四倍体黄毛草莓对光的适应性和光合作用能力强于二倍体黄毛草莓。

关键词:二倍体; 四倍体; 黄毛草莓; 日变化; 光合特性; 净光合速率; 叶绿素含量

中图分类号: S668.401 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)05-0110-03

自 1937 年 Blakeslee 和 Avery 用秋水仙素诱导出多倍体曼陀罗后, 全世界掀起多倍体育种热潮, 并获得了大量的农作物多倍体新品种^[1-2]。多倍体植物往往在叶片形态上有更大的叶型、更深的叶色、更厚的叶片、更发达的气孔和栅栏组织、更丰富的酶物质, 其抗病性和抗逆性也往往强于二倍体, 品质方面也比二倍体存在更多的优势, 近年来成为研究热点^[3]。

黄毛草莓 (*Fragaria nilgerrensis* Schlecht.) 为蔷薇科草莓属多年生二倍体草本植物, 原产于我国西南地区, 主要分布于我国陕西、湖北、四川、云南、湖南、贵州和台湾等省, 尼泊尔、锡金、印度东部及越南北部地区也有分布^[4]。黄毛草莓花期一般为 4—7 月, 果期为 6—8 月; 果实白色, 圆球形, 有香味, 味淡; 种子黄绿色, 极小, 凹陷; 宿存萼片紧贴于果实, 具有抗旱、耐高温、抗叶部病害等特点^[5-6]。本实验室通过秋水仙素诱导成功的四倍体黄毛草莓在形态上与二倍体黄毛草莓相比, 具有叶片变大、变宽、叶片增厚、叶色变深等特点, 而目前有关二倍体黄毛草莓与四倍体黄毛草莓光合作用的差异未见报道。本研究通过比较分析二倍体与同源四倍体黄毛草莓叶片的光合指标、叶绿素含量等生理指标, 了解二者的光合特性差异及环境因子对光合特性的影响, 以期为四倍体黄毛草莓的光合生理研究、倍性育种及高效人工种植技术的制定提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

二倍体黄毛草莓, 2012 年 7 月采自西藏自治区林芝县色

季拉山。2015 年春季, 将二倍体黄毛草莓种子进行萌发, 同时以二倍体黄毛草莓种子经秋水仙素诱变, 经流式细胞仪鉴定染色体数量, 确定成功获得四倍体黄毛草莓幼苗; 2 种幼苗均培养于智能温室中, 相对湿度为 80%, 温度白天控制在 $20 \text{ }^\circ\text{C}$, 晚上控制在 $15 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

1.2 试 验 方 法

1.2.1 光合特性日变化的测定 2016 年 7 月上旬 07:00—19:00, 选取长势相近的二倍体与四倍体黄毛草莓各 3 株, 取其冠层阳面健康成熟、生长部位基本相同的功能叶, 采用便携式光合作用测定仪 LI-6400 分别测定叶片的净光合速率 [$P_n, \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]、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 [$C_i, \mu\text{mol}/\text{mol}$] 等参数; 每 2 h 测定 1 次, 每次测定 3 张样叶, 每张叶片重复记录 5 个数据组, 取平均值。

1.2.2 光响应曲线的测定 采用自带红蓝光光源的 LI-6400 测定仪, 测定光合有效辐射强度 (PAR) 分别为 1 500、1 200、1 000、800、600、400、200、150、100、30、20、0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时的净光合速率; 利用直角双曲线修正模型^[7]对光响应曲线进行拟合, 计算光饱和点 (LSP)、光补偿点 (LCP)、最大净光合速率 (P_{max})、表观量子效率 (AQY)、暗呼吸速率 (R_d)。

1.2.3 相对叶绿素含量的测定 取二倍体与四倍体黄毛草莓各 3 株冠层阳面健康成熟、生长部位基本相同的功能叶, 采用 SPAD-502 叶绿素仪测定相对叶绿素含量, 每张叶片从里到外测定 3 个点, 取平均值。

1.3 数 据 分 析

采用 Excel 2010、SPSS 18.0 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, 采用单因素方差分析比较二倍体和四倍体黄毛草莓光合指标数据间的差异显著性。

收稿日期: 2016-09-23

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 31261120580)。

作者简介: 徐苏婷 (1992—), 女, 浙江衢州人, 硕士, 从事植物生态学 研究。E-mail: 1339012488@qq.com。

通信作者: 李钧敏, 教授, 从事生态学研究。E-mail: lijmtzc@126.com。

2 结果与分析

2.1 不同倍性黄毛草莓光合作用的日变化

2.1.1 净光合速率(P_n) 由图1可见,自然光照下,黄毛草莓叶片的 P_n 日变化呈“双峰”曲线;07:00时,由于气温相对较低,光强较弱,净光合速率相对较低;随着气温升高、光合辐射增强,11:00时 P_n 出现第1个峰,此时四倍体黄毛草莓的 P_n 值为 $4.15 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,而二倍体黄毛草莓为 $2.89 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;13:00时, P_n 出现峰谷,说明黄毛草莓叶片存在光合“午休”现象;后随光合有效辐射、叶片表面温度的下降,17:00时 P_n 出现第2个峰,此时四倍体黄毛草莓的 P_n 值为 $1.86 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,而二倍体黄毛草莓为 $1.22 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

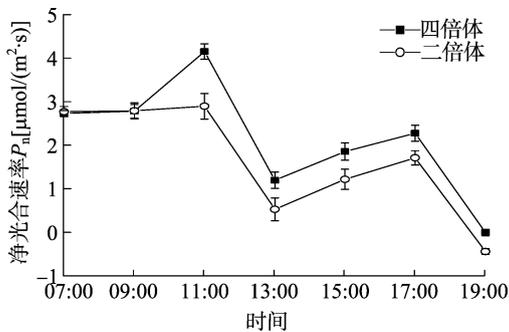


图1 二倍体与四倍体黄毛草莓叶片净光合速率的日变化

2.1.2 胞间 CO_2 浓度(C_i) 由图2可见, C_i 日变化与 P_n 日变化的趋势基本相反;07:00时,黄毛草莓的 C_i 相对较高,四倍体黄毛草莓的 C_i 值为 $327.04 \mu\text{mol}/\text{mol}$,二倍体黄毛草莓为 $277.78 \mu\text{mol}/\text{mol}$;11:00时,四倍体黄毛草莓 C_i 出现最低值,后逐渐增大;13:00时,四倍体黄毛草莓的 C_i 值上升为 $326.10 \mu\text{mol}/\text{mol}$,二倍体黄毛草莓的 C_i 值上升幅度相对更大,为 $341.92 \mu\text{mol}/\text{mol}$;后逐渐下降。

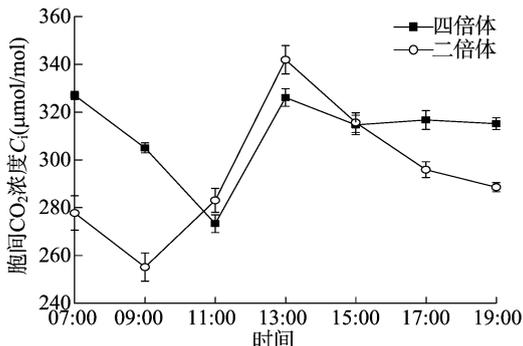


图2 二倍体与四倍体黄毛草莓叶片胞间 CO_2 浓度的日变化

2.1.3 气孔导度(G_s) 由图3可见,黄毛草莓气孔导度自09:00时出现谷值后,11:00时出现峰值,此时四倍体黄毛草莓 G_s 值为 $0.088 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,二倍体黄毛草莓为 $0.068 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;后逐渐降低。

2.1.4 蒸腾速率(T_r) 由图4可见,黄毛草莓的 T_r 日变化呈“单峰”曲线; T_r 值在11:00正午时达到峰值,四倍体黄毛草莓的 T_r 值为 $3.92 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,二倍体黄毛草莓为 $3.38 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;后逐渐降低。

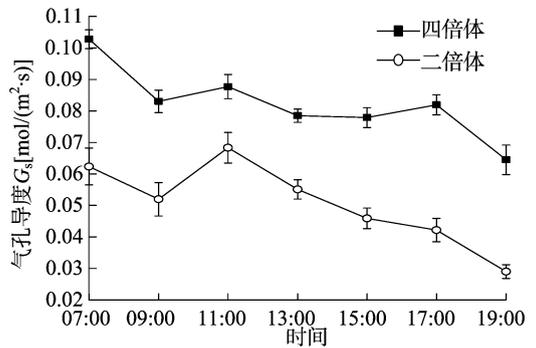


图3 二倍体与四倍体黄毛草莓叶片气孔导度的日变化

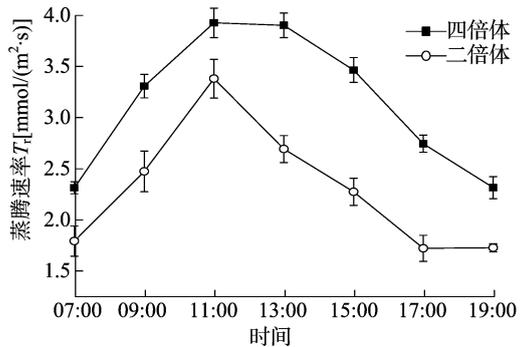


图4 二倍体与四倍体黄毛草莓叶片蒸腾速率的日变化

2.2 四倍体与二倍体黄毛草莓的光响应曲线

图5为2种不同倍性黄毛草莓的光响应曲线,对其光响应曲线进行拟合发现,二倍体黄毛草莓的最大净光合速率、光饱和点、光补偿点、暗呼吸速率分别为 3.451 、 885.6 、 23.83 、 $0.527 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,表观量子效率为 0.024 ,四倍体黄毛草莓的最大净光合速率、光饱和点、光补偿点、暗呼吸速率分别为 4.223 、 1663.6 、 41.87 、 $1.601 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,表观量子效率为 0.051 ,其中四倍体黄毛草莓的光响应曲线中光饱和点、光补偿点、暗呼吸速率这3个指标极显著大于二倍体黄毛草莓($P < 0.01$)。

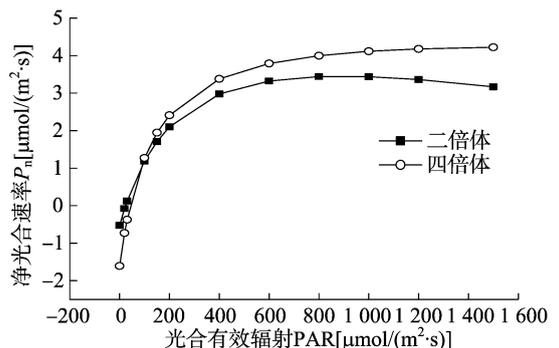


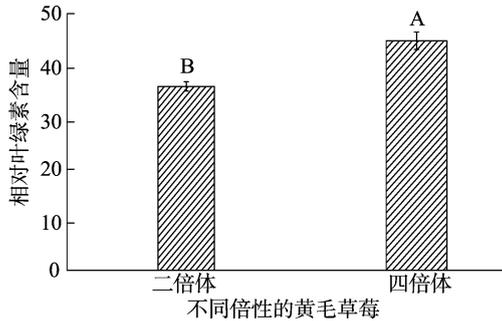
图5 二倍体与四倍体黄毛草莓叶片的光响应曲线

2.3 相对叶绿素含量

由图6可见,四倍体黄毛草莓的相对叶绿素含量值极显著高于二倍体黄毛草莓($P < 0.01$)。

3 结论与讨论

光合作用是植物最基本的生命活动,是植物合成有机物、获得能量的根本源泉^[8]。通过研究发现,四倍体黄毛草



柱上不同大写字母表示处理间差异极显著($P < 0.01$)
图6 二倍体与四倍体黄毛草莓的相对叶绿素含量

莓的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)均高于二倍体黄毛草莓,1天中四倍体黄毛草莓的最大净光合速率、气孔导度、蒸腾速率分别为 $4.15 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $0.088 \text{ mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 、 $3.92 \text{ mmol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,分别比二倍体黄毛草莓高43.6%、29.4%、16.0%,与郑思乡等的研究结论^[9-10]一致;夏季黄毛草莓叶片的 P_n 日变化呈“双峰”曲线,并出现光合“午休”现象;四倍体和二倍体黄毛草莓的 T_r 、 G_s 规律基本相似,而胞间 CO_2 浓度(C_i)的日变化与 P_n 相反;中午出现“午休”现象时 C_i 和 G_s 同时升高,说明该现象的发生可能是由叶肉阻力、叶肉自身羧化酶活性发生变化等非气孔限制因素造成。

光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)、表观量子效率(AQY)及暗呼吸速率(R_d)是植物光响应的重要指标,能够反映植物叶片对弱光和强光的适应能力,有助于判定植物光合作用能力、光合作用效率、光合机构的运转状况及植物受到环境变化的影响程度^[11-14]。光饱和点与光补偿点分别代表植物可利用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^[15]。本研究发现,随着光强的增加,四倍体和二倍体黄毛草莓的净光合速率均明显增大,四倍体黄毛草莓的LSP和LCP明显高于二倍体黄毛草莓,说明同种条件下四倍体黄毛草莓对光环境的适应性较二倍体黄毛草莓强,对光照的适应性也高于二倍体黄毛草莓。另外,四倍体黄毛草莓的 P_n 、 R_d 值较二倍体黄毛草莓高,光合产物多、呼吸消耗大,这可保证四倍体黄毛草莓叶片形态上叶型更大、叶色更深、叶片更厚,在生长过程中有更强的活力。

相对叶绿素含量(SPAD)高低直接影响叶片的光合能力,叶绿素含量和组成与光合速率有着密切的联系^[16],而SPAD值与叶片叶绿素含量呈正相关关系,能较好地反应植物叶片叶绿素变化,其值越高,越有利于植物捕获更多光能用于光合作用^[17]。本研究发现,四倍体黄毛草莓的相对叶绿素含量远远大于二倍体黄毛草莓,且差异极显著,这说明四倍体

黄毛草莓能够捕获更多的光能用于光合作用。

总之,同等条件下四倍体黄毛草莓的光饱和点、光补偿点、净光合速率、气孔导度、蒸腾速率及相对叶绿素含量均大于二倍体黄毛草莓,四倍体黄毛草莓在栽培过程中对光环境的适应性更强,相应的水分需求更多,更适宜高湿栽培环境。

参考文献:

- [1] 康向阳. 林木多倍体育种研究进展[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(4): 70-74.
- [2] 马海渊, 张金凤, 李志丹. 植物多倍体育种技术方法研究进展[J]. 防护林科技, 2008(1): 43-46.
- [3] 于文艳, 刘世琦, 梁庆玲, 等. 大蒜二倍体与四倍体生长和生理指标的比较研究[J]. 山东农业科学, 2008(2): 42-44, 65.
- [4] 俞德浚, 陆玲娣, 谷裕芝. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [5] 晁无疾, 钟新. 秦巴山区野生草莓资源及其研究[J]. 作物品种资源, 1988(4): 3-5.
- [6] 雷家军, 杨高, 代汉平, 等. 我国的草莓野生资源[J]. 果树科学, 1997, 14(3): 198-200.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 郑思乡, 胡秀, 雷小云, 等. 离体培养条件下三色堇多倍体诱导研究[J]. 云南农业大学学报, 2003, 18(4): 397-400.
- [10] 张杰, 张蜀宁, 徐伟钰, 等. 二、四倍体青花菜净光合速率日变化及其影响因子的相关和通径分析[J]. 江苏农业科学, 2006(6): 220-223.
- [11] Zeng X M, Yuan L, Shen Y G. Response of photosynthesis to light intensity in intact and detached leaves of *Arabidopsis thaliana* [J]. Plant Physiology Communications, 2002, 38(1): 25-26.
- [13] 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.
- [14] 高传友. 广西地区15种典型园林观赏植物的耐阴性及光合特性[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(4): 209-214.
- [12] Ye Z P, Yu Q. Comparison of new and several classical models of photosynthesis in response to irradiance [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2008, 32(6): 1356-1361.
- [15] 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.
- [16] 尤鑫, 龚吉蕊. 叶绿素荧光动力学参数的意义及实例辨析[J]. 西部林业科学, 2012, 41(5): 90-94.
- [17] 俞世雄, 李芬, 李绍林, 等. 水分胁迫对小麦新品系叶绿素含量的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2014, 29(3): 353-358.