

北京市 28 种地被植物光合特性的研究

滕文军¹, 姜红岩², 温海峰¹, 范希峰¹, 武菊英¹

(1. 北京草业与环境研究发展中心, 北京 100097; 2. 北京林业大学 草坪研究所, 北京 100083)

摘要:为了筛选北京市耐荫绿化地被植物, 选用 28 种地被植物, 测定了其光合色素含量及光合特性, 并对 28 种地被植物进行了聚类分析。结果表明: 美国石竹、鼠尾草、‘原野’无芒雀麦、百脉根、‘纽一’多年生黑麦草、紫花地丁、‘Accent’多年生黑麦草、白三叶、蓝亚麻、桔梗及‘WL354HQ’紫花苜蓿中的叶绿素 a/b 比值较低。细茎冰草、美国石竹、蒲公英、日本苔草的光饱和点和光补偿点均较低, 表观量子效率均在 0.05 以上。‘Accent’多年生黑麦草、老芒麦、普通高羊茅、‘科罗拉多’高羊茅、百脉根、鼠尾草的光饱和点均在 $1\ 200\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以上, 光补偿点均在 $50\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以下, 同时总叶绿素含量均在 0.8 mg/g 以上, 表观量子效率均在 0.05 以上。将 28 种植物的光补偿点进行了聚类分析, 当聚合距离为 5 时可将这 28 种地被植物分为 3 类, 其中, 光补偿点最大的是‘WL354HQ’紫花苜蓿、‘Companion’日本结缕草和蓝亚麻。

关键词: 地被植物; 耐荫性; 叶绿素含量; 光响应曲线

中图分类号: S688.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2019)03-0035-08

在我国城市化的建设下, 城市规划的要求逐渐提高, 城市绿化的步伐加快, 而简单的植树绿化已经无法满足城市规划的要求^[1-3]。同时在大量的园林绿地、城市道路中植树绿化形成了背阴空地^[4], 大约 20%~30% 的遮荫地块未被植物覆盖^[1]。而耐荫植物因为其本身特性能够在荫蔽的环境下生长, 可用于遮荫地块的绿化^[3,5]。植物的耐荫性与光合特性密切相关, 研究植物的光合特性能了解其对光能的利用效率和植物光合的生物学特征^[6-7]。叶绿素是植物进行光合作用的重要成分, 叶绿素含量及成分会影响植物的光合作用及光合速率^[8]。张红星等^[9]根据叶绿素含量及成分与光响应曲线拟合参数将鹅耳枥、漆树、木姜子归为耐荫

喜光型植物。巨关升等^[10]对狼尾草光合特性进行了研究, 表明狼尾草是一种较耐荫的 C4 阳性植物。杨学军等^[11]对 5 种狼尾草的光合特性进行了研究, 5 种狼尾草的光合日进程均成单峰型, 无“午休”现象; 表观量子效率与耐荫植物接近, 光能利用效率和水分利用效率均较高, 5 种狼尾草均为耐荫的日光性植物。高鹤等^[12]研究了 7 种优良观赏草的光合特性, 其中, 柳枝稷的光补偿点, 净光合速率及水分利用率最高, 是抗旱耐荫性植物。

地被植物是一类株丛密集、低矮的植物群体, 能够覆盖地面、防止水土流失并具有一定的观赏、美化景观的作用, 包括多年生的低矮草本植物, 小灌木和藤本植物等^[13-14]。地被植物种类繁多, 色彩丰富, 抗逆性强, 在园林绿化的建植中, 既可以独立成景, 又可与其他植物配合, 在提高绿化覆盖面积、增强生态环境的同时还具有节约管理成本的优势^[15-16]。对 28 种地被植物的叶绿素含量及光合特性进行研究, 为荫蔽条件下城市绿化中的地被植物的选择及应用提供理论依据。

收稿日期: 2019-01-02; **修回日期:** 2019-04-26

基金项目: 北京市科技计划(D171100007217001); 北京市农林科学院科技创新能力建设专项(KJ CX20170110)资助

作者简介: 滕文军(1964-), 男, 北京人, 副研究员, 主要从事观赏草育种研究。

E-mail: tengwenjun@126.com;

武菊英为通讯作者。

E-mail: wujuying@grass-env.com

1 材料和方法

1.1 试验材料与研究区概况

试验于 2018 年 7 月在北京市农林科学院草业中

心温室中进行,生长条件为 25℃/15℃(昼/夜),光照时长为 12~14 h。试验选用的青绿苔草、小果苔草、披针叶苔草、早熟禾、‘科罗拉多’高羊茅、老芒麦、百脉根、紫花地丁、蒲公英、蓝亚麻、桔梗等 28 种地被植物的种子均为本中心保存。

1.2 试验设计

将 28 种地被植物播种于高 15 cm、直径 10 cm 的花盆,基质配比为草炭:蛭石:珍珠岩为 3:1:1,一周浇 2~3 次水、1 次 1/2 霍格兰营养液。每种地被植物设置 4 个重复。当地被植物生长 3 个月时,测定叶绿素含量和不同光强下的净光合速率。

1.3 试验方法

1.3.1 光合色素含量的测定 地被植物健康生长 3 个月 after 取样,每个重复称取健康叶片 0.05~0.08 g,剪碎后置于离心管中,加入 8 mL 95% 的乙醇,避光静置 48 h,于 665,649 和 470 nm 下测定其吸光度值^[17],计算叶绿素含量。

$$C_a = (13.95D_{665\text{nm}} - 6.88D_{649\text{nm}}) \times V/W$$

$$C_b = (24.96D_{649\text{nm}} - 7.32D_{665\text{nm}}) \times V/W$$

$$C_{\text{叶绿素}} = C_a + C_b$$

$$C_{\text{类胡萝卜素}} = (1000D_{470\text{nm}} - 2.05C_a - 115.8C_b) \times V/245W$$

式中: C_a 为叶绿素 a 含量, C_b 为叶绿素 b 含量, $C_{\text{叶绿素}}$ 为叶绿素总含量, $C_{\text{类胡萝卜素}}$ 为类胡萝卜素含量, V 为浸提液的最终体积 8 mL, W 为叶片鲜质量。

1.3.2 光响应曲线 用 Li-6400 光合作用分析系统的人工光源控制光强,设定不同光合有效辐射(PAR)为 0、20、60、100、150、250、500、750、1 000、1 200、1 500、2 000、2 500 和 3 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,测定不同光强下的 28 种地被植物的净光合速率。

用非直角双曲线拟合,根据拟合曲线估计光饱和点和光补偿点。非直角双曲线公式^[18]。

$$A = (\varphi \times Q + A_{\text{max}} - \text{SQRT}((\varphi \times Q + A_{\text{max}}) \times (\varphi \times Q + A_{\text{max}}) - 4 \times K \times \varphi \times A_{\text{max}})) / (2/K) - R_{\text{day}}$$

式中: A 为净光合速率, φ 为表观量子效率, A_{max} 为最大净光合速率, K 为光响应曲线区角, R_{day} 为暗呼吸速率。

$$\text{Photo} = \varphi \times \text{PPFD} - R_{\text{day}} \quad (\text{PPFD} \leq 200 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}))$$

式中:PPFD 为光和有效辐射,Photo 为光合作用对光饱和点和光补偿点进行拟合;当 Photo 为 0 时的 PPFD 则为光补偿点(LCP);当 Photo 为 A_{max} 时的 PPFD 则为光饱和点(LSP)。利用 SPSS 23.0 对 28 种地被植物的光合曲线及 R^2 进行拟合。

1.3.3 聚类分析 利用公式对光补偿点进行拟合,通过 SPSS 23.0 对 28 种地被植物的光补偿点进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 光合色素含量

‘Accent’多年生黑麦草、细茎冰草、‘蓝精灵’早熟禾、‘斗士’早熟禾等 9 种草坪地被的类胡萝卜素含量最高,无显著性差异;‘原野’无芒雀麦、白三叶、鼠尾草、美国石竹中的类胡萝卜素含量最少,与‘Accent’多年生黑麦草、细茎冰草等 9 种草坪地被的类胡萝卜素含量差异显著。‘Accent’多年生黑麦草、细茎冰草、‘蓝精灵’早熟禾、‘斗士’早熟禾及青绿苔草中的总叶绿素含量最高,无显著性差异;‘原野’无芒雀麦、白三叶、美国石竹中的总叶绿素含量最低,与‘Accent’多年生黑麦草、细茎冰草、‘蓝精灵’早熟禾、‘斗士’早熟禾及青绿苔草中的总叶绿素含量相比差异显著性。细茎冰草、‘蓝精灵’早熟禾、青绿苔草、‘斗士’早熟禾、披碱草、‘Companion’日本结缕草、‘Zenith’日本结缕草等 10 种地被植物中的叶绿素 a/b 的值在 28 种地被植物中最高且无显著性差异;美国石竹和鼠尾草中的叶绿素 a/b 值在 28 种地被植物中比值最低,其中,鼠尾草与其他 26 种地被植物的叶绿素 a/b 值差异性显著(表 1)。

2.2 光响应曲线

28 种地被植物中有 20 种光强在 800 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以下时,净光合速率随着光强的增加迅速增加;光强超过 800 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以后,净光合速率上升缓慢,逐渐趋于与 X 轴平行,且在高光强下均没有出现明显的光抑制现象。而细茎冰草、青绿苔草、‘阿尔冈金’紫花苜蓿、小果苔草、日本苔草、披针叶苔草、蒲公英、美国石竹光强在 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以下时,净光合速率随着光强的增加迅速增加;光强超过 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以后,净光合速率上升缓慢,逐渐趋于与 x 轴平行,且在高光强下均没有出现明显的光

抑制现象(图1)。

表1 28种地被植物的光合色素含量

Table 1 Photosynthetic pigment contents of 28 ground cover plants

地被植物	科属	类胡萝卜素含量 /(mg·g ⁻¹)	总叶绿素含量 /(mg·g ⁻¹)	叶绿素 a/b
‘Accent’多年生黑麦草 <i>Lolium perenne</i> cv. Accent	禾本科黑麦草属	(0.266 8±0.024) ^a	(1.747 8±0.181) ^a	2.497 ^{fg hij} ±0.083
细茎冰草 <i>Slender Wildrye</i>	禾本科披碱草属	0.263 4 ^a ±0.026	1.608 9 ^{ab} ±0.147	2.834 2 ^{abcd} ±0.097
‘蓝精灵’早熟禾 <i>Poa annua</i> cultivar cv. Smurf	禾本科早熟禾属	0.260 9 ^a ±0.029	1.600 7 ^{ab} ±0.183	2.796 2 ^{abcde} ±0.040
青绿苔草 <i>Carex breviculmis</i>	莎草科苔草属	0.251 2 ^{ab} ±0.021	1.744 4 ^a ±0.125	2.758 2 ^{bcdefg} ±0.120
‘斗士’早熟禾 <i>Poa annua</i> cultivar cv. Fighter	禾本科早熟禾属	0.247 5 ^{ab} ±0.014	1.500 1 ^{abc} ±0.074	2.850 4 ^{abcd} ±0.093
披碱草 <i>Elymus dahuricus Turcz</i>	禾本科披碱草属	0.244 5 ^{ab} ±0.028	1.489 2 ^{bc} ±0.135	2.988 5 ^a ±0.129
‘Companion’日本结缕草 <i>Zoysia japonica</i> cv. Companion	禾本科结缕草属	0.234 8 ^{abc} ±0.033	1.390 7 ^{bcd} ±0.216	2.915 5 ^{abc} ±0.067
‘Zenith’日本结缕草 <i>Zoysia japonica</i> cv. Zenith	禾本科结缕草属	0.228 3 ^{abc} ±0.022	1.394 6 ^{bcd} ±0.128	2.933 3 ^{ab} ±0.120
普通高羊茅 <i>Festuca elata</i>	禾本科羊茅属	0.226 9 ^{abc} ±0.027	1.450 5 ^{bc} ±0.159	2.649 8 ^{cdefgh} ±0.062
‘阿尔冈金’紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> cultivar cv. Algonquin	豆科苜蓿属	0.213 7 ^{bcd} ±0.080	1.375 9 ^{bcd} ±0.437	2.660 6 ^{bcdefgh} ±0.235
老芒麦 <i>Elymus sibiricus</i>	禾本科披碱草属	0.208 3 ^{bcd} ±0.017	1.329 8 ^{cde} ±0.081	2.763 3 ^{abcdef} ±0.057
小果苔草 <i>Carex limprichtiana</i>	莎草科苔草属	0.207 9 ^{bcd} ±0.023	1.435 1 ^{bc} ±0.126	2.516 6 ^{efghij} ±0.166
白颖苔草 <i>Carex rigescens</i>	莎草科苔草属	0.206 3 ^{bcd} ±0.025	1.069 2 ^{fg} ±0.118	2.635 6 ^{defgh} ±0.141
日本苔草 <i>Carex japonica Thunb</i>	莎草科苔草属	0.187 1 ^{cdefg} ±0.010	1.287 2 ^{cdef} ±0.081	2.882 2 ^{abcd} ±0.081
披针叶苔草 <i>Carex lanceolata</i> Boott	莎草科苔草属	0.175 2 ^{defg} ±0.034	1.259 6 ^{cdef} ±0.186	2.783 2 ^{abcde} ±0.155
蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	菊科蒲公英属	0.170 7 ^{defg} ±0.004	1.158 3 ^{def} ±0.026	2.576 7 ^{defghi} ±0.048
蓝亚麻 <i>Linum perenne</i>	亚麻科亚麻属	0.170 2 ^{defg} ±0.015	1.071 8 ^{fg} ±0.086	2.474 7 ^{hijk} ±0.086
桔梗 <i>Platycodon grandiflorus</i>	桔梗科桔梗属	0.165 6 ^{efgh} ±0.008	1.071 1 ^{fg} ±0.008	2.481 4 ^{hijk} ±0.101
‘科罗拉多’高羊茅 <i>Festuca elata</i> cv. Colorado	禾本科羊茅属	0.165 1 ^{efgh} ±0.027	1.101 4 ^{efg} ±0.160	2.502 7 ^{efghij} ±0.012
‘WL354HQ’紫花苜蓿 <i>Medicago sativa</i> cv. WL354HQ	豆科苜蓿属	0.161 2 ^{efgh} ±0.059	1.084 1 ^{efg} ±0.358	2.486 1 ^{ghijk} ±0.292
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	禾本科赖草属	0.160 2 ^{efgh} ±0.018	1.010 7 ^{efgh} ±0.082	2.529 1 ^{efghij} ±0.091
百脉根 <i>Lotus corniculatus</i>	豆科百脉根属	0.146 9 ^{gh} ±0.076	1.040 3 ^{efgh} ±0.434	2.196 3 ^{lm} ±0.547
‘纽一’多年生黑麦草 <i>Lolium perenne</i> cv. Niuyi	禾本科黑麦草属	0.141 8 ^{ghi} ±0.013	1.040 9 ^{efgh} ±0.048	2.221 4 ^{klm} ±0.145
紫花地丁 <i>Viola philippica</i>	堇菜科堇菜属	0.120 9 ^{hij} ±0.035	0.887 4 ^{ghi} ±0.108	2.273 5 ^{klm} ±0.474
‘原野’无芒雀麦 <i>Bromus inermis</i> cv. Yuanye	禾本科雀麦属	0.098 ^{ijk} ±0.017	0.804 6 ^{hij} ±0.135	2.068 6 ^{lm} ±0.087
白三叶 <i>Trifolium repens</i>	豆科车轴草属	0.094 8 ^{ijk} ±0.019	0.755 8 ^{ij} ±0.063	2.308 4 ^{ijkl} ±0.148
鼠尾草 <i>Salvia japonica</i>	唇形科鼠尾草属	0.073 6 ^k ±0.020	0.871 5 ^{ghi} ±0.052	1.794 3 ⁿ ±0.351
美国石竹 <i>Dianthus barbatus</i>	石竹科石竹属	0.066 9 ^k ±0.010	0.578 6 ^j ±0.063	2.023 7 ^{mn} ±0.088

注: 同列不同字母表示差异显著(P<0.05)

通过对 28 种植物进行光合曲线拟合,其中‘原野’无芒雀麦、美国石竹、白颖苔草、小果苔草、日本苔草、羊草、披针叶苔草、细茎冰草、鼠尾草、百脉根、普通高羊茅的表观量子效率均在 0.06 以上,其次为‘阿尔冈金’紫花苜蓿、蒲公英、‘Accent’多年生黑麦草、‘科罗拉多’高羊茅、桔梗、蓝亚麻、紫花地丁。而老芒麦、‘斗士’早熟禾、‘纽一’多年生黑麦草、‘蓝精灵’早熟禾、‘Companion’结缕草、白三叶、‘Zenith’日本结缕草、披碱草、‘WH’紫花苜蓿、青绿苔草的表观量子效率低于 0.04。

通过光响应曲线拟合图测定的数据,对 28 种地被植物的光饱和点和光补偿点进行了初步确定(表

2)。其中,光饱和点在 $2\ 000\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以上的地被植物有 4 种,分别为‘Accent’多年生黑麦草、‘Zenith’日本结缕草、‘纽一’多年生黑麦草、白三叶。而‘阿尔冈金’紫花苜蓿、披针叶苔草、细茎冰草、美国石竹、蒲公英、日本苔草、青绿苔草的光饱和点在 $750\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以下。其余的地被植物的光饱和点均在 $1\ 000 \sim 2\ 000\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。28 种地被植物中‘WL354HQ’紫花苜蓿和‘Companion’日本结缕草的光补偿点最大,均在 $100\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以上;而羊草、‘原野’无芒雀麦、小果苔草、细茎冰草、美国石竹、蒲公英、日本苔草、青绿苔草的光补偿点均在 $20\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以下。

表 2 28 种地被植物的非直角双曲线模型拟合值

Table 2 Fitting values of non-orthogonal hyperbolic models of 28 ground cover plants

地被植物	A_{\max}	R_{day}	K	φ	Lcp	Lsp	R^2
‘Accent’多年生黑麦草	26.87	2.02	-1.26	0.05	42.06	2 500	1.00
‘Zenith’日本结缕草	10.11	2.27	0.87	0.03	70.81	2 500	0.99
‘纽一’多年生黑麦草	15.68	2.22	0.19	0.04	58.37	2 000	1.00
白三叶	19.27	2.36	0.36	0.03	69.32	2 000	1.00
老芒麦	20.53	1.75	-0.11	0.04	41.76	1 500	1.00
普通高羊茅	25.47	2.64	-0.09	0.06	45.59	1 200	1.00
科罗拉多高羊茅	19.50	1.79	0.38	0.05	38.06	1 200	1.00
‘WL354HQ’紫花苜蓿	11.84	3.15	0.14	0.03	108.59	1200	1.00
百脉根	22.07	3.06	-4.00	0.06	49.29	1 200	1.00
鼠尾草	17.25	1.76	-2.78	0.07	25.48	1 200	1.00
蓝亚麻	24.81	4.26	-0.01	0.05	90.72	1 200	1.00
紫花地丁	20.79	1.20	0.61	0.05	26.15	1 000	1.00
‘斗士’早熟禾	17.33	1.30	0.54	0.04	32.55	1 000	1.00
羊草	36.18	0.49	-78.45	0.12	4.07	1 000	0.89
披碱草	14.25	2.09	0.73	0.03	72.00	1 000	1.00
‘原野’无芒雀麦	49.94	0.70	-289.87	0.13	5.58	1 000	0.91
‘蓝精灵’早熟禾	12.13	2.31	0.29	0.04	64.08	1 000	1.00
‘Companion’结缕草	17.91	3.85	0.60	0.04	107.06	1000	1.00
桔梗	13.51	2.33	0.10	0.05	49.53	1 000	1.00
白颖苔草	13.12	2.58	-2.44	0.13	20.67	1 000	0.99
小果苔草	50.00	0.19	-1115.13	0.13	1.48	1 000	0.85
‘阿尔冈金’紫花苜蓿	17.64	3.19	-11.87	0.05	59.11	750	0.91
披针叶苔草	13.67	1.02	-7.04	0.12	20.67	750	0.99
细茎冰草	8.15	1.06	-20.39	0.12	9.04	500	0.98
美国石竹	8.43	0.17	-3.06	0.13	1.38	500	0.93
蒲公英	12.57	0.89	0.87	0.05	18.48	500	1.00
日本苔草	16.02	1.87	-1.36	0.12	15.09	500	1.00
青绿苔草	35.77	0.25	-423.93	0.01	17.50	500	0.98

2.3 光补偿点聚类

对 28 种地被植物的光补偿点进行了聚类分析,结果显示当聚合距离为 5 时可将 28 种地被植物分为 3

类。‘WL354HQ’紫花苜蓿、‘Companion’日本结缕草和蓝亚麻为一类,其光补偿点在 28 种草坪地被植物中最大;披碱草、‘Zenith’日本结缕草、白三叶、‘蓝精灵’

早熟禾、‘阿尔冈金’紫花苜蓿等为一类,光补偿点次之;细茎冰草、‘原野’无芒雀麦、羊草、小果苔草、美国石竹等为一类,光补偿点最小(图 2)。

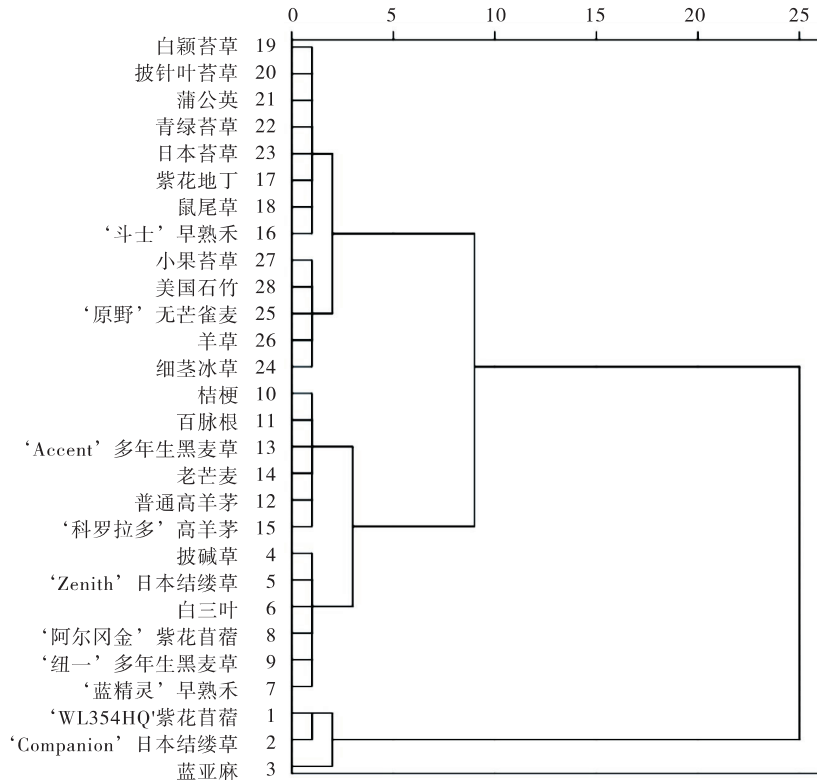


图 2 28 种地被植物光补偿点的聚类分析

Figure 2 Hierarchical clustering analysis of 28 ground cover plants based on light compensation point

3 讨论

北京市因为遮荫问题形成了许多林下空地,而植物的耐荫性与植物的光合作用密切相关。光合色素是植物进行光合作用的物质基础^[19-20],其光合特性和光合色素是植物品种选育和栽培的基础^[21]。

在植物的光合作用中叶绿素起着重要作用,由于叶绿素 a、b 吸收光区和吸收波长及其含量不同,能反映植物的光合特性。类胡萝卜素吸收蓝光并把吸收的光能传递给中心色素,同时还可起到保护叶绿素的作用,可以防止强光对叶绿素造成伤害^[22-23]。试验中‘Accent’多年生黑麦草、细茎冰草、‘蓝精灵’早熟禾、‘斗士’早熟禾等 9 种草坪地被的类胡萝卜素含量最高。叶绿素含量是衡量植物利用光能能力的重要指标^[24],28 种地被植物中,‘Accent’多年生黑麦草、细茎冰草、‘蓝精灵’早熟禾、‘斗士’早熟禾及青绿苔草中的总叶绿素含量最高,表明 5 种地被植物在 28 种植物中利用光能的潜力最强。叶绿素 a/b 值是衡量植物耐荫

性的重要指标^[4,25],叶绿素 a/b 比值较小有利于植物吸收蓝紫光^[4],从而适合于在暗处生长,因而 a/b 值越小利用弱光的能力越强、耐荫性越强^[4,21,26-27]。美国石竹、鼠尾草、‘原野’无芒雀麦、百脉根、‘纽一’多年生黑麦草、紫花地丁、‘Accent’多年生黑麦草、白三叶、蓝亚麻、桔梗及‘WL354HQ’紫花苜蓿中的叶绿素 a/b 值在这 28 种植物中比值较低,从叶绿素 a/b 的角度分析其耐荫性较强。但有研究表明叶绿素 a/b 值小的植物不一定耐荫,如草地早熟禾的叶绿素 a/b 值比涝峪苔草叶绿素 a/b 值小,涝峪苔草的耐荫性却比草地早熟禾强^[1]。所以需要进一步结合大田试验验证这 28 种植物的耐荫性。

植物光饱和点和光补偿点直接反应了植物对弱光利用能力的强弱^[9,11,22,28],是判断植物耐荫性的 2 个重要指标。光补偿点和光饱和点均较低的植物是典型的耐荫植物^[29];光补偿点较低、光饱和点较高的植物对光环境的适应性较强;而光补偿点较高、光饱和点较低的植物对光照的适应性较弱^[9,11]。细茎冰草、美国石

竹、蒲公英、日本苔草及青绿苔草的光饱和点和光补偿点均较低。而且细茎冰草、美国石竹、蒲公英、日本苔草的表观量子效率均在0.05以上,表明4种地被植物具有一定的耐荫性。巨关升等^[10]研究报道,狼尾草的光饱和点为 $1\ 200\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,光补偿点为 $15\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,表观量子效率为0.057 43,是一种较耐荫的C4阳性植物。‘Accent’多年生黑麦草、老芒麦、普通高羊茅、‘科罗拉多’高羊茅、百脉根、鼠尾草的光饱和点均在 $1\ 200\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以上,光补偿点均在 $50\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以下,同时总叶绿素含量均在0.8 mg/g以上,表观量子效率均在0.05以上。5种植物的光补偿点较低,光饱和点较高,表观量子效率较大,表明有较强的利用弱光的能力,可以较好适应荫蔽环境,又可以在光照充分时更好地生长。樊晚林等^[21]研究报道野牡丹、毛稔、紫毛野牡丹均为阳性植物,综合光补偿点、表观量子利用效率、叶绿素含量和叶绿素a/b等因素分析,三者的耐荫性由强到弱依次为野牡丹、毛稔、紫毛野牡丹。

4 结论

美国石竹、鼠尾草、‘原野’无芒雀麦等11种地被植物叶片的叶绿素a/b在28种植物中比值较低。细茎冰草、美国石竹、蒲公英、日本苔草的光饱和点和光补偿点均较低,表观量子效率均在0.05。‘Accent’多年生黑麦草、老芒麦、普通高羊茅、‘科罗拉多’高羊茅、百脉根、鼠尾草的光饱和点较高,光补偿点较低,同时总叶绿素含量均在0.8 mg/g以上,表观量子效率均在0.05以上,表明有较强的利用弱光的能力。本研究为荫蔽条件下城市绿化中的地被植物的选择及应用提供了理论依据。将28种植物的光补偿点进行了聚类分析,当聚合距离为5时可将28种地被植物分为3类,其中光补偿点最大的是‘WL354HQ’紫花苜蓿、‘Companion’日本结缕草和蓝亚麻。

参考文献:

[1] 石进朝. 涝峪苔草叶绿素含量与耐荫性研究[J]. 中国农学通报, 2007, 3(3): 240—243.

[2] 温韦华, 陈燕, 刘东焕, 等. 10种园林植物的耐荫性比较研究[J]. 中国园林, 2018(9): 104—108.

[3] 王兵. 耐荫植物在道路绿化景观中的综合应用[J]. 现代园艺, 2018, 8(16): 125—126.

[4] 高传友. 广西地区15种典型园林观赏植物的耐荫性及光

合特性[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(4): 209—214.

[5] 刘俊英. 耐荫植物在园林绿化中的应用[J]. 现代园艺, 2014, 4(12): 149—151.

[6] 朱莹, 温韦华, 陈进勇, 等. 七种地被植物的耐荫性研究[J]. 中国园林, 2015(6): 90—94.

[7] 刘晓嘉, 范爱淇, 安佰义, 等. 玉带草光合特性的研究[J]. 湖北农业学, 2017, 56(15): 2893—2901.

[8] 王洪港, 刘丽, 张祺超, 等. 白榆钻木嫁接不同榆属植物叶绿素和光合作用比较[J]. 农家参谋, 2019(3): 103—104.

[9] 张红星, 张硕新, 雷瑞德. 火地塘油松群落中9种植物光合特性研究[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(1): 20—28.

[10] 巨关升, 武菊英, 赵军锋, 等. 观赏狼尾草光合特性的研究[J]. 核农学报, 2005, 19(6): 451—455.

[11] 杨学军, 武菊英, 滕文军, 等. 5种狼尾草属观赏草光合特性研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(1): 122—126.

[12] 高鹤, 宗俊勤, 陈静波, 等. 7种优良观赏草光合生理日变化及光响应特征研究[J]. 草业学报, 2010, 19(4): 87—93.

[13] 袁小环, 滕文军, 武菊英. 新型地被植物观赏草[C]. 草坪与地被科学进展论文汇编, 2006: 266.

[14] 史向辅. 草坪与地被植物在园林绿化中的应用[J]. 内蒙古农业科技, 2015, 43(1): 85—86.

[15] 任高. 北方地区园林绿化中地被植物的应用[J]. 现代园艺, 2018(6): 155—156.

[16] 佟岩. 颐和园地被植物的现状与应用[J]. 北京园林, 2018, 34(2): 53—58.

[17] 梁小红, 艾非凡, 钟天秀, 等. 多年生黑麦草对干旱-低温交叉适应的生理响应[J]. 草业学报, 2016, 25(1): 163—170.

[18] 李佳, 刘济明, 文爱华, 等. 米槁幼苗光合作用及光响应曲线模拟对干旱胁迫的响应[J]. 生态学报, 2019, 39(3): 913—922.

[19] 齐荣, 秦舒浩, 师尚礼, 等. 苜蓿与连作马铃薯土壤浸提液配比对马铃薯光合、生理特性和产量的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2018, 53(1): 35—41.

[20] 程潜, 李斌, 张振乾, 等. 不同硼用量下油菜冠层反射光谱与叶绿素含量间定量关系[J]. 西南农业学报, 2018, 31(10): 2127—2134.

[21] 樊晚林, 温振英, 周雨琦, 等. 3种野牡丹属植物的光合特性[J]. 森林与环境学报, 2019, 39(2): 188—193.

[22] 谢雅琦. 四个观赏芒品种的耐荫性研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.

[23] 张林青, 周青, 肖程岭. 园林植物耐荫性研究进展[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(19): 4851—4853.

- [24] 周潇,毛凯,干友民. 我国地被植物耐荫性研究[J]. 北方园艺,2007(1):51—53.
- [25] 田雪慧. 3种地被植物耐荫性比较及园林应用分析[J]. 西南林业大学学报,2012,32(5):46—49.
- [26] 李军超,苏陕民. 黄花菜耐荫特性的初步研究[J]. 生态学报,1994,14(4):444—446.
- [27] ü Niinemets, O Kull, J D Tenhunen. TENHUNEN. An analysis of light effects on foliar morphology, physiology, and light interception in temperate deciduous woody species of contrasting shade tolerance[J]. *Tree Physiology*, 1998, 10(18):681—696.
- [28] 杨学军,韩蕾,孙振元,等. 耐荫地被植物小麦冬光合特性研究[J]. 草地学报,14(2):370—373.
- [29] Zhang J Z, Shi L, Shi A P, *et al.* Photosynthetic responses of four *Hosta* cultivars to shade treatments[J]. *Photosynthetica*, 2004, 42(2):213—218.

Photosynthetic characteristics of 28 ground cover plants in Beijing

TENG Wen-jun¹, JIANG Hong-yan², WEN Hai-feng¹,
FAN Xi-feng¹, WU Ju-ying¹

(1. *Beijing Grassland and Environmental Research and Development Center, Beijing 100097, China* ;
2. *Turf Research Institute, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China*)

Abstract: In order to screen the shade tolerant ground cover plant used in Beijing, the photosynthetic pigment content and photosynthetic characteristics of 28 species/cultivars of ground cover plants were studied. The results showed that the ratio of chlorophyll a/b in *Dianthus barbatus*, *Salvia japonica*, *Bromus inermis* cv. Yuanye, *Lotus corniculatus*, *Lolium perenne* cv. Niuyi, *Viola philippica*, *Lolium perenne* cv. Accent, *Trifolium repens*, *Linum perenne*, *Platycodon grandiflorus*, *Medicago sativa* cv. WL354HQ was lower among these 28 plants, indicated that these plants were more resistant to shade. The light saturation point and light compensation point of *Agropyron trachycaulum* cv. Slender, *Dianthus barbatus*, *Taraxacum mongolicum* and *Carex japonica* kept a relatively lower level, and their apparent quantum efficiency was above 0.05, which indicated that these 4 plants were more tolerant to shade stress. The light saturation points of *Lolium perenne* cv. Accent, *Elymus sibiricus*, *Festuca elata*, *Festuca elata* cv. Colorado, *Lotus corniculatus* and *Salvia japonica* were all above 1 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, and the light compensation points were below 50 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, the total chlorophyll content was above 0.8 mg/g, and the apparent quantum efficiency was above 0.05, which indicated their strong ability to utilize weak light.

Key words: ground cover; shade tolerance; chlorophyll content; light response curve