

· 研究论文 ·

薇甘菊叶片对光反射、透射和利用效率及其与同群落植物之比较研究

王文杰¹, 关宇¹, 祖元刚^{1*}, 廖文波², 张衷华¹, 陈华峰¹, 贺海升¹

¹ 东北林业大学森林植物生态学教育部重点实验室, 哈尔滨 150040; ² 中山大学生命科学学院, 广州 510275

摘要 该文对薇甘菊及其所在群落内19种植物(草本和木本)的叶片透射率、反射率和光合特征指标进行了测定, 结果表明: 薇甘菊与其它植物透射和反射图谱的变化趋势都比较相近, 在各个光学特征指标与光合相关指标的相互关系中, 薇甘菊并没有表现出区别于同一群落内其它植物的特征。从平均值来看, 200–800 nm下叶片反射率和透射率由大到小依次为: 薇甘菊>草本植物>木本植物, 薇甘菊各光学植被指标(SR680、SR750和PRI)均低于其它植物的平均值, 但是其光合能力(光利用效率、水分利用效率、电子传递速率和净光合速率)与其它植物接近或稍高。而且, 薇甘菊夏季叶片反射和透射率明显高于冬季, 这有利于散失夏季过多光照和充分利用冬季短缺光照。薇甘菊叶片的上述光学特征, 可能是其生长于其它植物表面强光照环境的一种适应性表现, 有利于其在入侵地快速生长。

关键词 薇甘菊, 草本植物, 木本植物, 光合能力, 反射率, 透射率, SR680, SR750

王文杰, 关宇, 祖元刚, 廖文波, 张衷华, 陈华峰, 贺海升 (2008). 薇甘菊叶片对光反射、透射和利用效率及其与同群落植物之比较研究. 植物学通报 25, 638–647.

薇甘菊(*Mikania micrantha*)是菊科(Compositae)假泽兰属(*Mikania*)攀缘草本植物。原产于热带美洲, 后来迅速蔓延至南美及美国南部(Bogidaranti, 1989)。1884年在香港动植物园采集到了薇甘菊标本, 1919年在歌赋山采集到逸生的薇甘菊标本(孔国辉等, 2000a, 2000b), 以后即在香港迅速蔓延, 20世纪80年代末传入我国广东沿海地区, 并对我国东南沿海地区造成了重大生态灾难(钟晓青等, 2004)。

研究薇甘菊入侵的原因对于生物控制这一物种至关重要。目前已有相关报道(张茂新等, 2002; 王伯荪等, 2004; Deng et al., 2004; 祖元刚等, 2006; 王文杰等, 2008), 但尚缺乏对薇甘菊叶片光反射率和透射率的相关研究, 它们是否对其强入侵能力具有影响值得关注。叶片对光的反射率和透射率能够反映叶片对光的利用能力(Gitelson et al., 2001), 甚至能够作为划分种属的一个依据(倪健和吴继友, 1997; Castro-Esau et al., 2006)。

进一步确定光学植被指标, 如SR680、SR750和PRI等, 能够在区域范围内揭示植物光合色素总量及其光合利用能力(Gamon et al., 1992; Zarco-Tejada et al., 1997)。为此, 本文对比研究了薇甘菊与其同一群落内其它草本植物、木本植物在叶片反射率、透射率、光合及光学植被指标等方面的区别, 以期从光学生理角度加深对薇甘菊的认识, 便于进一步理解其入侵机理。

1 材料与方法

1.1 实验植物

实验材料(薇甘菊(*Mikania micrantha* H.B.K.))于2005年12月采自深圳市福田区红树东方小区对面严重侵害的海边湿地(22°31.916' N, 113°59.119' E)。所选植物共20种(表1), 均采自同一个群落。其中, 草本植物除薇甘菊外, 共选择12种: 海芋(*Alocasia macrorrh-*

收稿日期: 2007-09-12; 接受日期: 2008-05-04

基金项目: 国家自然科学基金(No. 30771698, 40873063)、国家林业局林业有害植物调查专项、教育部新世纪优秀人才(No. NCET-07-0167)和中国博士后科学基金(No. 20080430126)

* 通讯作者。E-mail: zygorl@vip.hl.cn

表 1 薇甘菊与同一群落内不同植物各种光学和生理指标的比较

Table 1 Comparison of leaf optical and leaf physiological parameters of <i>Mikania micrantha</i> and other species in the same community													
Species name	SR680	SR750	PRI	Reflect- ance	Transmit- tance	Pn ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Water content	SLA ($\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$)	PSII efficiency	ETR ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Tr ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	WUE ($\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$)	LUE ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)
<i>Mikania micrantha</i>	12.53	2.39	0.06	0.10	0.10	6.51	0.85	4.29	0.28	79.65	1.48	4.38	6.29
Herbs in the same population													
<i>Alocasia macrorrhiza</i>	8.02	2.09	0.02	0.20	0.20	2.34	0.82	3.86	0.074	28.13	0.50	4.70	4.40
<i>Panicum repens</i>	15.66	1.73	0.06	0.18	0.18	16.68	0.80	4.16	0.144	79.41	2.74	6.09	10.32
<i>Ipomoea cairica</i>	48.25	2.54	0.07	0.10	0.10	13.67	0.89	3.18	0.223	97.65	4.33	3.16	7.67
<i>Desmodium racemosum</i>	4.82	5.34	-0.21	0.04	0.04	2.56	0.50	11.89	0.136	68.92	1.72	1.48	2.17
<i>Commelina communis</i>	118.0	2.53	0.09	0.09	0.09	1.79	0.85	1.75	0.166	58.42	0.62	2.91	1.41
<i>Eichhornia crassipes</i>	27.67	4.6	0.43	0.03	0.03	26.28	0.56	14.66	0.334	183.20	9.40	2.80	17.31
<i>Cyperus exaltatus</i>	24.78	9.38	0.33	0.03	0.03	4.06	0.76	9.60	0.145	53.46	2.31	1.76	2.79
<i>Canna orchoides</i>	50.50	2.153	0.09	0.11	0.11	4.72	0.86	3.71	0.234	76.89	2.14	2.20	3.84
<i>Alternanthera sessilis</i>	50.67	4.39	0.10	0.06	0.06	11.33	0.83	5.86	0.360	113.29	4.15	2.73	10.13
<i>Wedelia trilobata</i>	18.94	3.58	0.09	0.07	0.07	10.33	0.79	5.25	0.307	114.60	3.05	3.39	7.79
<i>Achyranthes aspera</i>	34.17	2.80	0.10	0.10	0.10	6.98	0.78	5.74	0.122	43.30	3.47	2.01	6.49
<i>Solanum americanum</i>	23.9	2.93	0.10	0.11	0.12	27.18	0.85	5.29	0.256	166.10	5.87	4.63	17.06
Mean	36.73	4.62	0.15	0.08	0.09	8.99	0.73	6.92	0.20	84.50	2.68	3.45	6.56
SD	30.30	2.12	0.16	0.05	0.05	8.89	0.12	3.84	0.09	47.43	2.45	1.37	5.34
Woody plants in the same population													
<i>Acanthus ilicifolius</i>	30.67	7.97	0.21	0.04	0.04	0.25	0.77	9.27	0.101	68.50	0.73	0.34	0.32
<i>Aegiceras corniculatum</i>													
Young	45.83	9.69	0.37	0.04	0.04	3.1	0.76	11.64	0.115	64.23	1.18	2.63	2.37
Adult	58.17	7.98	0.29	0.06	0.06	16.05	0.71	12.84	0.328	127.71	4.21	3.81	9.86
<i>Melia azedarach</i>	34.00	9.00	0.45	0.03	0.10	6.83	0.38	7.80	0.158	56.77	2.75	2.48	5.44
<i>Clerodendrum inerme</i>	52.33	7.66	0.21	0.05	0.05	3.30	0.84	5.48	0.109	69.31	0.57	5.79	2.54
<i>Passiflora foetida</i>	56	3.43	0.08	0.07	0.08	1.39	0.74	5.91	0.090	49.98	0.60	2.31	1.15
<i>Macaranga tanarius</i>	50.33	4.01	0.16	0.06	0.06	5.98	0.46	5.11	0.163	52.86	0.76	7.83	5.23
<i>Lantana camara</i>	7.37	1.83	0.02	0.12	0.15	15.79	0.43	8.80	0.310	116.42	2.97	5.32	12.18
Mean	41.84	6.45	0.22	0.06	0.07	6.59	0.64	8.36	0.17	75.72	1.72	3.81	4.89
SD	17.07	2.92	0.14	0.03	0.04	6.15	0.18	2.85	0.09	29.59	1.39	2.38	4.23

hiza (L.) Schott)、铺地黍(*Panicum repens* L.)、五爪金龙(*Ipomoea cairica* (Linn.) Sweet.)、疏花山绿豆(*Desmodium racemosum* (Thunb.) DC.)、鸭跖草(*Commelina communis* Linn.)、凤眼莲(*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.)、高秆莎草(*Cyperus exaltatus* Retz.)、蓝花美人蕉(*Canna orchoides* Bailey.)、虾钳菜(*Alternanthera sessilis* (L.) DC.)、蟛蜞菊(*Wedelia trilobata* (Linn.) A.S. Hitchc.)、土牛膝(*Achyranthes aspera* Linn.)和少花龙葵(*Solanum americanum* Mill.); 木本植物为 7 种: 老鼠勒(*Acanthus ilicifolius* Linn.)、桐花树(*Aegiceras corniculatum* (Linn.) Blanco.)、楝树(*Melia azedarach* Linn.)、许树(*Clerodendrum inerme* (Linn.) Gaertn.)、龙珠果(*Passiflora foetida* Linn.)、血桐(*Macaranga tanarius* (Linn.) Muell. Arg.)和马缨丹(*Lantana camara* Linn.), 其中桐花树分为幼树和成树。在 2006 年 7 月, 以温室内培养的薇甘菊叶片作为夏季叶片进行测定, 并与冬季测定的叶片值进行对比分析。

1.2 光合作用测定

使用 Li-6400 光合仪测定每种植物成叶的最大光合速率(net photosynthetic rate, P_n)、饱和光照下电子传递速率(electronic transmission rate, ETR)(在机器测定数值的基础上考虑到不同植物叶片的吸光率存在差异, 所以又重新加以计算, 具体方法见数据处理部分)、实际光化学效率($PSII$ photochemical efficiency, f_{PSII})和蒸腾速率(transpiration rate, Tr)等指标(外加光源保证光合有效辐射大于 $500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。每种植物重复 3-5 次, 并取样进行室内分析, 叶面积采用 Li-3000a 测定。对于能够采出根系的植物, 如草本植物, 连同根系一起采下, 放于密封袋中, 并加入一定量的水保持其生存。对于难于采下根系的木本植物, 取测定枝条, 用水培的方法进行培养, 运至实验室测定透射率和反射率。

1.3 反射率和透射率

测定反射率和透射率采用 Gitelson 等(2001)及贾虎森和李德全(2003)的方法, 略有改动。用刀片将各种植物新

鲜叶片, 沿着主叶脉两侧 0.5 cm 处切成长 5 cm、宽 1 cm 的小条, 将其置于石英比色皿中。用紫外可见分光光度计(UV-2550, SHIMADZU, 中国)对样品进行全波长扫描(测量光谱的波长范围: 200-800 nm), 波长间隔为 1 nm, 测定叶片对光的透射率及反射率。其中, 空白对照样品池上放置空石英比色皿作为参比。从 UV-2550 自带软件中得出透射率和反射率的数据, 并存储成 Excel 表格进行数据分析。

为研究薇甘菊与对照植物在反射率和透射率上的差异, 使用 2 种方法对数据进行处理。其一是综合所测定的波段, 对平均值进行比较。其二是分不同光质进行比较, 把所测定的光谱(200-800 nm)分为紫光(420-380 nm)、蓝光(470-420 nm)、青光(500-470 nm)、绿光(570-500 nm)、黄光(600-570 nm)、橙光(630-600 nm)、红光(760-630 nm)及红外光(760-800 nm)进行比较。鉴于叶片对波长小于 380 nm 的紫外光的透射率和反射率均为 0, 所以没有对紫外光进行对比分析。

1.4 数据处理

选择不同植被指数指标与光合性能相关指标进行统计分析(表 1)。其中在光学植被指标方面, 根据前人研究, 选择与植物的光合作用及光能利用效率等密切相关的参数: SR 指标(simple ratio index)($SR_{680}=R_{800}/R_{680}$ (式中 R 代表反射率, 下同)、 $SR_{750}=R_{750}/R_{700}$)和光化学反射系数指标(photochemical reflectance index, PRI)($PRI=(R_{570}-R_{539})/(R_{570}+R_{539})$)、总平均反射率(200-800 nm 的反射率平均值)和总平均透射率(200-800 nm 的透射率平均值)。在叶片光合指标方面, 选择了叶片含水率、比叶面积(specific leaf area, SLA)、净光合速率 P_n 、电子传递速率(ETR)($ETR = f_{PSII} \times PAR \times A \times 1/2$, 其中 PAR (photosynthetically available radiation)为叶片实际吸收的光强, A 为叶片的实际吸光率(leaf light absorbance))、实际光化学效率(f_{PSII})、蒸腾速率(Tr)、水分利用效率(water use efficiency, WUE)和光利用效率(light use efficiency, LUE)等指标, 其中叶片含水率(叶片含水率 = (鲜重 - 烘干重)/ 鲜重)、 SLA ($SLA = \text{干重} / \text{叶面积}$)、 WUE ($WUE = P_n / Tr$)和 LUE

($LUE = Pn/PAR$)为计算得出, 其它指标由 Li-6400 测得。光学植被指数与光合性能指标的相关性检验使用 F 检验进行分析。

2 结果与分析

2.1 薇甘菊与其它植物叶片全波长(200 - 800 nm)反射和透射特征对比

在全波长下叶片反射率和透射率扫描图中, 各种样品表现趋势基本相同(图1), 即在540-570 nm和大于750 nm处有2个明显的透射和反射峰, 而在680 nm左右存在1个透射和反射的谷底值, 叶片对小于380 nm的紫外区光线的透射率和反射率几乎为0。

为了更清楚地分析薇甘菊与同一群落内不同植物的叶片反射和透射差异, 把其群落植物分为木本和草本两类, 并在不同光质条件下, 以草本植物的叶片反射率和透射率作为参比值100%, 计算出薇甘菊和木本植物叶片的相对反射率和相对透射率(图2)。从图中可见, 木本植物的反射率在全波长下均最低, 而薇甘菊只在紫光范围内反射值比草本植物低, 在其它波长范围内, 均处于最高值, 说明在薇甘菊的群落内, 对于大部分所测波段的光照而言, 薇甘菊较其它植物具有更高的光反射能力(图2A)。与叶片反射率类似, 在全波长下木本植物的透射率也保持最低水平, 而薇甘菊除在紫光 and 红光下外, 其它波长范围内, 透射率均最高(图2B)。

2.2 薇甘菊与同一群落内其它植物叶片光学特征参数及相关光合生理指标对比

表1总结了本实验中所测的植物名录、生理指标及光学特征指标。光学植被指数(SR680、SR750和PRI)排序是: 薇甘菊<草本植物<木本植物, 含水率排序是: 薇甘菊>草本植物>木本植物, 而比叶面积(SLA)排序为: 薇甘菊($4.29 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$)<草本植物($6.92 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$)<木本植物($8.36 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$)。其它生理指标没有明显差异。

进一步分析全波长下的叶片平均反射率与透射率, 结果表明, 其由大到小排序依次是: 薇甘菊>草本植物>木本植物。统计分析发现, 薇甘菊叶片的反射率显著高

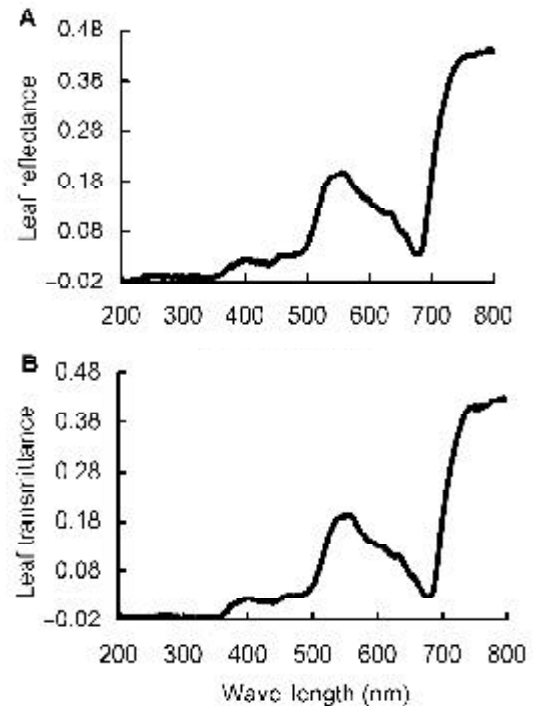


图1 薇甘菊与同一群落内其它植物叶片反射率(A)和透射率(B)扫描示意图

Figure 1 The sketch map of leaf reflectance spectrum (A) and leaf transmittance spectrum (B) of *Mikania micrantha* and other species in the same community

于同一群落内的木本植物($P<0.05$), 而与草本植物之间的差异不显著; 薇甘菊叶片的透射率与同一群落内其它植物相比没有显著差异(图3)。

2.3 薇甘菊与同一群落内其它植物叶片光学特征参数及相关光合生理指标的相关性

将全波长下所测定的20种植物叶片的平均反射率、透射率以及其它3种光学植被指数与叶片光合能力、光利用效率、水分利用效率、含水率和比叶面积等生理指标进行相关性分析(表2)。从表中可以看出, 群落内部分植物叶片生理指标与光学指标存在明显的相关性, 如比叶面积(SLA)与SR750、反射率与透射率之间的相关性均达到极显著水平($P<0.01$), 水分利用效率与反射率的相关性也达到显著水平($P<0.05$); 另有部分指标之间的相关性接近显著水平, 如水分利用效率与透射率、比

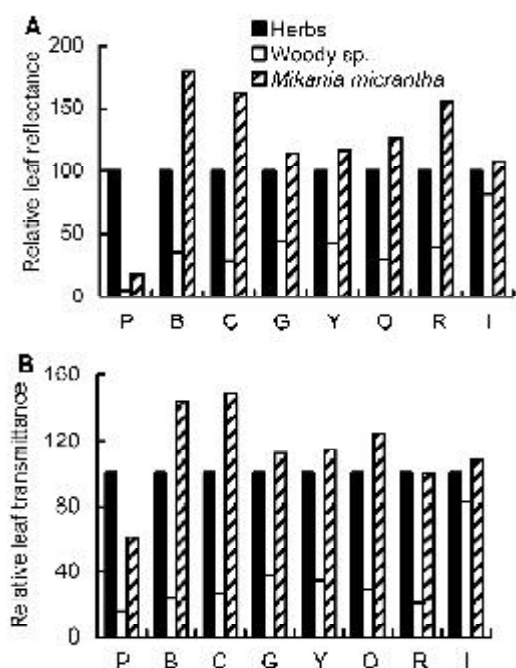


图2 薇甘菊与同一群落内草本植物、木本植物叶片相对反射率(A)和相对透射率(B)的比较(以同一群落内草本植物的反射率或透射率的平均值为100%)

P: 紫光; B: 蓝光; C: 青光; G: 绿光; Y: 黄光; O: 橙光; R: 红光; I: 红外光

Figure 2 Comparison of the relative leaf reflectance (A), relative leaf transmittance (B) of *Mikania micrantha* and herbs and woody species in the same community (in each light regime, the leaf reflectance and transmittance of herbs were assumed as 100%; then the relative values for *M. micrantha* and woody species were calculated)

P: Purple; B: Blue; C: Cyan; G: Green; Y: Yellow; O: Orange; R: Red; I: Infrared

叶面积与 PRI ; 其它指标如净光合速率(P_n)、PSII 效率、电子传递速率(E_{TR})、蒸腾速率(T_r)、光利用效率(LUE)与光学特征指标的相关性不显著(表2)。

下面对表2中相关性较高的相关关系进行分析, 以便找出薇甘菊与其它植物是否存在相关性上的明显差异。尽管表2中显示薇甘菊叶片含水率与反射和透射率相关性没有达到显著水平, 但是在木本和草本植物中能够发现显著的相关关系(图4)。草本植物叶片对光的反射率、透射率与含水率呈显著正相关($P < 0.05$), 而木本

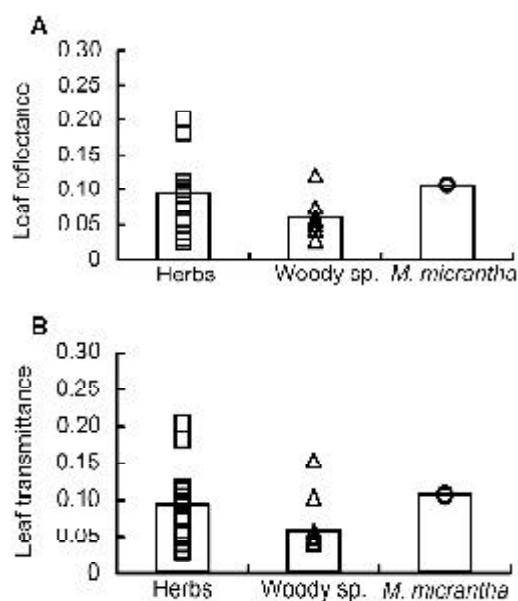


图3 草本、木本植物及薇甘菊叶片反射率(A)和透射率(B)的比较(散点为原始数据, 柱状图为平均值)

Figure 3 Comparison of leaf reflectance (A) and leaf transmittance (B) among herbs, woody species and *Mikania micrantha* (scattered points were raw data and columns were their mean values)

植物则没有明显的相关性($P > 0.05$)或者呈负相关($P < 0.05$)。薇甘菊的相关数据与其它草本植物类似, 没有显示显著的差异。

图5显示了比叶面积(SLA)与叶片反射率、透射率及 SR_{750} 的关系。从图中可以看出, 随着 SLA 的增大, 植物叶片的反射率和透射率都呈线性降低趋势, 而 SR_{750} 则呈线性升高趋势, 草本和木本植物在这一关系上没有明显差异。木本植物的相关关系均达不到统计学上的显著水平($P > 0.05$), 而草本植物的均达到了显著水平($P < 0.05$)。薇甘菊的相关数据并没有表现出与总体相关关系存在明显的区别(图5)。

表2 数据显示, 叶片反射率与水分利用效率具显著相关关系。对比分析草本和木本植物后发现, 草本和木本植物在这一关系上存在明显差异(图6), 草本植物的反射率、透射率、 SR_{750} 与水分利用效率的相关性显著($P < 0.05$), 而木本植物则没有明显的相关性($P > 0.05$)。

表 2 薇甘菊与同一群落内其它植物各种光学指标和生理指标的相关系数及检验

Table 2 Correlation coefficient and their significance analysis between leaf optimal parameters and leaf physiological parameters of *Mikania micrantha* and other species in the same community

Leaf physiologi- cal parameters	<i>r</i> and <i>F</i> value	Leaf optimal parameters				
		SR680	SR750	<i>PR</i>	Reflectance	Transmittance
Water content	<i>r</i> value	0.26	-0.23	-0.18	0.35	0.14
	<i>F</i> value	2.00	0.76	0.49	2.38	0.29
	Significance	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Pn</i> (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	<i>r</i> value	-0.23	-0.26	0.15	0.14	0.16
	<i>F</i> value	1.27	1.52	0.40	0.41	0.52
	Significance	ns	ns	ns	ns	ns
<i>SLA</i> (mg·cm ⁻²)	<i>r</i> value	-0.27	0.62	0.44	-0.66	-0.66
	<i>F</i> value	2.09	10.29	4.03	9.53	8.16
	Significance	ns	**	ns	**	**
<i>PSII</i> efficiency	<i>r</i> value	-0.05	-0.22	0.06	-0.09	-0.09
	<i>F</i> value	0.001	0.67	1.11	0.39	0.51
	Significance	ns	ns	ns	ns	ns
<i>ETR</i> (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	<i>r</i> value	-0.13	-0.12	0.17	-0.13	-0.14
	<i>F</i> value	0.34	0.26	0.55	0.34	0.40
	Significance	ns	ns	ns	ns	ns
<i>Tr</i> (mmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	<i>r</i> value	-0.18	-0.10	0.30	-0.12	-0.11
	<i>F</i> value	0.63	0.20	1.88	0.28	0.22
	Significance	ns	ns	ns	ns	ns
<i>WUE</i> (μmol·mmol ⁻¹)	<i>r</i> value	-0.08	-0.34	-0.12	0.44	0.42
	<i>F</i> value	0.11	2.56	0.28	4.50	4.19
	Significance	ns	ns	ns	*	ns
<i>LUE</i> (μmol·mol ⁻¹)	<i>r</i> value	-0.30	-0.33	0.11	0.20	0.23
	<i>F</i> value	1.91	2.25	0.24	0.76	1.02
	Significance	ns	ns	ns	ns	ns

显著性水平检验的*F*值, $F_{0.05}(1, 21)=4.32$; $F_{0.01}(1, 21)=8.02$. ns: 差异不显著; *Pn*: 最大光合速率; *SLA*: 比叶面积; *ETR*: 电子传递速率; *Tr*: 蒸腾速率; *WUE*: 水分利用效率; *LUE*: 光利用效率
Significance level *F* test, $F_{0.05}(1, 21)=4.32$; $F_{0.01}(1, 21)=8.02$. ns: No significance; *Pn*: Net photosynthetic rate; *SLA*: Specific leaf area; *ETR*: Electronic transmission rate; *Tr*: Transpiration rate; *WUE*: Water use efficiency; *LUE*: Light use efficiency; * $P<0.05$; ** $P<0.01$

薇甘菊的水分利用效率为 4.38 mmol·mol⁻¹, 高于草本植物的 3.81 mmol·mol⁻¹ 和木本植物的 3.45 mmol·mol⁻¹(表1), 但是在上述相关关系上, 与其它草本和木本植物不存在明显的差异(图 6)。

2.4 营养生长季(夏季)和生殖生长季(冬季)叶片反射率和透射率变化

从图 7 可以明显看出, 薇甘菊的夏季叶片在各个波长下的反射率和透射率均高于冬季叶片。其中在绿光 and 红外光下其绝对增幅最大。以冬季叶片各波段数值为 100% 进行相对增加值计算, 夏季叶片的反射率增加 12%(红光和蓝光下) - 60%(绿光下)。透射率与其相似,

薇甘菊夏季叶片在绿光区域较冬季叶片增加 41%, 但是在红光区域没有增加, 而在红外光区域的相对增加量为 7%。需要指出的是, 薇甘菊叶片在夏季和冬季对紫光的反射、透射特性的变化表现为尽管绝对值增加不大, 但是夏季叶片反射率较冬季叶片增加 5.9 倍, 而透射率增加 7.4 倍。

3 讨论

薇甘菊给其它植物造成不可避免的遮阴生境, 是其对生态系统造成伤害的直接原因, 而薇甘菊的快速生长特征是其能够在短时间内占据群落主体地位的关键。叶片

对光的透射、反射以及叶片对光的利用特征(主要是光合特征)对于描述某一植物对生境的适应性具有重要的意义(Gamon et al., 1992; 倪健和吴继友, 1997; Castro-Esau et al., 2006), 而对于像薇甘菊这种具有强入侵和强危害能力的植物可能具有更重要的科学意义。关于薇甘菊入侵的原因, 已经进行了许多研究, 如缺乏原产地的天敌系统以及种子适宜长距离扩散等(王伯荪等,

2004)、较同属本土种具有更高的养分利用效率(Deng et al., 2004)、其分泌物的它感作用(张茂新等, 2002)、不同生境光合作用的可塑性强(王文杰等, 2008)以及非同化器官的光合贡献(祖元刚等, 2006), 但在叶片光反射

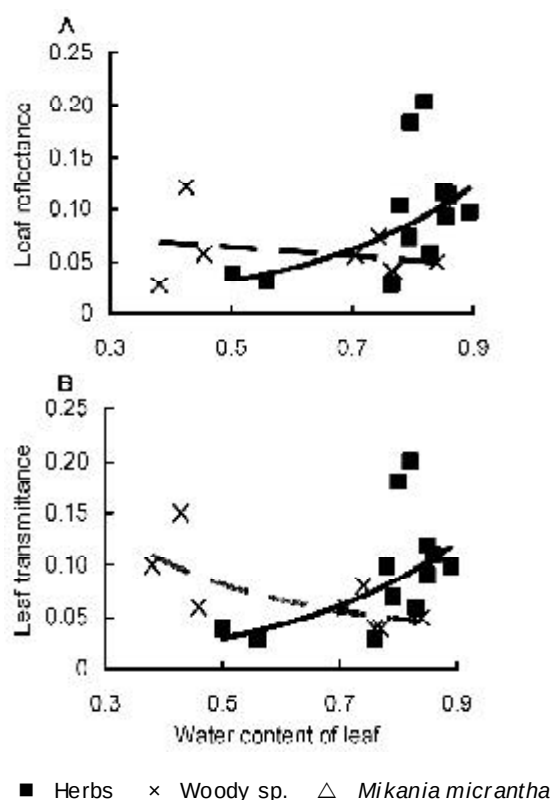


图4 草本、木本植物及薇甘菊叶片反射率(A)和透射率(B)与其含水率的关系

(A) 草本: $y = 0.0059e^{3.3746x}$, $R^2 = 0.4059$, $P < 0.05$; 木本: $y = -0.0419x + 0.0855$, $R^2 = 0.0707$, $P > 0.05$ 。(B) 草本: $y = 0.0055e^{3.4479x}$, $R^2 = 0.4428$, $P < 0.05$; 木本: $y = 0.0385x^{-1.0845}$, $R^2 = 0.5492$, $P < 0.05$

Figure 4 Correlations between leaf reflectance (A), leaf transmittance (B) and leaf water content in herbs, woody species and *Mikania micrantha*

(A) Herbs: $y = 0.0059e^{3.3746x}$, $R^2 = 0.4059$, $P < 0.05$; Woody species: $y = -0.0419x + 0.0855$, $R^2 = 0.0707$, $P > 0.05$ 。(B) Herbs: $y = 0.0055e^{3.4479x}$, $R^2 = 0.4428$, $P < 0.05$; Woody species: $y = 0.0385x^{-1.0845}$, $R^2 = 0.5492$, $P < 0.05$

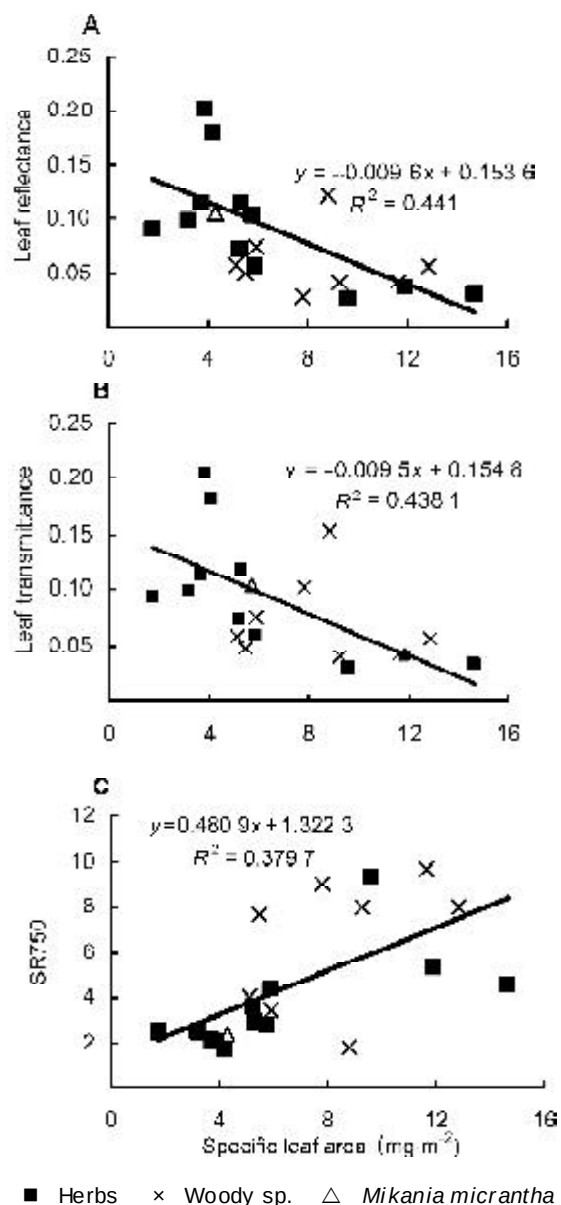


图5 草本、木本植物及薇甘菊叶片反射率(A)、透射率(B)、SR750(C)与其比叶面积(SLA)的关系

Figure 5 Correlations between leaf reflectance (A), leaf transmittance (B), SR750 (C) and specific leaf area (SLA) in herbs, woody species and *Mikania micrantha*

率、透射率以及相关光学植被指标方面尚未见报道, 本文的研究是对此方面的一个补充。本研究发现, 薇甘菊与同一群落内其它草本、木本植物的叶片和植被光学特征主要表现在以下 2 个方面。

其一是薇甘菊与同一群落内其它草本和木本植物存在诸多相同点。(1)薇甘菊群落内不同植物的叶片具有相似的光学反射和透射等光谱特征(图1), 前人的研究发现叶片在多种色素共同作用下形成的谱图分别在400-500 nm 的蓝紫光区和 600-700 nm 的红光区 2 处有吸收峰

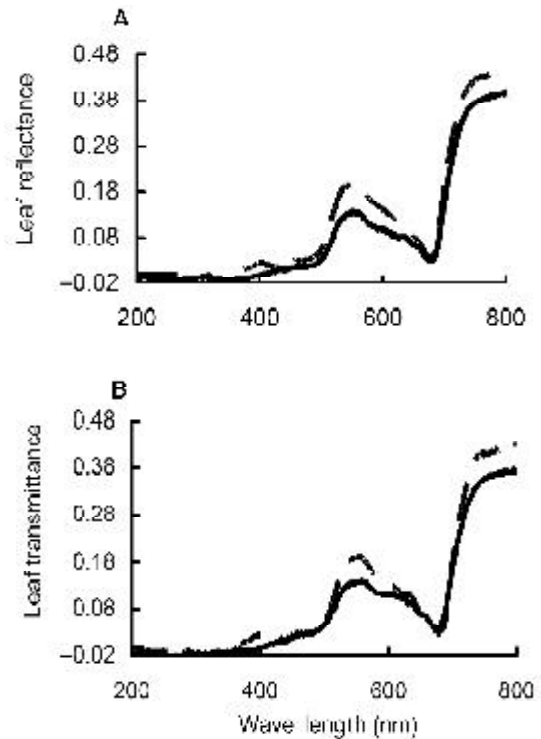
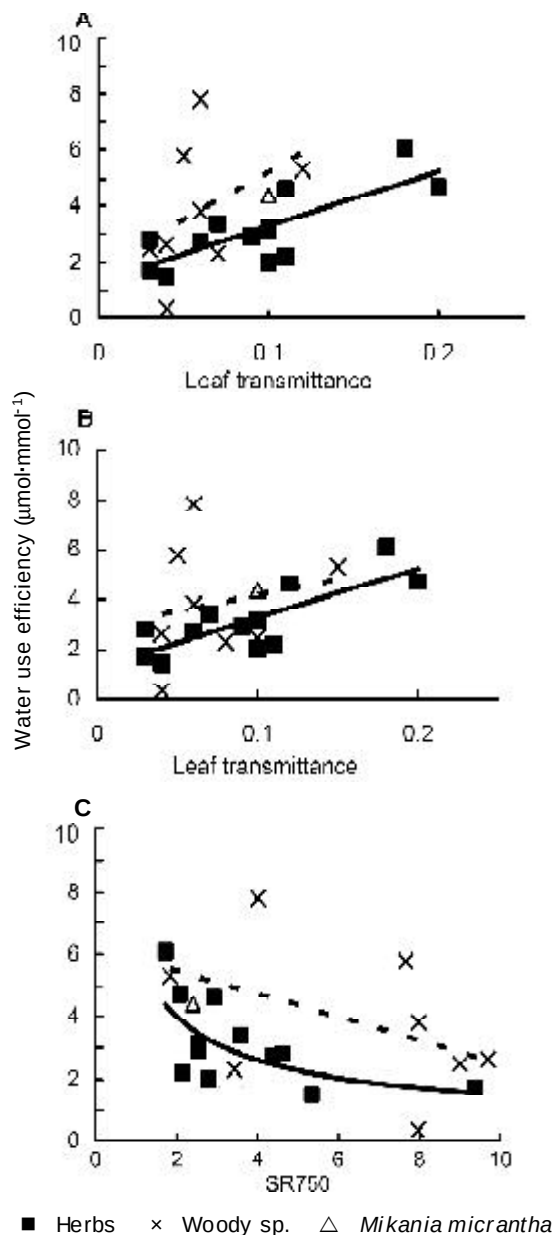


图7 薇甘菊在生殖生长季冬季(实线)和营养生长季夏季(虚线)叶片反射率(A)与透射率(B)的差异

Figure 7 The differences in leaf reflectance (A) and leaf transmittance (B) of *Mikania micrantha* in winter (solid line) and summer (dashed line)

图6 草本、木本植物及薇甘菊叶片反射率(A)、透射率(B)和SR750(C)与其水分利用效率(WUE)的关系

(A) 草本: $y = 19.643x + 1.3216$, $R^2 = 0.6014$, $P < 0.05$; 木本: $y = 34.394x + 1.7931$, $R^2 = 0.163$, $P > 0.05$ 。(B) 草本: $y = 19.84x + 1.2867$, $R^2 = 0.6217$, $P < 0.05$; 木本: $y = 12.874x + 2.8804$, $R^2 = 0.0406$, $P > 0.05$ 。(C) 草本: $y = 6.0807x^{-0.61}$, $R^2 = 0.4556$, $P < 0.05$; 木本: $y = -0.3754x + 6.2336$, $R^2 = 0.2107$, $P > 0.05$

Figure 6 Relation between leaf reflectance (A), leaf transmittance (B), SR750 (C) and leaf water use efficiency (WUE) in herbs, woody species and *Mikania micrantha*

(A) Herbs: $y = 19.643x + 1.3216$, $R^2 = 0.6014$, $P < 0.05$; Woody species: $y = 34.394x + 1.7931$, $R^2 = 0.163$, $P > 0.05$. (B) Herbs: $y = 19.84x + 1.2867$, $R^2 = 0.6217$, $P < 0.05$; Woody species: $y = 12.874x + 2.8804$, $R^2 = 0.0406$, $P > 0.05$. (C) Herbs: $y = 6.0807x^{-0.61}$, $R^2 = 0.4556$, $P < 0.05$; Woody species: $y = -0.3754x + 6.2336$, $R^2 = 0.2107$, $P > 0.05$

(程极济, 1987; 刘祖武等, 1992; 李博, 1999), 这与我们的研究结果一致。(2)在叶片光学特征指标、光学植被指标与光合特征指标的相关关系上, 薇甘菊与同一群落内木本、草本植物存在很大的相似性(表 2, 图 4- 图 6)。已有研究表明, PRI 、 SR 、平均反射率以及平均透射率等光学植被指数与植物的光合、荧光能力有着密切的联系(Gamon et al., 1992; Zarco-Tejada et al., 1997), 我们对薇甘菊群落的研究结果与以前很多其它植物群落的研究结果相符。

其二是薇甘菊与同一群落内其它植物存在如下文所述的显著差异, 这些差异赋予了其极强的入侵能力。(1)薇甘菊较同一群落内其它草本植物具有较高的叶片反射率和透射率, 往往数倍高于相应的木本植物(图 2- 图 3), 而且, 薇甘菊的 3 种光学植被指标(SR_{680} 、 SR_{750} 和 PRI)都明显低于草本和木本植物的平均值(表 1)。这种高透射、高反射叶片光学特征和低光学植被指标的特征, 并没有影响其叶片对光的高效利用, 这体现在其光合相关指标上, 如水分利用效率(WUE)、光利用效率(LUE)、电子传递速率(ETR)、光系统 II 效率和净光合速率(P_n)等指标与同一群落内其它植物相当, 甚至显著高于某些植物(表 1, 图 2- 图 3)。另外, 薇甘菊是一种强阳性植物, 主要生长在其它植物的表面和光照强度很高的生境, 这种高的反射和透射能力, 是一种消耗冗余光照的可行途径, 无疑是避免高光强对自身伤害而产生的一种良好的保护机制。(2)薇甘菊叶片夏季对所有光的反射率和透射率都高于冬季, 显示其具有自我调节光利用的机制。由于夏季叶片温度很高, 冗余的光照较多, 反射率和透射率的增大可增强其避免高温灼伤的能力; 而冬季光照不足或者冗余的很少, 且叶片温度较低, 反射和透射较小可使有限的光能得以充分利用。光照环境, 即遮阴环境和阳生生境能够显著影响光合系统的正常功能(廖飞勇和何平, 2002), 薇甘菊能够在不同生境内通过可塑的光合速率、光饱和点和光补偿点来增强其适应能力(王文杰等, 2008)。水分状况以及叶绿素分布的部位(茎和叶片)(祖元刚等, 2006)都显著影响整株叶片的碳平衡。本研究发现的薇甘菊这种叶片光学特征和植被光学特征是对其光合生理特征研究的一个补充。

4 结论

薇甘菊叶片反射率和透射率图谱与同一群落内其它植物的图谱谱形相似, 平均来看薇甘菊叶片反射率和透射率均高于木本植物, 也稍高于草本植物。不同光质下的分析结果与此类似, 对于大部分所测波段的光而言, 薇甘菊较其它植物具有更高的光反射和透射能力, 这种特征有利于其在强阳性生境内生长发育。薇甘菊群落内所测植物的叶片反射率、透射率和 SR_{750} 与比叶面积具有相关关系, 而包括薇甘菊在内的草本植物的叶片含水率与反射率、透射率的相关性则高于同一群落内的木本植物。薇甘菊的光学植被指标(SR_{680} 、 SR_{750} 和 PRI)平均值均低于其它草本和木本植物的平均值, 而光合能力与其它植物相差不大。薇甘菊叶片在夏季对所有波段光的反射率和透射率都高于冬季, 这是薇甘菊的一种自我调节机制。总之, 薇甘菊叶片的高反射率和透射率及其季节变化特征有利于其在具有强光照的植被上方生境生长。

参考文献

- 程极济 (1987). 光生物物理学. 北京: 高等教育出版社. pp. 338-339.
- 贾虎森, 李德全 (2003). 完整叶片内玉米黄质的分光光度分析. 植物学通报 20, 98-102.
- 孔国辉, 吴七根, 胡启明 (2000a). 外来杂草薇甘菊在我国的出现. 热带亚热带植物学报 8, 27-27.
- 孔国辉, 吴七根, 胡启明, 叶万辉 (2000b). 薇甘菊(*Mikania micrantha* H.B.K.)的形态、分类与生态资料补记. 热带亚热带植物学报 8, 128-130.
- 李博 (1999). 生态学. 北京: 高等教育出版社. pp. 21-26.
- 廖飞勇, 何平 (2002). 不同照度对薇甘菊光合性状的影响. 中南林学院学报 22(4), 36-39.
- 刘祖武, 罗璇, 铁绍龙 (1992). 高等绿色植物吸收光谱的测定. 湘潭大学自然科学学报 14, 90-90.
- 倪健, 吴继友 (1997). 利用植物叶面反射光谱探测潜伏地下矿产. 植物学通报 14, 36-40.
- 王伯荪, 王勇军, 廖文波 (2004). 外来杂草薇甘菊的入侵生态及其治理. 北京: 科学出版社. pp. 239-239.
- 王文杰, 祖元刚, 陈华峰, 张衷华, 杨逢建, 赵则海, 曹建国 (2008). 林业有害植物薇甘菊的气体交换特性. 生态学报 28, 4088-4098.

- 张茂新, 凌冰, 孔垂华, 赵辉, 庞雄飞 (2002). 薇甘菊挥发油的化感潜力. *应用生态学报* 10, 1300-1302.
- 钟晓青, 黄卓, 司寰, 咎启杰 (2004). 深圳内伶仃岛薇甘菊危害的生态经济损失分析. *热带亚热带植物学报* 12, 167-170.
- 祖元刚, 张袁华, 王文杰, 杨逢建, 贺海升 (2006). 薇甘菊叶和茎的光合特性. *植物生态学报* 30, 998-1004.
- Bogidarmanti R (1989). Impact of *Mikania* spp. on forestry and agriculture land (in Indonesian). *Bull Penelit Hutan* 5(11), 29-40.
- Castro-Esau KL, Sanchez-Azofeifa GA, Rivard B, Wright SJ, Quesada M (2006). Variability in leaf optical properties of Mesoamerican trees and the potential for species classification. *Am J Bot* 93, 517-530.
- Deng X, Ye WH, Feng HL, Yang QH, Cao HL, Xu KY, Zhang Y (2004). Gas exchange characteristics of the invasive species *Mikania micrantha* and its indigenous congener *M. cordata* (Asteraceae) in south China. *Bot Bull Acad Sinica* 45, 213-220.
- Gamon JA, Peñuelas J, Field CB (1992). A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. *Remote Sens Environ* 41, 35-44.
- Gitelson AA, Merzlyak MN, Chivkunova OB (2001). Optical properties and nondestructive estimation of anthocyanin content in plant leaves. *Photochem Photobiol* 74, 38-45.
- Zarco-Tejada PJ, Berjón A, López-Lozano R, Miller JR, Martín P, Cachorro V, González MR, Frutos A (1997). Assessing vineyard condition with hyperspectral indices: leaf and canopy reflectance simulation in a row? Structured discontinuous canopy. *Remote Sens Environ* 99, 271-287.

Light Reflectance, Transmittance, and Utilization Efficiency of Leaves of *Mikania micrantha* and Interspecies Comparison within the Same Community

Wenjie Wang¹, Yu Guan¹, Yuangang Zu^{1*}, Wenbo Liao², Zhonghua Zhang¹, Huafeng Chen¹, Haisheng He¹

¹Key Laboratory of Forest Plant Ecology of Ministry of Education, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China; ²School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

Abstract We measured the light transmittance, reflectance and photosynthetic capacity of leaves of *Mikania micrantha* and 19 other species of plants (herbal and woody sp.) in the same community. *M. micrantha* and other plants were similar in transmittance and reflectance spectra and showed no apparent differences in the relation between leaf-optical and photosynthetic-related in the same community. On average, the leaf reflectance and leaf transmittance were higher for this weed than for herbs and then woody species, and the optical vegetation parameters of SR680, SR750 and PRI were lower for *M. micrantha* than for other herbs and woody species. However, the photosynthetic capacity of *M. micrantha* (light use efficiency, photosynthetic water-use efficiency, electron transportation rate and net photosynthetic rate) was close to or somewhat higher than that of other species. Moreover, leaves of *M. micrantha* reflected or transmitted much more light in summer than in winter, which favors the release of redundant light in summer and absorption of more light in winter. These strategies for light utilization by *M. micrantha* adapt to the strong light environment above the vegetation surface (where *M. micrantha* is generally grown), and may favor the rapid invasion of this weed in new habitats.

Key words *Mikania micrantha*, herbs, woody plants, photosynthetic ability, leaf reflectance, leaf transmittance, SR680, SR750

Wang WJ, Guan Y, Zu YG, Liao WB, Zhang ZH, Chen HF, He HS (2008). Light reflectance, transmittance, and utilization efficiency of leaves of *Mikania micrantha* and interspecies comparison within the same community. *Chin Bull Bot* 25, 638-647.

* Author for correspondence. E-mail: zygorl@vip.hl.cn

(责任编辑: 孙冬花)