

十种野生地被植物的光合特性研究

董 谦¹, 李连龙², 刘悦梅², 刘冬云¹

(1. 河北农业大学 园林与旅游学院, 河北 保定 071000; 2. 北京中外建建筑设计有限公司, 北京 100192)

摘 要:以东方草莓(*Fragaria orientalis*)、斑叶堇菜(*Viola variegata*)、匍枝委陵菜(*Potentilla flagellaris*)、鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)、野罂粟(*Papaver nudicaule*)、蓝花棘豆(*Oxytropis coerulea*)、求米草(*Oplismenus undulatifolius*)、大叶铁线莲(*Clematis heraclei folia*)、歪头菜(*Vicia unijuga*)、秃疮花(*Dicranostigma leptopodum*)等 10 种野生地被植物为试材, 利用 LI-6400 光合仪研究了净光合速率日变化以及对光合有效辐射和二氧化碳的响应。结果表明: 东方草莓及秃疮花的光合速率日变化为单峰曲线; 野罂粟、斑叶堇菜、东方草莓、匍枝委陵菜、鹅绒委陵菜、蓝花棘豆、求米草、大叶铁线莲等 8 种植物光合速率日变化为双峰曲线, 出现明显的“午休”现象; 求米草的光补偿点(LCP)和二氧化碳补偿点(CCP)最低, 分别为 $(9.64 \pm 0.525) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $(67.72 \pm 4.567) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 是典型的阴生植物; 蓝花棘豆的 LCP 最高, 为 $(74.21 \pm 1.065) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 秃疮花的 CCP 最高, 为 $(107.94 \pm 9.345) \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 2 种植物表现出较强的喜阳性。

关键词:野生地被; 光合日变化; 光响应; 二氧化碳响应

中图分类号:S 688.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)09-0093-05

地被植物在园林绿化中扮演越来越重要的角色, 具有提高环境质量、涵养水源、降低管理成本等积极作用。光合作用是植物生长发育的基础, 是植物光合生产力的重要衡量指标, 对植物起着至关重要的作用, 因此研究地被植物的光合特性十分重要。目前对野生地被的研究多集中于筛选、调查、适应性等方面^[1-2], 对野生地被植物的光合特性的系统研究相对较少^[3-5]。现以 10 种野生地被植物为试材, 对光合特性进行了较为全面的研究, 以期园林应用提供基本的理论依据。

第一作者简介:董谦(1990-), 女, 河北定州人, 硕士研究生, 研究方向为园林植物资源与应用。E-mail: 870168690@qq.com.

责任作者:刘冬云(1971-), 女, 河北赞皇人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 现主要从事百合遗传育种等研究工作。E-mail: dongyunliu@hebau.edu.cn.

基金项目:河北省科技厅资助项目(15227534)。

收稿日期:2015-12-18

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在河北农业大学试验田内, 北纬 $38^{\circ}50'$, 东经 $115^{\circ}27'$, 属温带季风性气候。全年平均气温约 12°C , 年降水量约 550 mm, 冬冷夏热, 春季多风沙, 雨热同期。

1.2 试验材料

以东方草莓(*Fragaria orientalis*)、斑叶堇菜(*Viola variegata*)、匍枝委陵菜(*Potentilla flagellaris*)、鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)、野罂粟(*Papaver nudicaule*)、蓝花棘豆(*Oxytropis coerulea*)、求米草(*Oplismenus undulatifolius*)、大叶铁线莲(*Clematis heraclei folia*)、歪头菜(*Vicia unijuga*)、秃疮花(*Dicranostigma leptopodum*)等 10 种野生地被植物为试验材料。东方草莓、野罂粟、蓝花棘豆采于张家口小五台山, 斑叶堇菜、求米草、歪头菜、大叶铁线莲采于河北省易县蚕姑坨, 匍枝委陵菜采

semi-lethal temperature calculated by the Logistic equation of electrolyte leakage rate, and combined with the subordinate function method to make a comprehensive hardiness evaluation. The results showed that *Melia azedarach* Linn. was shown to be the most cold resistance, followed by *Fraxinus chinensis*, *Sophora japonica* 'Pendula', *Platanus acerifolia* Willd., *Ginkgo biloba* L., *Acer elegantulum* Fang et P. L. Chiu, *Euonymus mssckii* Rupr., *Diospyros kaki* Thunb., *Prunus persica* Batsch, var. *duplex* Rehd., and *Prunus cerasifera* Ehrhar f.. Results would be consulted by landscaping in cold areas, or the choice, introduction and cultivation of barren hills governance trees.

Keywords: deciduous garden arbors; semi-lethal temperature; cold resistance; subordinate function

于河北省赤城县大海陀,鹅绒委陵菜采于河北省张家口蔚县空中草原,秃疮花采集于石家庄赞皇县。10种植物均在试验田内栽植,并进行正常的水肥管理,其中鹅绒委陵菜、匍枝委陵菜为4年生植物,东方草莓等8种植物为2年生植物。

1.3 试验方法

试验在2015年8月晴朗无风的天气进行,选择生长势旺盛且一致的植株作为测试样本,利用LI-6400光合仪从08:00—18:00每2h测1次,测定10种野生地被植物的净光合速率(Pn),进行3次重复。光响应曲线和二氧化碳响应曲线的测量于09:00—11:00进行,将温度设置为28℃,均重复3次进行测定。光响应曲线测量时,将参比室的CO₂浓度稳定在380 μmol·m⁻²·s⁻¹,利用人工光源手动设置光合有效辐射(PAR)从高到低为1 500、1 200、1 000、800、600、400、200、150、100、70、50、30、20、0 μmol·m⁻²·s⁻¹共14个梯度。二氧化碳响应曲线测量时,利用人工光源设置饱和光强(根据光响应曲线确定),二氧化碳浓度从高到低为1 600、1 400、1 200、1 000、800、600、400、200、150、100、50 μmol·m⁻²·s⁻¹共11个梯度。

1.4 数据分析

采用Excel、SPSS软件对数据进行整理分析,利用叶子飘等^[6]指导设计的光合计算软件对2条曲线分别进行拟合,得出主要的光合特征参数。

2 结果与分析

2.1 10种野生地被植物的净光合速率日变化

植物的净光合速率随着水分、光照、温度等环境因子的变化而呈现出相应的变化规律。从图1可以看出,10种野生地被植物的净光合速率日变化各不相同,其中秃疮花与东方草莓表现为单峰曲线,野罂粟等8种植物为明显的双峰曲线。从08:00—10:00,随着光合有效辐射的增加净光合速率呈逐渐上升趋势,10种植物的第一峰均出现在10:00左右,此时光合有效辐射达到1 440 μmol·m⁻²·s⁻¹,净光合速率大小为鹅绒委陵菜>歪头菜>斑叶堇菜>大叶铁线莲>野罂粟>匍枝委陵菜>蓝花棘豆>秃疮花>东方草莓>求米草。10:00—18:00东方草莓与秃疮花的净光合速率整体呈下降趋势,并未出现明显的“午休”现象;10:00—12:00野罂粟等8种植物净光合速率逐渐下降,在12:00左右达到午间最低值,即“午休”;12:00后,各植物的光合速率逐渐升高,鹅绒委陵菜在14:00左右达到第二峰,野罂粟等7种植物在16:00左右出现第二峰,此时的光合有效辐射为1 235 μmol·m⁻²·s⁻¹,7种植物光合速率大小为歪头菜>斑叶堇菜>野罂粟>大叶铁线莲>匍枝委陵菜>蓝花棘豆>求米草。

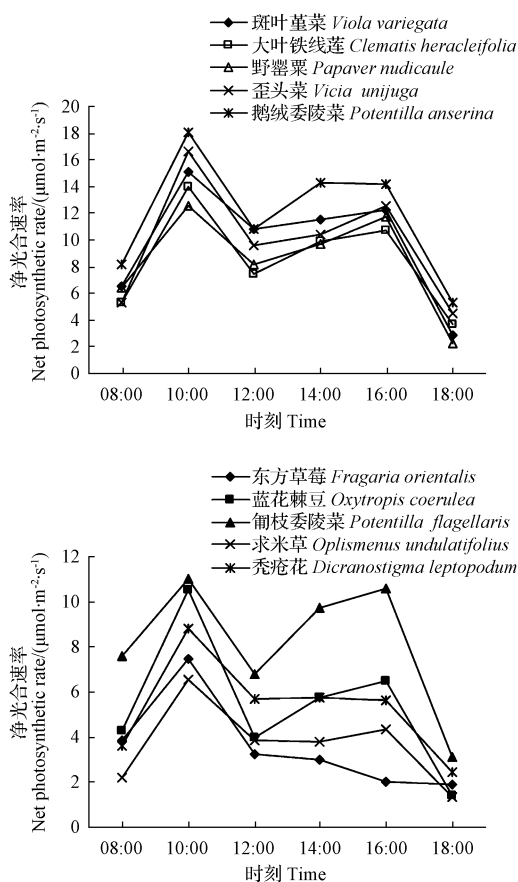


图1 10种野生地被植物的净光合速率日变化

Fig. 1 Dirurnal variation of net photosynthetic rate of 10 species of wild ground cover plants

2.2 10种野生地被植物的光响应曲线

光响应曲线反映了植物的净光合速率随光照强度变化的规律。从图2可以看出,在光合有效辐射(PAR)为0时,净光合速率均为负值;当PAR在0~200 μmol·m⁻²·s⁻¹时,10种野生地被植物的净光合速率随PAR的上升呈现出快速上升的现象;PAR超过400 μmol·m⁻²·s⁻¹时,歪头菜、秃疮花、求米草、大叶铁线莲及斑叶堇菜5种植物的光合作用逐渐趋于平缓,随着PAR的继续增大,在净光合速率达到最大值时不再随着PAR的增加而继续增大,即达到了光的饱和。PAR超过600 μmol·m⁻²·s⁻¹时,野罂粟、匍枝委陵菜、蓝花棘豆、鹅绒委陵菜及东方草莓的净光合速率增加逐渐缓慢。

从表1可知,10种野生地被植物的光补偿点(LCP)介于(9.64±0.525)~(74.21±1.065) μmol·m⁻²·s⁻¹,光补偿点的变化范围较大,说明对光的利用能力存在很大差异。光补偿点由高到低的顺序为蓝花棘豆>野罂粟>匍枝委陵菜>歪头菜>斑叶堇菜>大叶铁线莲>鹅绒委陵菜>东方草莓>秃疮花>求米草。

比较10种野生地被植物的LSP,从大到小依次

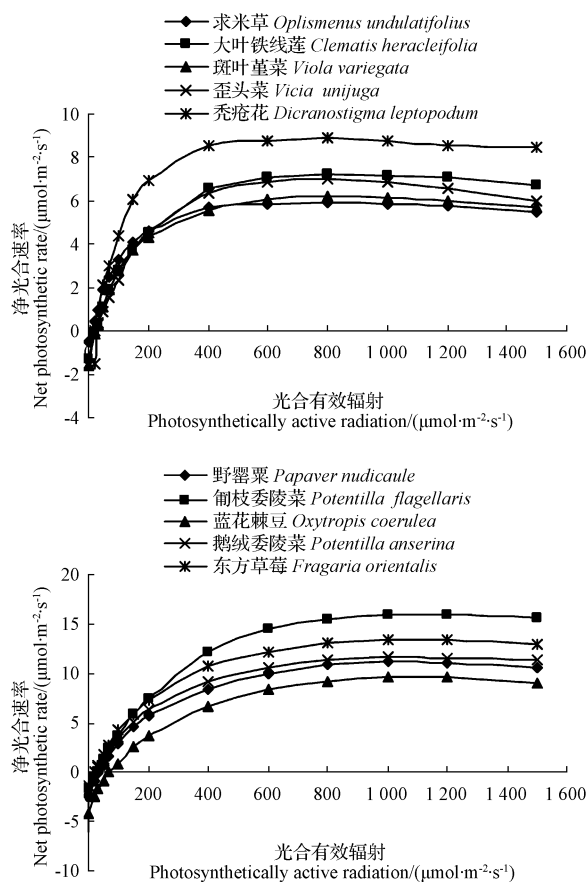


图 2 10 种野生地被植物的光响应曲线
Fig. 2 The light curve of 10 species of wild ground cover plants

为蓝花棘豆>东方草莓>野罂粟>鹅绒委陵菜>匍枝委陵菜>大叶铁线莲>斑叶堇菜>秃疮花>歪头菜>求米草。蓝花棘豆的光饱和点最高为(1 145.22±20.665) μmol·m⁻²·s⁻¹,而求米草最低为(745.72±20.957) μmol·m⁻²·s⁻¹,在高光条件下蓝花棘豆依然

表 1 10 种野生地被植物的光补偿点、光饱和点及暗呼吸速率

植物种类 Species	光补偿点 Light compensation point	光饱和点 Light saturation point	暗呼吸速率 Dark respiration rate
歪头菜 <i>Vicia unijuga</i>	25.98±0.291	766.61±24.964	1.29±0.045
秃疮花 <i>Dicranostigma leptopodum</i>	16.89±0.453	775.77±16.102	1.63±0.023
求米草 <i>Oplismenus undulatifolius</i>	9.64±0.525	745.72±20.957	0.63±0.002
大叶铁线莲 <i>Clematis heracleifolia</i>	22.98±0.841	862.91±11.612	1.26±0.046
斑叶堇菜 <i>Viola variegata</i>	24.12±0.793	823.91±17.108	1.59±0.057
野罂粟 <i>Papaver nudicaule</i>	36.22±0.766	1 116.44±26.702	2.21±0.012
匍枝委陵 <i>Potentilla flagellaris</i>	27.19±0.292	1 098.50±1.621	1.74±0.073
蓝花棘豆 <i>Oxytropis coerulea</i>	74.21±1.065	1 145.22±20.665	3.72±0.025
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	22.49±0.776	1 112.55±16.973	1.33±0.061
东方草莓 <i>Fragaria orientalis</i>	20.78±0.917	1 127.05±25.548	1.57±0.056

可进行光合作用而不发生光抑制;求米草则易发生光抑制。

暗呼吸速率从大到小依次为蓝花棘豆>野罂粟>匍枝委陵菜>秃疮花>斑叶堇菜>东方草莓>鹅绒委陵菜>歪头菜>大叶铁线莲>求米草。其中,求米草的暗呼吸速率最低,为(0.63±0.002) μmol·m⁻²·s⁻¹,蓝花棘豆最高,为(3.72±0.025) μmol·m⁻²·s⁻¹。

2.3 10 种野生地被植物的 CO₂ 响应曲线

二氧化碳响应曲线反映了植物随环境中二氧化碳浓度变化的规律。从图 3 可以看出,当二氧化碳浓度为 0 μmol·m⁻²·s⁻¹时,10 种野生地被植物的净光合速率均为负值;在 0~200 μmol·m⁻²·s⁻¹,净光合速率逐渐由负转正;二氧化碳浓度低于 800 μmol·m⁻²·s⁻¹时,净光合速率与浓度几乎呈直线上升关系;当浓度高于 800 μmol·m⁻²·s⁻¹时,净光合速率的增长逐渐缓慢,达到最大值后,即达到二氧化碳的饱和点后不再上升。

由表 2 可知,10 种野生地被植物二氧化碳补偿点(CCP)从大到小依次为秃疮花>蓝花棘豆>野罂粟>斑叶堇菜>大叶铁线莲>歪头菜>鹅绒委陵菜>东方草莓>匍枝委陵菜>求米草。10 种植物的二氧化碳饱和点(CSP)从大到小依次为秃疮花>野罂粟>求米草>大叶铁线莲>鹅绒委陵菜>蓝花棘豆>斑叶堇菜>歪头菜>东方草莓>匍枝委陵菜。一般环境中二氧化碳浓度约为 400 μmol·m⁻²·s⁻¹,10 种野生地被植物的 CSP 远大于这一数值。

羧化效率(CE)反映了植物在给定条件下对二氧化碳的同化能力。常见 C₃ 植物的羧化效率为 0.06~0.12,10 种野生地被植物中秃疮花、求米草、蓝花棘豆、斑叶堇菜及大叶铁线莲羧化效率明显低于常见的 C₃ 植物,鹅绒委陵菜的羧化效率最高达到 0.10,这说明鹅绒委陵菜的碳同化能力最强,表现出较强的生长潜力。

表 2 10 种野生地被植物的二氧化碳补偿点、饱和点及羧化效率

Table 2 The CCP,CSP and CE of 10 species of wild ground cover plants

植物种类 Species	二氧化碳补偿点 Carbon dioxide compensation point/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	二氧化碳饱和点 Carbon dioxide saturation point/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	羧化效率 Carboxylation efficiency
歪头菜 <i>Vicia unijuga</i>	91.90 \pm 3.125	1 219.83 \pm 45.075	0.06 \pm 0.003 4
秃疮花 <i>Dicranostigma leptopodum</i>	107.94 \pm 9.345	1 377.92 \pm 19.780	0.03 \pm 0.001 7
求米草 <i>Optismenus undulatifolius</i>	67.72 \pm 4.567	1 318.81 \pm 27.591	0.03 \pm 0.002 8
蓝花棘豆 <i>Oxytropis coerulea</i>	101.18 \pm 10.061	1 271.22 \pm 37.347	0.04 \pm 0.003 6
斑叶堇菜 <i>Viola variegata</i>	96.95 \pm 8.348	1 267.99 \pm 15.568	0.04 \pm 0.002 5
东方草莓 <i>Fragaria orientalis</i>	84.35 \pm 6.874	1 206.66 \pm 23.472	0.06 \pm 0.004 7
大叶铁线莲 <i>Clematis heracleifolia</i>	96.39 \pm 6.892	1 312.33 \pm 17.793	0.04 \pm 0.003 1
鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	88.07 \pm 6.230	1 275.83 \pm 30.487	0.10 \pm 0.007
匍枝委陵菜 <i>Potentilla flagellaris</i>	75.28 \pm 5.129	1 194.88 \pm 31.216	0.08 \pm 0.003
野罂粟 <i>Papaver nudicaule</i>	99.11 \pm 8.254	1 362.10 \pm 17.992	0.07 \pm 0.005

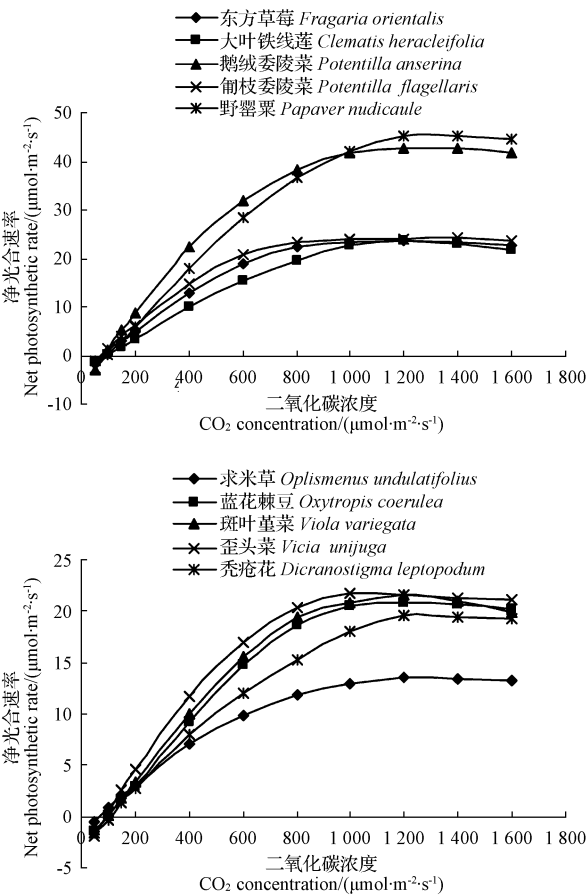


图 3 10 种野生地被植物的二氧化碳响应曲线
Fig. 3 The CO₂ variation of photosynthetic rate of 10 species of wild ground cover plants

3 结论与讨论

植物生长与光合有效辐射密切相关,植物对光的适应性会改变植物的光合适应性^[7],植物光合作用日变化曲线的不同程度是每种植物的特性^[8]。植物的生长发育与其光合能力密切相关,系统研究野生地被植物的光合特性,能为适地选育合适的植物品种提供指导^[9]。该试验结果表明,10 种野生地被植物对光的反映各不相同,

同,光合速率日变化曲线形式各异,这与大多数学者的研究结果是一致的^[10-11]。秃疮花及东方草莓表现为单峰曲线,并未出现“午休”现象,即在高光条件下仍能进行正常的光合作用,促进植株的正常生长,结合光响应曲线分析可知,2 种植物能忍受较高的光合有效辐射;野罂粟等 8 种地被植物则为双峰曲线,有明显的“午休”现象。“午休”现象是植物对光抑制的一种适应表现,植株通过对光的能量调节从而保护自身不受伤害,形成对外界环境的一种响应^[12]。10 种野生地被植物均在 10:00 时出现一天中光合速率的最大值,即第一峰值;次峰出现于 14:00—16:00,且第二峰的净光合速率明显低于第一峰,这可能是因为中午的光抑制作用在午后并未完全消除。

光补偿点(LCP)是反映植物耐阴程度的重要判断标准,它直接反映出植物对弱光的利用能力强。LCP 在 0~10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 为阴生植物,大于 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 为阳生植物。光饱和点(LSP)反映的是植物对强光的利用能力,LSP 越高说明植物在受到高光胁迫时越不易发生光抑制现象^[13]。该试验结果表明,10 种野生地被植物在光强低于某一数值时,净光合速率随光强增加不断增大,随后逐渐平缓。求米草光补偿点((9.64 \pm 0.525) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)与饱和点((745.72 \pm 20.957) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)均最低,对弱光的适应能力明显优于其它 9 种植物,且 LCP 小于 10 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,是典型的阴生植物;蓝花棘豆的光饱和点最高,可以达到(1 145.22 \pm 20.665) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,可以作为高光种质资源,在与其它园林植物进行配置时,避免受到过度的遮阴;东方草莓光补偿点(20.78 \pm 0.917) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 较低而饱和点(1 127.05 \pm 25.548) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 较高,对光强的要求较低,表现出较强的生态适应性,在园林应用中应适地种植。

二氧化碳是植物进行光合作用的重要原料,空气中二氧化碳的浓度对植物的光合作用有极大的影响。二氧化碳补偿点(CCP)和二氧化碳饱和点(CSP)是判断植

物是否具有高光效率遗传特性的重要指标^[14]。CCP 低的植物具有高光合速率、低呼吸速率的特点,所以,CCP 低是植物速生的原因之一。张彩丽^[16]研究发现在二氧化碳浓度为 $1\ 000\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,差不嘎蒿光合速率仍上升,证明二氧化碳是其重要的光合潜力限制因素。该试验结果表明,求米草具有最低的二氧化碳补偿点,仅为 $(67.72 \pm 4.567)\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,表明求米草具有较高的生长潜力,是重要的速生野生地被植物;秃疮花的二氧化碳补偿点最高,为 $(107.94 \pm 9.345)\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,这说明秃疮花对环境中的二氧化碳需求量较大,适合在二氧化碳浓度较高的地区栽植。而较高的 CCP 不利于植物光合产物的积累,这也许是秃疮花较求米草而言生长缓慢的原因之一。鹅绒委陵菜的羧化效率最高达到 0.10,加之其较高的净光合速率及较低的光补偿点也表现出较强的生长潜力,且其成坪速度快^[16],有着良好的开发利用价值。

参考文献

- [1] 刘雪梅.合肥市野生地被植物资源研究及园林应用[D].合肥:安徽农业大学,2012.
- [2] 王金虎,彭志,汤庚国.苏州野生地被植物资源分析[J].江苏林业科技,2012,39(3):4-7.
- [3] 罗丹.5种园林植物生态效益研究[J].广东林业科技,2014,30(3):47-51.
- [4] 吴志庄,高贵宾,熊德礼,等.9个主要丛生竹种光响应曲线的研究[J].竹子研究汇刊,2013,32(2):16-20.
- [5] 严海燕,董然,金光勋.遮阴对富贵草光合特性的影响[J].东北林业大学学报,2013,41(5):46-49.
- [6] 叶子飘,王建林.植物光合-光响应模型的比较分析[J].井冈山学院学报(自然科学版),2009,30(4):9-13.
- [7] 杨东海.七种常用植物耐阴性的研究[D].长春:吉林农业大学,2011.
- [8] BJORLANAN O, HOHNGREN P. Adaptability of the photosynthetic apparatus to light intensity ecotypes from exposed and shaded habitat[J]. Physiol Plantarum, 1963, 16(4):889-914.
- [9] 韩彪,李文清,鲁仪增,等.不同种源地北美鹅掌楸光合特性研究[J].西北林学院学报,2015,30(4):73-77.
- [10] 彭邵峰,王瑞,陈永忠,等.油茶无性系果实长期光合特性研究[J].西北林学院学报,2012,27(1):28-34.
- [11] 陈襄襄.野生地被植物寒莓生物学特性初步研究[D].成都:四川农业大学,2007.
- [12] 俞继红.3种彩叶植物的光合特性比较[J].西北林学院学报,2014,29(4):21-25.
- [13] 甘德欣,王明群,龙岳林,等.3种彩叶植物的光合特性研究[J].湖南农业大学学报,2006,32(6):607-610.
- [14] 刘奇峰.4种药用植物的光合生理生态特性研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2007.
- [15] 张彩丽.科尔沁沙地不同植物种的光合特征与生理特征研究[D].北京:中央民族大学,2007.
- [16] 赵婵璞.两种委陵菜的适应性研究[D].保定:河北农业大学,2014.

Photosynthetic Characteristics of Ten Species of Wild Ground Cover Plants

DONG Qian¹, LI Lianlong², LIU Yuemei², LIU Dongyun¹

(1. College of Landscape and Tourism, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071000; 2. Beijing Foreign Building Architectural Design Co. Ltd., Beijing 100192)

Abstract: Taking *Fragaria orientalis*, *Viola variegata*, *Potentilla flagellaris*, *Potentilla anserina*, *Papaver nudicaule*, *Oxytropis coerulea*, *Oplismenus undulatifolius*, *Clematis heracleifolia*, *Vicia unijuga* and *Dicranostigma leptopodum* as test materials. In the experiment, diurnal change of photosynthesis, light response curves and CO₂ response curves of ten species of wild ground cover plants were researched. The results showed that the diurnal changes of the net photosynthetic rate of both *Fragaria orientalis* and *Dicranostigma leptopodum* were unimodal curves, but the other of eight species displayed twin peaks with an obvious midday depression. Both the light saturation point ($(9.64 \pm 0.525)\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) and the CO₂ compensation point ($(67.72 \pm 4.567)\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) of *Oplismenus undulatifolius* were the lowest. All these showed that *Oplismenus undulatifolius* was the representative shade plant. The light compensation point ($(74.21 \pm 1.065)\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) of *Oxytropis coerulea* was much higher than the other species, and the CO₂ compensation point ($(107.94 \pm 9.345)\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) of *Dicranostigma leptopodum* was the highest, both of these species showed the phototaxis.

Keywords: wild ground cover plants; diurnal variation; light curve; the CO₂ variation of photosynthetic rate