

5 种悬钩子属植物的光合荧光特性

孙骏威¹, 李素芳¹, 金松恒²

(1. 中国计量学院 生命科学学院, 浙江 杭州 310018; 2. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 研究了高粱泡 *Rubus lambertianus*, 寒莓 *R. buergeri*, 山莓 *R. corchorifolius*, 茅莓 *R. parvifolius* 和蓬蘽 *R. hirsutus* 等 5 种悬钩子属植物叶片的光合色素含量、气体交换参数-光响应曲线和叶绿素荧光参数-光响应曲线。结果表明, 在 5 种植物中, 山莓的拟合最大净光合速率、光饱和点和光补偿点光强最小, 且光饱和点小于 $500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 而其余 4 种均高于 $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; 蓬蘽和山莓的叶绿素 a/b 和叶绿素/类胡萝卜素均显著低于和高于其他 3 种; 光强超过光饱和点时, 净光合速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度、水分利用效率、光系统 II 有效光化学量子产量、光化学猝灭和表现电子传递速率随光强增加而引起的变化以山莓为最大, 蓬蘽、茅莓和高粱泡次之, 寒莓最小; 非光化学猝灭的变化却以寒莓为最大, 山莓为最小; 光饱和点以下的水分利用效率以山莓最大, 蓬蘽和高粱泡最小。光系统 II 最大光化学量子产量和量子需要额也以山莓最大, 蓬蘽和高粱泡为最小。说明山莓耐阴但不耐光, 容易发生光抑制; 其余 4 种较耐光又耐阴, 并忍耐光抑制, 而又以寒莓最强, 其次分别为高粱泡、茅莓和蓬蘽。图 2 表 3 参 13

关键词: 森林生物学; 悬钩子属; 光合作用; 光合能力; 叶绿素荧光; 光抑制

中图分类号: S718.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-5692(2010)06-0950-06

Photosynthetic and chlorophyll fluorescence characteristics with five *Rubus* species

SUN Jun-wei¹, LI Su-fang¹, JIN Song-heng²

(1. College of Life Sciences, China Jiliang University, Hangzhou 310018, Zhejiang, China; 2. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Photosynthetic pigment content, gas exchange response, and chlorophyll fluorescence parameters for photosynthetic photon flux densities (PFD) in five *Rubus* species, i.e. *Rubus lambertianus*, *R. buergeri*, *R. corchorifolius*, *R. parvifolius*, and *R. hirsutus*, were determined. PED were 10 levels of 2 000, 1 500, 1 200, 1 000, 800, 500, 200, 100, 50, 0 (the control) $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Results showed that in *R. hirsutus* the calculated maximum net photosynthetic rate (P_{max}), light saturation point (LSP), and light compensation point (LCP) were lowest with LSP below $500 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, whereas in the other four species LSP exceeded $800 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. The ratio of chlorophyll a to b (Chl a/b) of *R. hirsutus* and *R. corchorifolius* was significantly lower, but their Chl/Car was higher than three other species. When PFD exceeded LSP, changes in net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductance (G_s), intercellular CO_2 concentration (C_i), water use efficiency (E_{wu}), photosystem II (PS II) effective photochemical quantum yield efficiency (F'_v/F'_m), photochemical quenching (q_p), and apparent electron transport (R_{ET}) in response to PFD were in the order: *R. corchorifolius* > *R. hirsutus*, *R. parvifolius*, and *R. lambertianus* > *R. buergeri*; however, for changes in non-photochemical quenching (q_n) the species order was reversed. With PFD below LSP, maximums for E_{wu} , PS II maximum photochemical quantum yield (F_v/F_m), and

收稿日期: 2009-12-24; 修回日期: 2010-01-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30901144); 浙江省自然科学基金资助项目(Y3090276, Y3080166)

作者简介: 孙骏威, 讲师, 硕士, 从事植物生理学与生态学研究。E-mail: juville@cjlu.edu.cn。通信作者: 金松恒, 副教授, 博士, 从事植物生理学等研究。E-mail: shjin@zafu.edu.cn

quantum demand (Q_R) were found in *R. corchorifolius* with minimums in *R. hirsutus* and *R. lambertianus*. Thus, *R. corchorifolius* could only tolerate low irradiance and easily suffered photo-inhibition; whereas the other four species could tolerate both low and high irradiance as well as photo-inhibition with *R. buergeri* > *R. lambertianus*, *R. parvifolius*, and *R. hirsutus*. [Ch, 2 fig. 3 tab. 13 ref.]

Key words: forest biology; *Rubus*; photosynthesis; photosynthetic ability; chlorophyll fluorescence; photo-inhibition

悬钩子属 *Rubus* 果实被誉为“无公害第三代水果”，一般 2~3 年生就可开花结果，3~4 年生进入结果期。在欧美，一些种有很久的栽培历史，如红树莓 *R. idaeus*，黑树莓 *R. occidentalis* 和美洲黑树莓 *R. leucodermis* 等种。在中国，悬钩子植物目前主要呈野生状态。浙江悬钩子植物资源较为丰富，绝大部分的果实可食，且有引种驯化、杂交育种的良好潜力。傅承新等^[1]和沈朝栋等^[2]曾在栽培试验、生物学特性观察和果实加工试验等方面进行了初步的研究。而在光合作用方面等很少见报道。光合作用是植物生长发育的基础，是果树产量和品质构成的决定因素。蓬蘽 *R. hirsutus*，山莓 *R. corchorifolius*，茅莓 *R. parvifolius*，寒莓 *R. buergeri* 和高粱泡 *R. lambertianus* 为浙江省常见的悬钩子属植物。有关这 5 种悬钩子属植物的栽培生理，特别是引种地不同品种的需光特点，如光补偿点、光饱和点、光能利用效率和荧光参数等均尚未见报道。本研究将从研究光合特性出发，测定这 5 种浙江省常见的悬钩子植物气体交换参数和叶绿素荧光参数，以期为其引种驯化和开发利用提供理论和实践依据。

1 材料与方 法

1.1 植物材料与培养

蓬蘽、寒莓、高粱泡、茅莓和山莓等 5 种悬钩子属植物分别来自杭州的九曜山、北高峰、天台山、大清村和小和山。均带土移栽，以尽可能保持其原始生长状态。移栽回来的植物栽植在直径 26 cm，高 25 cm 的桶中，重复栽植 5 桶·种⁻¹。于 3 月初进行移植后，进行常规栽培管理，适应 2 个月以后，于 2008 年 5 月上旬进行试验。这主要是由于 5 月阳光强度明显增加，对于悬钩子属植物的生长影响较大。研究以当年抽生的新枝为实验材料，进行光合色素、光响应曲线和荧光响应曲线的测定，连续测定 3 d，测定时间为早上 8:30 - 10:30，重复进行 5 次·d⁻¹，取平均值。

1.2 光合色素的测定

选取完全展开不久的成熟叶片，叶为复叶的植物选择最大的小叶，下同。用直径为 6 mm 的打孔器分别取每种植物的 10 个叶圆片，用丙醇：乙醇：水 = 4.5：4.5：1.0 的溶液 18 mL 萃取 48 h 至叶片褪绿至白色。叶绿素和类胡萝卜素的计算参考文献[3]。

1.3 光合-光响应曲线的测定

选取与色素测定同一叶位的成熟叶片，采用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 便携式光合测定系统进行测定，设置 3 个重复。使用红蓝光源叶室，按仪器使用说明书操作。光强梯度设置为 2 000，1 500，1 200，1 000，800，500，200，100，50，0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。各光强下的净光合速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度、蒸腾速率均由仪器自动给出。水分利用效率利用净光合速率/蒸腾速率计算得到，量子需要额由 0~200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 段的净光合速率的斜率的倒数而得到，最大净光合速率、饱和光强、补偿光强由光响应曲线拟合而成^[4]。

1.4 叶绿素荧光参数-光响应曲线的测定

选取与光合测定相同的叶片，采用美国 LI-COR 公司生产的 LI-6400 便携式光合测定系统进行测定，设置 3 个重复。叶室为配套的 LI-6400-40 荧光叶室，按仪器使用说明书操作。设置暗适应时间为 1 h，光强为 1 500 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ，光照时间为 20 min，光强梯度设置为：2 000，1 500，1 200，1 000，800，500，200，100，50，0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。各光强下的光系统 II 有效光化学量子产量、光化学猝灭、非光化学猝灭、光系统 II 实际光化学量子产量和表观光合电子传递速率均由仪器自动给出。

2 结果与分析

2.1 5种悬钩子属植物的色素含量比较

由表1可知,蓬蘽和山莓的叶绿素含量均较高,寒莓和茅莓次之,高粱泡的最低。寒莓和茅莓的叶绿素含量虽比蓬蘽和山莓要低32%左右,比高粱泡却要高10%左右。从叶绿素a/b可以看出,蓬蘽和山莓的值最低,为3.0左右,其余3种均远远超过3。然而,类胡萝卜素含量却以山莓为最高,蓬蘽为最低,两者相差几近63%,其余3种极为接近,最多也只比山莓低12%左右。故蓬蘽有着最高的叶绿素/类胡萝卜素比值,山莓次之,其余3种为最低。

表1 5种悬钩子植物的光合色素含量比较

Table 1 Comparison of photosynthetic pigments in five *Rubus* species plants

植物名	叶绿素/(mg·cm ⁻²)	类胡萝卜素/(mg·cm ⁻²)	叶绿素 a/b	叶绿素/类胡萝卜素
蓬蘽	31.3 ± 0.9 a	4.61 ± 1.61 c	2.83 ± 0.90 c	6.79 ± 0.65 a
山莓	32.9 ± 0.7 a	7.48 ± 0.24 a	3.42 ± 0.73 c	4.39 ± 0.33 b
寒莓	21.4 ± 0.6 b	6.73 ± 0.33 b	8.34 ± 0.67 b	3.18 ± 0.36 c
茅莓	22.3 ± 0.4 b	6.66 ± 0.42 b	8.27 ± 0.43 b	3.35 ± 0.43 c
高粱泡	19.6 ± 0.3 c	6.64 ± 0.37 b	9.83 ± 0.71 a	2.95 ± 0.32 c

说明:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

2.2 5种悬钩子属植物气体交换参数比较

由光响应曲线模型的拟合结果来看,最大净光合速率以高粱泡为最高,以山莓为最低,两者相差甚远,而其余3种之间相差不大;光饱和点光强以寒莓的为最高,光补偿点光强以高粱泡的最高,而两者均以山莓为最低,而最高与最低的差距也超过一半(表2)。从光响应曲线还可以看出,各植物在光饱和点光强后随光强增大均有些下降的趋势,而以山莓尤为剧烈,其在最大光强(2 000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)处的净光合速率要比最大净光合速率低60%左右(图1A)。相似的情况也发生在水分利用效率(图1D),而这是由于蒸腾速率的相对稳定(数据未显示)所致,因为水分利用效率由净光合速率/蒸腾速率计算得到。5种悬钩子属植物的气孔导度在光饱和点光强后也有下降的趋势,但比起净光合速率,山莓的气孔导度的下降幅度要缓和得多,只下降了27%左右(图1B)。各植物的胞间二氧化碳浓度在高光强下均有升高的趋势,但以山莓最为明显,2 000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 处的胞间二氧化碳浓度要比其在光饱和点光强的高出80%还多(图1C)。由0~200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 段的净光合速率的斜率的倒数可得到量子需要额。结果发现,以山莓的量子需要额最大,远远大于其余4种,大于最低的高粱泡达78%,而其余4种之间无显著的差别(表2)。

表2 5种悬钩子植物的光响应曲线拟合的有关光合参数比较

Table 2 Comparisons of the calculated photosynthetic parameters from light curve in five *Rubus* species plants

植物名	最大净光合速率/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	光饱和点光强/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	光补偿点光强/($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	量子需要额
蓬蘽	7.71	936	22.4	27.6
山莓	4.19	495	9.3	47.6
寒莓	7.92	1 285	15.2	32.9
茅莓	7.41	823	22.6	31.2
高粱泡	8.81	1 065	29.7	26.7

2.3 5种悬钩子属植物叶绿素荧光参数比较

从表3可看出,蓬蘽的初始荧光最大,高粱泡的最小,其余3种差不多,这与叶绿素的数据基本相同,唯一有别的是山莓的叶绿素含量最高(表1),而初始荧光较低。山莓、寒莓和茅莓的最大光化学效率要显著高于蓬蘽和高粱泡,以山莓最高,蓬蘽最低(表3)。随着光强的升高,有效光化学量子

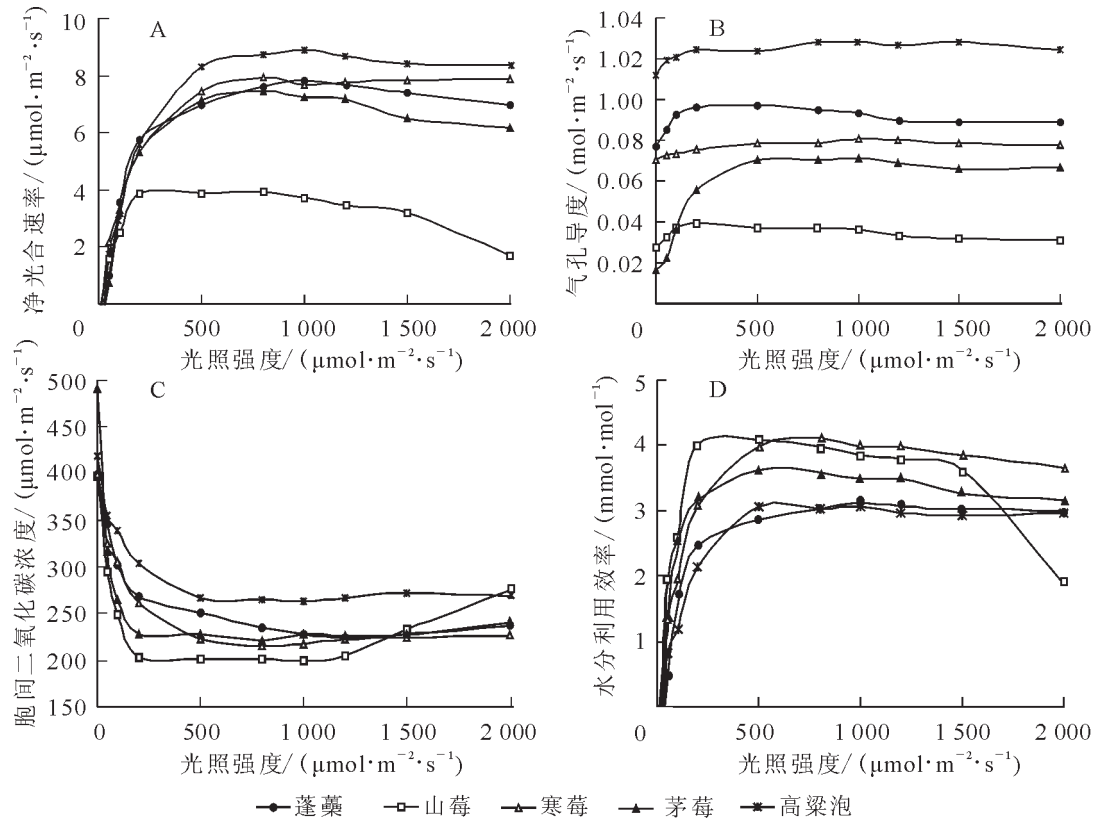


图 1 5 种悬钩子植物在不同光强下净光合速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度、水分利用效率的光响应曲线

Figure 1 Changes of net photosynthetic rate(P_n), stomatal conductance(G_s), intercellular CO_2 concentration(C_i)and water use efficiency(W_{UE}) in response to PFD in 5 *Rubus* species plants.

产量表现出下降趋势，就整体而言，同一光强下的有效光化学量子产量以寒莓为最大，山莓最小，其余 3 种相近(图 2A)。4 种植物的光化学猝灭均随光强增大而降低，其中山莓的光化学猝灭随光强增大而下降最为迅速(图 2B)；非光化学猝灭在低光强下，随光强的升高而升高，但在达到最大值时，上升趋势趋于平稳(图 2C)。在同光强下，非光化学猝灭从高到低的顺序为山莓、茅莓、蓬蘽、高粱泡和寒莓。由图 2D 可看出，表观电子传递速率表现出和净光合速率相似的现象，不过饱和光强下的表观电子传递速率以寒莓为最大，随后分别为高粱泡、蓬蘽和茅莓，最小的为山莓；同时，在高光强度下，各种植物表现出随光强增大，表观电子传递速率下降的趋势，而以高粱泡和山莓最为明显。

3 讨论

5 种悬钩子属植物光合作用利用光能的能力不同。在不同光强下，它们的光合作用竞争优势不同，不同的饱和光合速率和饱和电子传递速率出现在不同的光照强度下。这一结果表明，在不同的光照环境下，会产生不同的竞争优势种^[5-7]。光饱和点光强的高低说明了耐光的强弱，光补偿点光强的高低说明了耐荫的强弱^[8]。从 5 种悬钩子属植物来看，以山莓的光饱和点光强最低，光补偿点光强也最低，说明其最耐荫；寒莓的光饱和点光强最高，光补偿点光强则略高于山莓，说明其最耐光，耐荫能力也较强；高粱泡的光饱和点光强仅次于寒莓，而光补偿点光强最高，说明高粱泡最不耐荫，但较

表 3 5 种悬钩子属植物的 2 个荧光参数

Table 3 Comparison of 2 chlorophyll fluorescence parameters in five *Rubus* species plants.

植物名	初始荧光 F_0	最大光化学效率 F_v/F_m
蓬蘽	176 ± 1 a	0.691 ± 0.013 b
山莓	150 ± 4 c	0.754 ± 0.017 a
寒莓	158 ± 1 b	0.742 ± 0.013 a
茅莓	155 ± 2 bc	0.748 ± 0.010 a
高粱泡	133 ± 1 d	0.713 ± 0.003 b

说明：同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

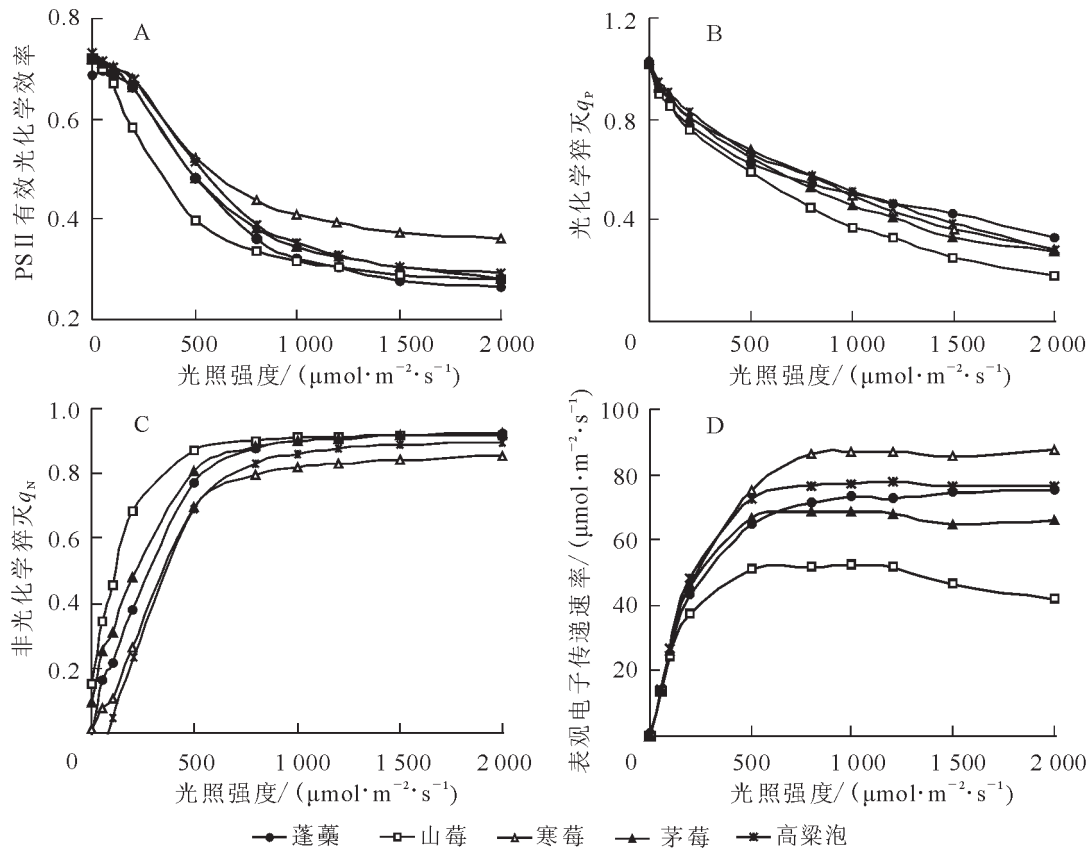


图2 5种悬钩子植物在不同光强下光系统Ⅱ有效光化学量子产量、光化学猝灭、非光化学猝灭和表观电子传递速率的光响应曲线

Figure 2 Changes of PS II efficient photochemical quantum yield (F'_v/F'_m), photochemical quenching (q_p), non-photochemical quenching (q_n) and apparent electron transport (ETR) in response to PFD in 5 *Rubus* species plants

耐光；蓬蘽和茅莓的光饱和点光强和光补偿点光强均居中，说明其较耐荫又耐光。综合净光合速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度、叶绿素 a/b、叶绿素/类胡萝卜素和量子需要额等参数来看，这 5 种植物对高光强的耐受能力高低依次为寒莓>高粱泡>茅莓>蓬蘽>山莓。

本研究中最大净光合速率最小的山莓却叶绿素含量最高，而最大净光合速率最大的高粱泡则叶绿素含量最低，说明这 5 种悬钩子属植物利用光能的能力不同与叶绿素含量没有直接的关系。为了进一步研究 5 种悬钩子属植物利用光能的能力差异，我们测定了 5 种植物叶绿素荧光。光化学猝灭表示光系统Ⅱ作用中心的开放程度^[9]，光系统Ⅱ有效光化学量子产量(F'_v/F'_m)反映的是光下开放的光系统Ⅱ反应中心原初光能捕获效率^[10]。山莓最不耐高光强主要是由于在高光下光化学猝灭明显低于其他 4 种植物，且山莓的胞间二氧化碳浓度明显升高，说明其高光下由于光系统Ⅱ作用中心的开放程度的下降引起了表观电子传递速率的明显下降，进而使光合磷酸化能力降低，导致同化力烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸(NADPH)和三磷酸腺苷(ATP)形成的减少，最终导致高光下净光合速率的速降。而非光化学猝灭是光系统Ⅱ天线色素吸收来的光能不能用于光合电子传递而以热能的形式耗散掉的光能部分^[11]。寒莓最耐高光强主要是由于在高光下有效光化学量子产量明显高于其他 4 个植物，使热耗散的光能，即非光化学猝灭显著低于其他 4 个植物，说明其高光下由于光系统Ⅱ反应中心原初光能捕获效率的升高引起了表观电子传递速率的明显升高，进而增加了光能利用效率。

不同光强下山莓气孔导度的相对稳定导致蒸腾速率也相对稳定，但高光下净光合速率的下降导致水分利用效率在高光下的速降。水分利用效率是评价植物对环境适应能力的综合指标，在同样的环境条件下，水分利用效率值越大，表明固定单位质量二氧化碳所需的水量越少，植物耐旱能力越高^[12]。山莓的水分利用效率在很低光强下是最高的，但是随后剧烈下降(图 1D)，也同样说明山莓不适合移植到大田，更适合种在原生境，也可以考虑移入大棚。在利用时考虑到山莓的量子需要额和最大光化

学量子产量(F_v/F_m)最大, 可以通过施肥和保水辅以适当的光照来增加其净光合速率。5 种植物中以高粱泡的最大净光合速率最高(表 2), 但它仍远低于树莓和黑莓^[13]。鉴于红莓和树莓是野生种经过多年培育筛选所得, 故此 5 种也有通过培育筛选而获得优良品种的可能, 尤其是寒莓和高粱泡, 但移栽成功与否为培育筛选的第一步。本研究通过测定光合和叶绿素荧光参数, 发现山莓并不适合大田移栽, 而其余 4 种可大田移栽。但是在在大田种植和开花结果时, 有可能遇到高温或低温等逆境, 故还需要进一步研究温度对此 5 种悬钩子属植物的影响。

参考文献:

- [1] 傅承新, 沈朝栋, 黄爱军. 浙江悬钩子属植物的综合研究-资源调查、引用及开发利用前景[J]. 浙江农业大学学报, 1995, **21** (4): 393 - 397.
FU Chengxin, SHEN Chaodong, HUANG Aijun. A comprehensive study on *Rubus* in Zhejiang: wild specific resources, transplantation and exploitation [J]. *Acta Agric Univ Zhejiang*, 1995, **21** (4): 393 - 397.
- [2] 沈朝栋, 郑晓冬, 黄爱军, 等. 浙江悬钩子属植物的综合研究: 蓬蘽的生物学特性[J]. 浙江农业大学学报, 1995, **21** (5): 493 - 499.
SHEN Shaodong, ZHENG Xiaodong, HUANG Aijun, *et al.* A comprehensive study on *Rubus* in Zhejiang Province: biological characters of *R. hirsuteus* Thunb.[J]. *Acta Agric Univ Zhejiang*, 1995, **21** (5): 493 - 499.
- [3] WELLBURN A R, LICHTENTHALER H. Formulae and program to determine total carotenoids and chlorophyll a and b of leaf extracts in different solvents [J]. *Adv Photosynth Res*, 1984, **2**: 9 - 12.
- [4] YE Z P. A new model for relationship between irradiance and the rate of photosynthesis in *Oryza sativa* [J]. *Photosynthetica*, 2007, **45** (4): 637 - 640.
- [5] 李雪芹, 徐礼根, 金松恒, 等. 4 种草坪草叶绿素荧光特性的比较[J]. 园艺学报, 2006, **33** (1): 164 - 167.
LI Xueqin, XU Ligen, JIN Songheng, *et al.* Comparison of chlorophyll fluorescence characteristics in four turfgrass species [J]. *Acta Hort Sin*, 2006, **33** (1): 164 - 167.
- [6] 盛宁, 姚青菊, 任全进, 等. 夏蜡梅和美国蜡梅属间杂种形态与光合生理特征[J]. 浙江林学院学报, 2008, **25** (6): 728 - 732.
SHENG Ning, YAO Qingju, REN Quanjin, *et al.* Morphology and photosynthesis of an intergeneric hybrid between *Sinocalycanthus chinensis* and *Calycanthus floridus* [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2008, **25** (6): 728 - 732.
- [7] 王利英, 楼炉煊, 王超, 等. 3 种冬青属植物气体交换参数及叶绿素荧光特性[J]. 浙江林学院学报, 2009, **26** (1): 27 - 31.
WANG Liying, LOU Luhuan, WANG Chao, *et al.* Leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in three species of *Ilex* [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, **26** (1): 27 - 31.
- [8] 吴家森, 宋福强, 陈荣, 等. 3 种七叶树属植物叶片气体交换特征和叶绿素荧光特性比较[J]. 植物研究, 2008, **28** (4): 438 - 441.
WU Jiasen, SONG Fuqiang, CHEN Rong, *et al.* Comparison of leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in three species of *Aesculus* Linn. [J]. *Bull Bot Res*, 2008, **28** (4): 438 - 441.
- [9] JIN Songhong, WANG Dun, ZHU Fuyun, *et al.* Up-regulation of cyclic electron flow and down-regulation of linear electron flow in antisense-*rca* mutant rice [J]. *Photosynthetica*, 2008, **46** (4): 504 - 510.
- [10] JIN Songhong, LI Xueqin, HU Junyan, *et al.* Cyclic electron flow around photosystem I is required for adaptation to high temperature in a subtropical forest tree, *Ficus concinna* [J]. *J Zhejiang Univ Sci B*, 2009, **10** (10): 784 - 790.
- [11] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论[J]. 植物学通报, 1999, **16** (4): 444 - 448.
ZHANG Shouren. A discussion on chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance [J]. *Chin Bull Bot*, 1999, **16** (4): 444 - 448.
- [12] 张岁歧, 山仑. 植物水分利用效率及其研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 2002, **20** (4): 1 - 5.
ZHANG Suiqi, SHAN Lun. Research progress on water use efficiency of plant [J]. *Agric Res Arid Area*, 2002, **20** (4): 1 - 5.
- [13] 彭少兵, 郭军战. 不同树莓和黑莓品种的光合特性研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2007, **35** (3): 116 - 120.
PENG Shaobing, GUO Junzhan. Comparative studies on photosynthesis characteristics between different varieties of raspberry and blackberry [J]. *J Northwest A & F Univ Nat Sci Ed*, 2007, **35** (3): 116 - 120.