

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2012.02.011

半红树植物黄槿的生态生物学特性研究

张伟伟^{1,2}, 刘楠¹, 王俊¹, 任海¹, 张立敏^{1,2}, 简曙光^{1*}

(1. 中国科学院华南植物园, 中国科学院退化生态系统植被恢复与管理重点实验室, 广州 510650; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 黄槿是一种具有重要生态、药用和观赏价值的半红树植物, 在海岸生态系统中发挥重要作用。对其生态及生物学特性进行研究表明: 黄槿属典型阳生性植物, 具有较高的光合潜能, 适于在热带亚热带地区光照充足的环境中生长。其叶绿素荧光的光合电子传递速率—光响应曲线(RLC)显示, 黄槿的相对电子传递速率(rETR)随光合有效辐射(PAR)的升高而逐渐增加, 并在 PAR 2 751 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时达到最大值, 说明其光合系统 II 在强光照下也能保持较高的电子传递效率。黄槿叶绿素荧光参数显示其具有较高的能量利用效率, 叶绿素 a/b 值(2.44 : 1)略低于理论值(3 : 1)。黄槿对营养元素的利用率较高, 植株体内 N、P、K、Ca、Na、Mg 的加权平均养分含量分别为 1.23%、0.23%、1.34%、0.42%、0.24%、0.41%。P 含量偏低, 在其栽培过程中应及时补充 P 元素。该研究结果将对黄槿的引种、栽培及开发利用提供重要的理论依据。

关键词: 黄槿; 生态及生物学特性; 开发利用

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2012)02-0198-05

Ecological and biological characteristics of *Hibiscus tiliaceus*, a mangrove associate in China

ZHANG Wei-Wei^{1,2}, LIU Nan¹, WANG Jun¹, REN Hai¹,
ZHANG Li-Min^{1,2}, JIAN Shu-Guang^{1*}

(1. Key Laboratory of Vegetation Restoration and Management of Degraded Ecosystems, South China Botanical garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China)

Abstract: *Hibiscus tiliaceus* is a mangrove associate species with high medicinal, ecological and ornamental values and plays an important role in coastal ecosystem. The study on the ecological and biological characteristics of *H. tiliaceus* showed that it was a typical heliophyte with high photosynthetic capacity and preferred to grow under sunny condition in tropical and subtropical regions. The chlorophyll fluorescence rapid light response curves of *H. tiliaceus* showed that relative electron transport rate (rETR) increased with elevated photosynthetically active radiation (PAR) and reached its maximum value at 2 751 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, indicating that its photosystem II maintained relatively high electron transport rate in high radiation condition. Measurement of chlorophyll fluorescence parameters showed that it had a relatively high level of energy use efficiency. The chlorophyll a/b ratio (2.44 : 1) was slightly lower than theoretic value (3 : 1). *H. tiliaceus* had a high level of nutrient utilization efficiency. The weighted nutrient concentrations of N, P, K, Ca, Na and Mg in *H. tiliaceus* were 1.23%, 0.23%, 1.34%, 0.42%, 0.24% and 0.41%, respectively.

① 收稿日期: 2011-09-14 修回日期: 2011-12-07

基金项目: 国家科技部支撑计划项目(2008BAJ10B03); 广东省科技计划项目(2008A060207017, 2008B020300011, 2010B060200039); 广州市“科技亚运”专项行动计划项目(2010U1-E00601)[Support by the Ministry of Science and Technology Pillar Program(2008BAJ10B03); Science and Technology Project of Guangdong(2008A060207017, 2008B020300011, 2010B060200039); “Science and Technology Asian Games” Special Action Program of Guangzhou (2010U1-E00601)]

作者简介: 张伟伟(1985-), 女, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事分子生态学, (E-mail) weizhang@scbg.ac.cn.

* 通讯作者: 简曙光, 博士, 从事分子生态学、恢复生态学研究, (E-mail) jiansg@scbg.ac.cn.

The concentration of phosphorus(P)in the plant was relatively low,so it should be added in cultivation. The results from the current study would be very useful for introduction,cultivation,exploitation and utilization of *H. tiliaceus*.

Key words: *Hibiscus tiliaceus*; ecological and biological characteristics; exploitation and utilization

黄槿(*Hibiscus tiliaceus*)为锦葵科(Malvaceae)木槿属(*Hibiscus*)常绿乔木或灌木,别名黄木槿、海麻、海麻桐、木麻、公背树等,是一种能在海岸潮间带和陆地两种环境中生长的半红树植物。热带、亚热带沿海地区均有分布,以太平洋群岛尤其多见。在我国,黄槿广泛分布于福建以南的滨海地区,常见于红树林林缘,有时被海水淹没(冯国楣等,1984;Tomlinson,1986)。黄槿的叶、树皮和花均可入药,具有清热解毒、散瘀和消肿的功效(林鹏等,2005;Chin,1992);生长迅速,遮荫效果良好,在内陆广为栽培,多做行道树及遮荫树(冯国楣等,1984);此外,黄槿耐盐性强,抗风抗沙,对二氧化硫、二氧化碳等有一定抗性,在建造海岸防风林和矿区植被恢复中发挥着重要作用(陈兴龙等,1999;Kan and Hu,1987;Lee等,1993;Whistler,1980)。

虽然黄槿有较高的应用价值,且已被应用较广泛,但国内外目前对黄槿的研究还相对较少,且主要集中在形态及生理学方面,如种子的形态和解剖学特征(Soave等,1990)、传播生态学(Nakanishi,1988)、植物叶片的矿物离子和组织液成分分析(Popp,1984;Popp等,1985)、生长抑制剂对延缓黄槿生长的作用(Criley,1997)。黄槿生态学方面的研究较少,其中,Santiago等(2000)研究了盐度和光照强度对夏威夷瓦胡岛不同生境(海岸和山地)黄槿种群光合作用的气体交换、生物量分配和积累的影响,得出盐分增加降低了山地种群的净二氧化碳同化作用,但不影响海岸种群的光合作用,同时提高了所有种群的水分利用效率。本文对黄槿的生态及生物学特性进行研究,试图为其保护、引种、栽培及开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 植物材料及研究地区概况

植物材料采自我国红树林面积最大的广东湛江红树林国家自然保护区,该保护区自然资源丰富,有真红树和半红树植物 15 科 25 种,红树林伴生植物 14 科 21 种,是我国大陆海岸红树林种类最多的地区。属北热带气候区,常有台风或特大暴风潮发生,

海洋性自然灾害多发,土壤多为海滨沙土和滨海盐土,其中滨海盐土多为浅海沉积或河流冲击物发育而成,淤泥深厚、土壤肥沃,是最适宜红树林生长的土壤之一。实验样地位于雷州市附城镇芙蓉湾(110°09' E,20°56' N)。红树林植被群落主要为无瓣海桑(*Sonneratia apetala*)林、白骨壤(*Avicennia marina*)林和桐花树(*Aegiceras corniculatum*)+秋茄(*Kandelia candel*)林等,另有红海榄(*Rhizophora stylosa*)、木榄(*Bruguiera gymnorrhiza*)、海漆(*Excoecaria agallocha*)等红树植物及草海桐(*Scaevola frutescens*)、阔苞菊(*Pluchea indica*)、假茉莉(*Clerodendrum inerme*)、老鼠簕(*Acanthus ilicifolius*)、卤蕨(*Acrostichum aureum*)、鱼藤(*Derris trifoliata*)等红树林伴生植物,黄槿散生于红树林边缘。林分郁闭度约 0.8,高度除无瓣海桑林较高(6~8 m)外,其它群落均为 1.5~3.0 m。

1.2 研究方法

1.2.1 形态学特征的观测 平均节间距、枝角、叶面积等指标采用任海等(2002)方法测定,各取 4 株同龄植株测量。叶片显微结构按 Duncan 等(1971)的方法,通过制片在显微镜下进行观测。叶面积采用美国 Li-Cor3000 叶面积仪直接测定。

1.2.2 生理生态学特性测定 叶绿素含量测定:取黄槿不同部位叶片打孔,获得 5 个叶圆片(面积约为 1.413 cm²),以 80%的丙酮浸提叶圆片,用紫外分光光度计(UV-3802,Unico)于 663、645 和 440 nm 处测量总叶绿素含量、叶绿素 a 和叶绿素 b 含量、类胡萝卜素总量,并计算叶绿素 a/b(林植芳等,1984)。叶绿素荧光参数的测定:采用便携式叶绿素荧光测定仪(PAM-2100,Germany)进行测定和计算。测定前将植物叶片暗适应 30 min。其中,光系统 II (PSII)最大光化学效率 $F_v/F_m = (F_m - F_o)/F_m$,光系统 II 实际光化学效率 $\Phi_{PSII} = 1 - F_s/F_m'$,光化学荧光淬灭 $qP = (F_m' - F_s)/(F_m' - F_o')$;非光化学荧光淬灭 $NPQ = F_m/F_m' - 1$, F_m 和 F_o 分别代表暗适应后的最大和初始荧光, F_m' 和 F_o' 代表光适应后的最大荧光和初始荧光, F_s 是稳态荧光。

使用便携式叶绿素荧光测定仪(PAM-2100,

Germany) 测量相对电子传递速率(rETR), 设置 10 个光强梯度(79, 185, 280, 415, 565, 771, 1 191, 1 771, 2 751, 3 642 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 每个梯度持续 10s, 分别测量 rETR 值并自动记录, 重复测量四次, 绘制快速相对电子传递速率的光响应曲线(RLC)。

1.2.3 植物营养元素及土壤理化性质测定 在野外采集具有代表性的新鲜植物样品, 按叶、枝、根分开, 带回实验室用烘箱 60 $^{\circ}\text{C}$ 烘干。干样品磨碎、过筛后用硫酸—高氯酸消化, 其中全 N 用流动注射分析仪(QC800, 美国)测定, 全 P 采用钼比色法测定, K、Na、Ca 和 Mg 用原子吸收分光光度计(GBC932AA, 澳大利亚)测定, 重复测量 3 次。在 3 个黄瑾野外种群样方内采集 0~30 cm 的混合土壤样品, 风干, 研细, 过 200 目筛, 用流动注射分析仪(QC800, 美国)进行养分测定(林植芳等, 1984)。

数据分析和作图均采用 Excel 软件进行。

表 1 黄瑾的形态解剖学特征

Table 1 Morphological characteristics of *H. tiliaceus*

指标 Index	数值 Value
枝角 Branch angle ($^{\circ}$)	65.60 \pm 4.60
单位叶面积干重 Weight per area unit ($\text{mgDW} \cdot \text{cm}^{-2}$)	7.98 \pm 2.04
平均叶面积 Average leaf area (cm^2)	131.12 \pm 23.07
叶长 Blade length (cm)	12.60 \pm 2.60
叶宽 Blade width (cm)	12.00 \pm 2.60
叶厚度 Blade thickness (μm)	282.70 \pm 3.86
栅栏组织厚度 Thickness of palisade tissue (μm)	138.30 \pm 11.23
小脉间距 Intervascular distance (μm)	199.00 \pm 30.07
下表皮气孔数 Number of stomata on the lower epidermis ($\text{No} \cdot \text{mm}^{-2}$)	314.23 \pm 37.41
栅皮比 Epidermis cell/palisade cell	5.25 \pm 1.48
脉岛数 Vein-islet number ($\text{No} \cdot \text{mm}^{-2}$)	21.15 \pm 4.76

2 结果与分析

2.1 生物学特征

野外实地观察发现, 黄瑾多生长在红树林林缘, 有时与红树植物混生, 涨潮时林地常被海水淹没, 该环境中的黄瑾分枝(主要为分蘖枝)极为发达, 形成非常致密的林带。黄瑾的形态解剖学特征如表 1, 枝叶结构特征显示黄瑾枝角大、冠型比较均匀。叶片的解剖结构显示其叶片大而厚, 气孔多, 叶肉内栅栏组织发达, 胞间隙小, 具备明显的阳生性特征。

2.2 叶绿素含量及荧光特性

测量黄瑾叶绿素含量(表 2)显示, 叶绿素 a/b

比值为 2.44 ± 0.03 , 略低于的理论值 3 : 1。其光合电子传递速率—光响应曲线如图 1 所示, 相对电子传递速率(rETR)随着光合有效辐射(PAR)的增强而逐渐升高至最大值。黄瑾的最大 rETR 值出现在 PAR 为 2 751 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 处(曲线第 9 个点), 随后保持稳定。

表 2 黄瑾叶绿素含量及叶绿素荧光参数
Table 2 Chlorophyll content and fluorescence parameters of *H. tiliaceus*

指标 Index	数值 Value
叶绿素 a Chlorophyll-a content ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)	20.67 \pm 1.85
叶绿素 b Chlorophyll-b content ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)	8.48 \pm 0.76
总叶绿素含量 Total chlorophyll content ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)	29.15 \pm 2.61
叶绿素 a/b Chlorophyll-a/chlorophyll-b	2.44 \pm 0.03
类胡萝卜素含量 Carotenoids content ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)	8.39 \pm 0.68
最大光化学效率 Optimal/maximal photochemical efficiency of PS II in the dark (F_v/F_m)	0.78 \pm 0.04
实际光化学效率 The actual photochemical efficiency (Φ_{PSII})	0.67 \pm 0.03
光化学荧光淬灭 Photochemical fluorescence quenches (qP)	0.95 \pm 0.04
非光化学荧光淬灭 Non-photochemical fluorescence quenches (NPQ)	1.45 \pm 0.30

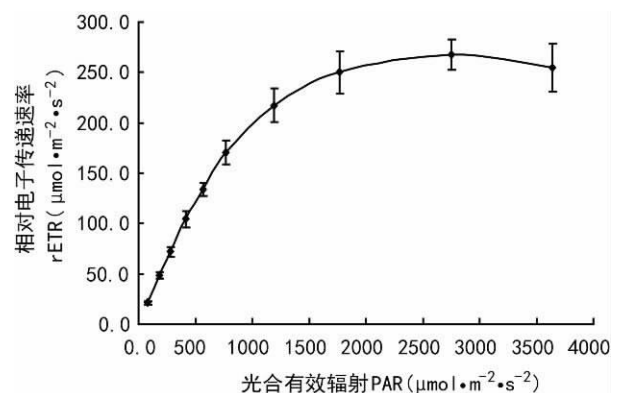


图 1 黄瑾的光合电子传递速率—光响应曲线
Fig. 1 The rapid light response curves of relative electron transport rate (rETR) in *H. tiliaceus*

2.3 营养物质分布及利用

黄瑾各器官的主要营养元素含量(质量分数, 以下同)见表 3。叶片的总营养元素含量最高, 枝次之, 根最低。植株体内加权平均养分含量(相当于将整株植株磨碎混匀后测定的结果)依次为全 K (1.34%) > 全 N (1.23%) > Ca (0.42%) > Mg (0.41%) > Na (0.24%) > 全 P (0.23%)。植株体内 N、P、K 的比例为 0.92 : 0.17 : 1, P 含量较低,

叶片中的全 N、全 K 含量最高, 枝和根的全 K 含量较高。

对调查地的土壤养分含量进行分析, 其全 K、Na、Ca、Mg 含量分别为 $(1.90 \pm 0.01)\%$ 、 $(0.55 \pm 0.01)\%$ 、 $(0.04 \pm 0.01)\%$ 、 $(0.42 \pm 0.01)\%$ 。比之黄槿各营养器官营养元素含量, 发现其根、茎、叶中全 K 含量均较高, 与土壤中含全 K 含量高的趋势一致。

表 3 黄槿各器官营养元素含量 (w%, mean \pm SE)
Table 3 Nutrient content in different organs of *H. tiliaceus*

器官 Organ	全 N Total N	全 P Total P	全 K Total K	Na	Ca	Mg
叶 Leaf	2.09 \pm 0.08	0.27 \pm 0.01	1.58 \pm 0.03	0.26 \pm 0.01	0.48 \pm 0.00	0.44 \pm 0.01
枝 Stem	0.99 \pm 0.06	0.24 \pm 0.01	1.38 \pm 0.02	0.23 \pm 0.00	0.57 \pm 0.01	0.41 \pm 0.01
根 Root	0.62 \pm 0.02	0.16 \pm 0.03	1.07 \pm 0.01	0.24 \pm 0.03	0.21 \pm 0.01	0.37 \pm 0.00
平均值 Mean	1.23 \pm 0.66	0.23 \pm 0.05	1.34 \pm 0.23	0.24 \pm 0.02	0.42 \pm 0.16	0.41 \pm 0.03

能够在强烈光照下保持植物体内水分平衡, 提高水分利用效率, 从而有效增加生物量。

以叶绿素荧光参数为基础计算的光合电子传递速率—光响应曲线反映叶片对光照条件波动的耐受性, 能提供对光合活性的可靠评价 (White and Christa, 1999)。黄槿的光合电子传递速率—光响应曲线随着光合有效辐射的增强而逐渐升高至最大值, 随后趋于稳定, 其光饱和点 (约 $2\ 700\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 高于当地太阳辐射的最大值 ($1\ 500 \sim 1\ 700\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), 显示在高光强条件下, 黄槿的光系统 II 依然能够保持较高的电子传递速率, 显示了强阳生性的生物学特点。叶绿素荧光诱导曲线反映了植物从暗适应到光照后的光合作用诱导的动力学变化, 相应的荧光参数是植物的重要生理指标 (刘敏等, 1990)。本研究中, 黄槿最大光合效率 (0.78 ± 0.04) 略低于光能转化效率的理论值 (0.85)。但在自然生长光照条件下, 黄槿显示了较高的光系统 II 实际光化学效率和光化学荧光淬灭, 表明黄槿能充分利用和转化太阳光能, 并有效的将这部分能量储存在植物体内, 有利于生物量积累。

光合色素 (叶绿素和类胡萝卜素) 是植物光合作用的主要功能色素和辅助色素, 其含量和比例可以反映叶片的光合潜能及光合初级产物的水平 (Filella 等, 1995)。本研究显示, 黄槿叶绿素 a/b 比值 ($2.44 : 1$) 低于阳生植物的理论值 ($3 : 1$), 这说明叶绿体中聚光色素 (主要为叶绿素 b) 的含量相对较高, 而叶绿体作用中心色素 (主要为叶绿素 a) 含量相对较低。这样的叶绿体结构更有利于吸收光能,

3 结论与讨论

黄槿叶面积大, 枝角大, 能充分利用空间资源, 获取更多的光照。叶片的下表皮气孔数量多, 即气孔频度大, 利于气体和水分通过气孔进行交换, 此外, 由于气孔频度大有利于蒸腾作用的进行, 这使其

并传递到作用中心进行光合作用 (潘瑞炽, 1979)。此外, 黄槿具有高含量的类胡萝卜素和并不是很高的非光化学荧光淬灭值 (NPQ), 表明黄槿能够通过改善光合机构的结构 (叶绿素 a/b 比值), 降低反应中心色素相对含量, 避免过剩光能传递到光系统反应中心, 产生光抑制现象。

植物营养元素含量体现植物在一定生境条件下吸收和利用营养元素的能力, 能在一定的程度上揭示植物的生长状况 (刘鹏等, 2008)。通常, 植物体内 N 元素含量为 $10 \sim 50\ \text{g/kg}$, P 元素含量为 $1 \sim 5\ \text{g/kg}$, K 元素含量为 $3 \sim 50\ \text{g/kg}$ (廖红等, 2003)。本研究中, 黄槿的 N、P、K 元素含量均在植物养分常规含量范围内, 但是, 黄槿的枝和根中的 N 元素含量低于常规含量, 这可能是与 N 元素向生长旺盛的部分转移有关。植物体内养分含量与养分的供应存在直接的关系 (王忠强, 2000), 本研究中, N、P、K 的比例则显示黄槿 P 元素含量偏低, 可能是该种对养分胁迫所产生的适应, 需要开展进一步的研究。

综上所述, 黄槿属阳生性树种, 具有较高的光合潜能和能量转化效率, 光照充分的环境中生长良好。黄槿叶片 N、K、Ca、Mg 含量高, 有利于生长和合成光合色素。本研究对黄槿的引种及栽植具有重要意义, 如适合引种到热带及亚热带地区, 栽种于光照较好的环境, 忌荫蔽; 种植时应该适量增加营养元素的供应, 以促进其生长和适应环境。

参考文献:

王忠强. 2000. 植物生理学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社

- 冯国楹, 锦葵科. 1984. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 49(2): 64—66
- 廖红, 严小龙. 2003. 高级植物营养学[M]. 北京: 科学出版社
- 潘瑞炽. 1979. 植物生理学[M]. 北京: 高等教育出版社: 31—32
- Chen XL(陈兴龙), An SQ(安树青), Li GQ(李国旗), et al. 1999. The economic salttolerant plant resources on the coastal zone of China(中国海岸带耐盐经济植物资源)[J]. *J Nanjing Fore Univ(南京林业大学学报)*, 23(4): 81—84
- Chin WY. 1992. A Guide to Medicinal Plants[M]. Singapore: Singapore Science Centre, 76
- Criley RA. 1997. Control of vegetative growth in Hau(Hibiscus tiliaceus)[J]. *Horticult Res Note*, 5: 1—4
- Duncan WG. 1971. Leaf angles, leaf area, and canopy photosynthesis[J]. *Crop Sci*, 11: 482—485
- Filella I, Serrano L, Serra J, et al. 1995. Evaluating wheat nitrogen status with canopy reflectance indices and discriminant analysis [J]. *Crop Sci*, 35: 1400—1405
- Kan WH, Hu TW. 1987. Regeneration of deforested sites of coastal windbreaks by underplanting[J]. *Bull Taiwan Fore Res Inst, New Series*, 2: 1—16
- Lee HD, Chiou WL, Wang SH. 1993. The studies of ecological reforestation in Peng Hu: The adaptation of 25 Heng Chun indigenous tree species in Sa Kang, Peng Hu[J]. *Bull Taiwan Fore Res Inst, New Series*, 8: 209—218
- Lin P(林鹏), Lin YM(林益明), Yang ZW(杨志伟), et al. 2005. Research status, civil utilization and prospect on marine mangrove drug in China—a review(中国海洋红树林药物的研究现状、民间利用及展望)[J]. *Mar Sci(海洋科学)*, 29(9): 76—79
- Lin ZF(林植芳), Li SS(李双顺), Lin GZ(林桂珠). 1984. Super-oxide dismutase activity and lipid peroxidation in relation to senescence of rice leaves(水稻叶片衰老与 SOD 活性及膜脂过氧化化的关系)[J]. *Acta Bot Sin(植物学报)*, 26(6): 605—615
- Liu M(刘敏), Jia CF(贾彩凤), Niu YN(牛延宁), et al. 2009. Study on the chlorophyll fluorescence characteristics of three invasive plants(3种入侵植物叶绿素荧光特性的研究)[J]. *J Anhui Agric Sci(安徽农业科学)*, 37(4): 1496—1498
- Liu P(刘鹏), Hao ZY(郝朝运), Chen ZL(陈子林), et al. 2008. Nutrient element distribution in organs of *Heptacodium miconioides* in different communities and its relationship with soil nutrients(不同群落类型中七子花器官营养元素分布及其与土壤养分的关系)[J]. *Acta Pedol Sin(土壤学报)*, 45(3): 304—312
- Nakanishi H. 1988. Dispersal ecology of the marine plants in the Ryukyu Island[J]. *Jap Ecol Res*, 3: 163—174
- Popp M. 1984. Chemical composition of Australia mangroves: 1. Inorganic ions and organic acids[J]. *Z Pflanzenphysiol*, 113: 395—410
- Popp M, Larher F, Weigel P. 1985. Osmotic adaptation in Australia mangroves[J]. *Vegetatio*, 61: 247—254
- Ren H(任海), Peng SL(彭少麟), Dai ZM(戴志明), et al. 2002. Ecological and biological characteristics of *Wikstroemia indica* (了哥王的生态生物特征)[J]. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 13(12): 1529—1532
- Santiago LS, Lau TL, Melcher PJ, et al. 2000. Morphological and physiological responses of three populations of Hawaiian *Hibiscus tiliaceus* to light and substrate salinity[J]. *Int J Plant Sci*, 161: 14—20
- Soave RCF, Mendes JA, Beltrati CM. 1990. Morphological and anatomical studies of *Hibiscus tiliaceus* seeds[J]. *Arq Biol Tecnol (Curitiba)*, 33: 141—148(In Portuguese)
- Tomlinson PB. 1986. The Botany of Mangroves[M]. Cambridge: Cambridge University Press
- Whistler WA. 1980. Coastal Flowers of the Tropical Pacific. A Guide to widespread Seashore Plants of the Pacific Islands(Oceania)[M]. Pacific Tropical Botanic Garden Hawaii: 82
- White AJ, Christa C. 1999. Rapid light curves: A new fluorescence method to assess the state of the photosynthetic apparatus[J]. *Photosynth Res*, 59: 63—72

(上接第 225 页 Continue from page 225)

2011. Evaluation of powdery mildew resistance of 408 wheat cultivar(lines)(408份小麦品种(系)白粉病抗性的评价)[J]. *J Triticeae Crops(麦类作物学报)*, 31(3): 544—548
- Wang KB(王坤波). 2000. On specific permanent populations and their prospected application in cotton(论棉花永久性群体种类特色与应用价值)[J]. *Acta Gossypii Sin(棉花学报)*, 12(1): 40—44
- Wen B, Wang RL, Song SQ. 2009. Cytological and physiological changes related to cryotolerance in orthodox maize embryos during seed development[J]. *Protoplasma*, 236: 29—37
- Zhang WE(张文娥), Wang F(王飞), Pan XJ(潘学军). 2007. Comprehensive evaluation on cold hardiness of Vitis species by Subordinate Function(SF)(应用隶属函数法综合评价葡萄种间抗寒性)[J]. *J Fruit Sci(果树学报)*, 24(6): 849—853
- Zhang X(张新), Chen GP(陈国平), Pan FY(潘凤英), et al. 2011. Researches on interspecific heterosis and cytoplasm effect of cryotolerance and its related traits in perennial cotton(宿生棉耐冷相关性状的种间杂种优势及细胞质效应分析)[J]. *Southwest Chin J Agric Sci(西南农业学报)*, 24(5): 1669—1675
- Zhang X(张新), Chen GP(陈国平), Zhou RY(周瑞阳). 2010. Effect of perennial cultivation on “Dong A” genic male sterile lines in annual upland cotton(一年生陆地棉细胞核雄性不育系洞 A 的宿生栽培效应)[J]. *Guihaia(广西植物)*, 30(3): 391—394
- Zhang X(张新), Zhou RY(周瑞阳), Lou XY(娄喜艳). 2008. Investigation on overwintering of cotton germplasm resources in 2008 in Nanning of Guangxi(2008年广西南宁棉花种质资源越冬调查)[J]. *Crops(作物杂志)*, (6): 74—76