

3种补血草属植物光合特性的日变化*

骆建霞, 王 丹, 李建科, 黄俊轩, 刘玉冬, 史燕山

(天津农学院 园艺系, 天津 300384)

[摘 要] 在田间栽培条件下, 用英国 TPS-1 型便携式光合测定仪对二色补血草(*L. bicolor*)、黄花补血草(*L. aureum*)和欧洲补血草(*L. perezii* 'Blue Sea') 3种补血草属植物的光合特性日变化进行了比较研究。结果表明, 3种补血草属植物光合速率(P_n)的日变化均呈双峰曲线, 次高峰远低于最高峰, 欧洲补血草和二色补血草的 P_n 在10:00时达到最高峰, 黄花补血草在11:00时达到最高峰, 黄花补血草的 P_n 显著低于欧洲补血草和二色补血草, 后两者的 P_n 无显著差异; 3种植物叶片蒸腾速率(T_r)和气孔导度(G_s)的日变化动态与其 P_n 基本相似, 胞间 CO_2 浓度(C_i)的日变化呈倒抛物线形, 且3种植物间差异较小; 3种补血草属植物 P_n 的日变化与其 T_r 、 C_i 及叶室温度(T_{lc})和光照强度(R_s)的日变化呈显著或极显著正相关, 而与 C_i 呈极显著负相关; 中午11:00~14:00, 叶室温度高于37℃、光照强度超过13 000 lx时, 参试植物 P_n 下降, 下降幅度最大的为黄花补血草, 其次是欧洲补血草, 二色补血草降幅最小。

[关键词] 补血草属植物; 光合特性; 生理特性

[中图分类号] Q945.11

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2006)08-0121-04

二色补血草(*L. inornatum bicolor*)、黄花补血草(*L. aureum*)和欧洲补血草(*L. perezii* 'Blue Sea')为补血草属多年生草本植物, 其中二色补血草和黄花补血草为正在开发利用的野生地被植物, 欧洲补血草为从国外引进的优良栽培地被植物。大多数补血草属植物对干旱、盐碱土有较强的适应性, 因此其既是优良的干、鲜花材料, 也可用于园林绿化, 是极具应用前景的优良地被植物。目前, 我国对二色补血草的研究报道较多, 李秀华^[1]认为, 按照《园林地被植物的综合评价标准》(OGCP), 二色补血草达到OGCP优秀标准, 可直接大面积推广利用; 周秀珍等^[2]、张小苹等^[3]对二色补血草的引种栽培、生物学特性以及繁殖性能等进行了研究。但有关二色补血草光合生理特性的研究尚未见报道, 也未见对黄花补血草和欧洲补血草光合特性的研究报道。因此, 本研究在田间栽培条件下对二色补血草、黄花补血草和欧洲补血草3种补血草属植物的光合速率等生理特性进行了测定, 以了解三者光合特性的差异, 为补血草属植物的引种、栽培和适应性研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试植物为二色补血草、黄花补血草、欧洲补血

草的1年生播种苗。其中二色补血草种子采自天津农学院园艺系地被植物园, 黄花补血草种子采自内蒙古乌兰布和沙地, 欧洲补血草种子购自中国农科院中农种业园艺技术分公司。

1.2 试验设计

试验在天津农学院地被植物试验园进行。试验地土壤为粘壤土, 全盐含量2.15 g/kg, pH 8.15, 有机质含量13.7 g/kg(天津市农科院土肥化验中心测定)。供试植物于2005-04下旬在育苗床内播种, 幼苗株径长至7 cm左右时移栽至试验地中, 种植株行距为40 cm×40 cm, 田间管理水平一般。植株正常生长一段时间后, 从中随机选择生长发育正常且表现基本一致的植株各5株作为试验株, 每株均选择其中间节位一片有代表性的成熟叶测定光合速率等生理指标, 即每种植物各指标测定均为5次重复。

1.3 测定方法

测定于6月下旬进行。选择晴朗天气(日最高气温33℃), 从6:00至18:00每隔1 h测定1次。用TPS-1型便携式光合测定仪测定3种植物的光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)及叶室温度(T_{lc})等, 同时, 用JD-3型光照度计测定植株附近环境的自然光照强度(R_s)。

* [收稿日期] 2006-01-17

[基金项目] 天津市高等学校科技发展基金项目(20031307)

[作者简介] 骆建霞(1957-), 女, 河北涿州人, 副教授, 主要从事园艺植物资源及其适应性研究。

1 4 数据处理

对各试验指标测定数据进行相应的数理统计分析。

2 结果与分析

2 1 3 种补血草属植物光合速率(P_n)的日变化

由表1可以看出,3种补血草属植物 P_n 的日变化趋势均表现为双峰曲线,欧洲补血草和二色补血草的 P_n 在上午10:00达到最高峰,黄花补血草在11:00达到最高峰,之后 P_n 逐渐降低,至下午16:00

出现次高峰,但次高峰值远较最高峰值低。从表1还可看出,上午6:00欧洲补血草的 P_n 最大,黄花补血草的最小,但差异不显著;上午7:00黄花补血草的 P_n 极显著低于欧洲补血草和二色补血草;11:00黄花补血草的 P_n 达到最高值,但显著低于此时欧洲补血草的 P_n 而高于二色补血草,只是与二色补血草间的差异不显著;其他时间基本表现为黄花补血草的 P_n 显著或极显著低于欧洲补血草和二色补血草,而后两者之间的 P_n 差异不显著。

表1 3种补血草属植物 P_n 的日变化
Table 1 Diurnal variation of P_n of the three species

植物种类 Species	$P_n/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$						
	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00
欧洲补血草 <i>L. perezii</i> 'Blue Sea'	7.75±2.28 a	9.20±0.18 aA	23.93±1.96 aA	27.03±0.75 aA	30.63±2.05 aA	28.07±3.10 aA	22.50±3.70 aA
二色补血草 <i>L. bicolor</i>	6.27±0.92 a	9.27±1.32 aA	22.20±1.61 aA	22.97±0.32 bA	25.43±3.26 aAB	20.53±1.94 bB	22.45±3.73 aA
黄花补血草 <i>L. aureum</i>	5.42±1.69 a	6.40±0.87 bB	12.63±2.70 bB	17.70±3.04 cB	17.87±3.18 bB	23.85±1.82 bAB	16.77±1.35 bA

植物种类 Species	$P_n/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$					
	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
欧洲补血草 <i>L. perezii</i> 'Blue Sea'	22.67±1.64 aA	22.20±1.99 aA	18.83±1.42 aA	21.07±2.47 aA	18.38±2.61 aA	7.88±2.56 aA
二色补血草 <i>L. bicolor</i>	21.33±3.82 aA	21.00±1.82 aA	14.33±2.35 bAB	16.43±1.62 abA	15.52±1.89 aA	7.23±0.72 aA
黄花补血草 <i>L. aureum</i>	16.43±0.77 bB	12.46±1.46 bB	12.20±1.98 bB	13.85±2.19 bA	10.40±1.96 bB	3.47±0.81 bA

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异达0.05显著水平,标不同大写字母者表示差异达0.01显著水平。
Note: Different letters in same column indicate that the values are significantly different at the 0.05 level with small letters and 0.01 with capital letters

2 2 3 种补血草属植物蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)和胞间 CO_2 浓度(C_i)的日变化

从表2和表3可以看出,3种补血草属植物 T_r 和 G_s 的日变化与 P_n 的日变化动态基本相似。上午6:00~11:00,3种补血草属植物的 T_r 持续上升,11:00~13:00保持在较高水平,随后快速下降,至16:00有一较小升幅,随后又快速下降。欧洲补血草

和二色补血草的 G_s 在10:00达到最高峰,黄花补血草在11:00达到最高峰,之后大致呈下降趋势,至16:00有一较小升幅,随后快速下降。3种补血草属植物在这2个指标上的变化也表现出较明显差异,即黄花补血草的 T_r 和 G_s 低于欧洲补血草和二色补血草,而后两者差异相对较小。

表2 3种补血草属植物 T_r 的日变化
Table 2 Diurnal variation of T_r of the three species

植物种类 Species	$T_r/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$						
	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00
欧洲补血草 <i>L. perezii</i> 'Blue Sea'	2.46±0.19	2.54±0.10	4.03±0.25	6.22±0.37	7.89±0.18	8.32±0.31	8.11±0.28
二色补血草 <i>L. bicolor</i>	2.43±0.24	2.03±0.14	3.44±0.18	5.17±0.29	7.79±0.20	7.95±0.14	7.80±0.44
黄花补血草 <i>L. aureum</i>	1.99±0.13	2.15±0.21	2.71±0.29	4.13±0.22	5.71±0.32	5.92±0.38	5.68±0.25

植物种类 Species	$T_r/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$					
	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
欧洲补血草 <i>L. perezii</i> 'Blue Sea'	8.96±0.31	7.71±0.30	5.86±0.19	6.33±0.39	3.94±0.46	4.18±0.32
二色补血草 <i>L. bicolor</i>	7.92±0.47	6.14±0.37	4.62±0.26	5.53±0.18	5.05±0.18	2.87±0.35
黄花补血草 <i>L. aureum</i>	5.77±0.41	3.34±0.25	3.30±0.30	4.80±0.24	4.08±0.36	2.51±0.23

表3 3 种补血草属植物Gs 的日变化

Table 3 Diurnal variation of Gs of the three species

植物种类 Species	Gs/(mmol · m ⁻² · s ⁻¹)													
	6: 00		7: 00		8: 00		9: 00		10: 00		11: 00		12: 00	
欧洲补血草 <i>L. perezii</i> 'Blue Sea' ,	221. 00 ± 48. 08	201. 67 ± 26. 27	275. 67 ± 15. 01	376. 75 ± 49. 09	451. 00 ± 62. 23	265. 00 ± 32. 97	291. 00 ± 46. 49							
二色补血草 <i>L. bicolor</i>	177. 00 ± 25. 46	142. 33 ± 10. 02	235. 67 ± 38. 84	318. 60 ± 40. 23	429. 60 ± 63. 39	282. 67 ± 43. 66	331. 25 ± 38. 97							
黄花补血草 <i>L. aureum</i>	147. 67 ± 18. 01	120. 00 ± 35. 93	150. 67 ± 48. 88	190. 33 ± 20. 40	268. 33 ± 39. 31	284. 25 ± 42. 14	153. 00 ± 35. 95							
植物种类 Species	Gs/(mmol · m ⁻² · s ⁻¹)													
	13: 00		14: 00		15: 00		16: 00		17: 00		18: 00			
欧洲补血草 <i>L. perezii</i> 'Blue Sea' ,	302. 00 ± 43. 58	295. 33 ± 48. 13	223. 67 ± 31. 02	283. 67 ± 37. 58	197. 00 ± 30. 78	151. 33 ± 18. 04								
二色补血草 <i>L. bicolor</i>	300. 67 ± 43. 41	213. 67 ± 18. 58	158. 50 ± 31. 61	220. 33 ± 13. 20	226. 00 ± 31. 61	100. 33 ± 15. 63								
黄花补血草 <i>L. aureum</i>	149. 25 ± 30. 88	103. 33 ± 14. 57	102. 33 ± 21. 94	180. 50 ± 28. 99	156. 40 ± 33. 97	93. 33 ± 26. 50								

从表4 可以看出, 3 种补血草属植物Ci 的日变化均表现为倒抛物线形, 其变化趋势大致为: 6: 00~ 8: 00 快速下降, 之后缓慢下降, 到 12: 00~ 15: 00 缓慢上升, 16: 00~ 18: 00 快速上升, 18: 00 的Ci 与 6: 00或7: 00 的接近; 3 种植物之间Ci 的日变化差异较小。

表4 3 种补血草属植物Ci 的日变化

Table 4 Diurnal variation of Ci of the three species

植物种类 Species	Ci/(mg · L ⁻¹)															
	6: 00		7: 00		8: 00		9: 00		10: 00		11: 00		12: 00			
欧洲补血草 <i>L. perezii</i> 'Blue Sea' ,	291. 00±33. 77	258. 00±19. 53	183. 80±11. 78	181. 00±15. 59	177. 67±23. 46	172. 00±23. 64	164. 33±28. 29									
二色补血草 <i>L. bicolor</i>	309. 33±17. 01	224. 00±14. 11	168. 00±22. 87	177. 00±23. 46	169. 20±31. 59	145. 50±24. 75	166. 00±28. 85									
黄花补血草 <i>L. aureum</i>	305. 00±26. 67	217. 33±35. 23	208. 67±16. 65	193. 33±8. 02	178. 33±13. 58	132. 75±28. 23	107. 75±25. 37									
植物种类 Species	Ci/(mg · L ⁻¹)															
	13: 00		14: 00		15: 00		16: 00		17: 00		18: 00					
欧洲补血草 <i>L. perezii</i> 'Blue Sea' ,	193. 00±11. 75	187. 00±8. 51	179. 67±10. 69	182. 67±13. 58	211. 50±26. 65	274. 00±17. 35										
二色补血草 <i>L. bicolor</i>	184. 67±9. 71	158. 25±14. 17	165. 00±4. 00	188. 20±17. 64	211. 50±14. 84	213. 75±22. 85										
黄花补血草 <i>L. aureum</i>	169. 40±27. 62	146. 25±23. 47	166. 50±14. 85	197. 00±4. 24	203. 67±21. 55	279. 67±19. 30										

2.3 3 种补血草属植物的Pn 与其Tr, Gs 和Ci 的相关性

由表5 可以看出, 3 种补血草属植物Pn 的日变化与其Tr 和Gs 的日变化间呈极显著正相关, 与其Ci 的日变化之间呈极显著负相关。

表5 3 种补血草属植物Pn 与Tr, Gs, Ci 的相关系数(r)

Table 5 Correlation coefficient of Pn with Tr, Gs and Ci of the three species

植物种类 Species	rPn-Tr	rPn-Gs	rPn-Ci
欧洲补血草 <i>L. perezii</i> 'Blue Sea'	0. 776 6**	0. 811 9**	- 0. 908 9**
二色补血草 <i>L. bicolor</i>	0. 766 3**	0. 848 2**	- 0. 764 8**
黄花补血草 <i>L. aureum</i>	0. 859 3**	0. 759 4**	- 0. 790 7**

注(Notes): r_{0.05} = 0. 553, r_{0.01} = 0. 684.

2.4 3 种补血草属植物Pn 与叶室温度(Tlc) 和光照强度(Rs) 的相关性

试验测定结果表明, Tlc 和Rs 的日变化呈抛物

线形, 6: 00~ 11: 00, Tlc 和Rs 均直线上升; 11: 00~ 14: 00, Tlc 维持在37~ 38 ℃, Rs 在(13. 00~ 13. 75) 万lx; 15: 00 开始二者逐渐下降。对3 种补血草属植物Pn 与Tlc 和Rs 的相关分析表明, 除11: 00~ 14: 00 Pn 的日变化与Tlc 的日变化呈负相关性, 与Rs 的日变化相关不明显外, 一天中其他时间Pn 的变化与Tlc 的变化呈显著正相关, 与Rs 的变化呈极显著正相关。试验结果显示, 中午时分, 当Tlc 超过37 ℃、Rs 超过13. 00 万lx 时, 3 种植物的Pn 开始下降。因此, 中午的强光、高温可能是造成参试植物此阶段Pn 下降的重要原因。

3 讨 论

本研究结果表明, 3 种补血草属植物Pn 的日变化趋势均呈双峰曲线, 欧洲补血草和二色补血草Pn 在上午10: 00 达到最高峰, 黄花补血草在11: 00 达到最高峰, 在 16: 00 出现次高峰, 次高峰远较最高峰

低。另外对每次测定的 P_n 进行方差分析,结果基本表现为黄花补血草的 P_n 显著或极显著低于欧洲补血草和二色补血草,而后两者之间的 P_n 差异基本不显著。3种补血草属植物 P_n 的这种差异与其生长量的大小表现基本一致,即光合速率较高的植物生长量较大,光合速率较低的植物生长量较小,如二色补血草平均株径为45 cm左右,最大可达70~80 cm,欧洲补血草平均株径为35 cm左右,而黄花补血草平均株径为25 cm左右。

3种补血草属植物 P_n 日变化与 T_r 、 G_s 的日变化之间呈极显著正相关,与 C_i 间呈极显著负相关,这一结果与吴吉林等^[4]、易干军等^[5]的报道一致。除11:00~14:00 P_n 与 T_{lc} 呈负相关性,与 R_s 的相关性不明显外,一天中其他时间 P_n 与 T_{lc} 呈显著正相关,与 R_s 呈极显著正相关。11:00以后,随着光照强度的增强,叶室温度升高,3种植物蒸腾量加大,气

孔导度(G_s)下降, P_n 呈下降趋势。因此,强光、高温、气孔关闭等因素可能是引起中午时段参试植物 P_n 下降的主要因素。3种植物从11:00~14:00, P_n 的下降速度有较大区别:中午12:00,欧洲补血草、二色补血草、黄花补血草与其 P_n 最高值相比分别下降了25.64%,11.72%和29.69%;至中午14:00,则分别下降了27.52%,17.42%和47.76%。可见,在中午高光照强度(13.00万~13.75万lx)、高叶温(37~38℃)条件下,二色补血草能维持相对较高的光合效率,耐高温能力相对较强。

植物光合作用受土壤、气候、栽培管理及其他生理生态因子的综合影响,本试验仅对参试植物在相同立地条件下 P_n 的日变化以及 P_n 与一些生理生态因子日变化的关系进行了比较研究,有关其他条件及不同生理生态因子与补血草属植物光合作用的关系及其机理有待于进一步探索。

[参考文献]

- [1] 李秀华. 野生花卉二色补血草引种利用研究[J]. 中国园林, 2003, 19(10): 78-80
- [2] 周秀珍, 李泾天. 二色补血草生物学特性及产业化繁育研究[J]. 河北林果研究, 1998, 13(4): 331-334
- [3] 张小苹, 马双马, 那淑芝. 二色补血草组织培养及无性系建立[J]. 沈阳农业大学学报, 1998, 29(1): 96-97
- [4] 吴吉林, 李永华, 叶庆生. 美丽异木棉光合特性的研究[J]. 园艺学报, 2005, 32(6): 1061-1064
- [5] 易干军, 姜小文, 霍合强. 溪蜜柚光合特性的研究[J]. 园艺学报, 2003, 30(5): 519-524

Studies on daily photosynthetic rate variation of three *Limonium* species

LUO Jian-xia, WANG Dan, LI Jian-ke, HUANG Jun-xuan,
LIU Yu-dong, SHI Yan-shan

(Department of Horticulture, Tianjin Agricultural College, Tianjin 300384, China)

Abstract: The photosynthetic characters comparison between three *Limonium* species, *L. bicolor*, *L. aureum*, *L. perezii* 'Blue Sea' were carried out using the TPS-1 photosynthetic instrument in the field light condition. The results showed that bimodal curves appeared in the daily photosynthesis variation of the three species with a much lower value of the second peak than that of the first peak. The first peak occurred at 10:00-11:00 and the second one at 16:00. The P_n of *L. aureum* was significantly lower than that of *L. bicolor* and *L. perezii* 'Blue Sea', and there was no significant difference between *L. bicolor* and *L. perezii* 'Blue Sea'. Daily variation trend of leave T_r and G_s of the three species were almost same with P_n . There was a very significant or very significant positive relationship in P_n with T_r , G_s , T_{lc} and R_s , and a very significant negative relationship with C_i . P_n would decline when the temperature of leave chamber (T_{lc}) was higher than 37℃ and radiation strength (R_s) was over 13.00×10^4 lx at noon 11:00-14:00. The order of decline degree for the tested plants were determined as follow: *L. aureum* > *L. perezii* 'Blue Sea' > *L. bicolor*.

Key words: *Limonium*; photosynthetic characteristics; physiological characteristics