

# 金叶植物色素含量对光强的响应

胡海姿<sup>1</sup>, 张睿<sup>1</sup>, 尚爱芹<sup>1,2</sup>, 赵梁军<sup>1\*</sup>, 陆志敏<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>中国农业大学观赏园艺与园林系, 北京 100094; <sup>2</sup>河北农业大学园艺学院, 河北保定 071001; <sup>3</sup>宁波市林业局, 浙江宁波 315000)

**摘要:** 以 14 种金叶植物为试材, 测定了各自的光饱和点、光补偿点, 分析了叶片中的色素组成及含量, 同时探讨了叶片色素变化对光照强度的响应。研究结果显示: 供试金叶植物叶片的总叶绿素含量 (Chl.) 普遍偏低, 叶绿素类胡萝卜素 (Chl./Car.) 比值低于绿叶植物; 同一枝条随着叶位的降低, Chl. 和 Chl./Car. 值均呈上升趋势, 叶色加深。金叶植物的叶色表达受环境光强影响, 在强光下叶色金黄, 弱光下由于叶绿素含量增加, 导致叶色转变为黄绿。根据叶片色素变化对光强响应的敏感程度, 将供试金叶植物分为光强不敏感型、光强敏感型、光强高度敏感型 3 类: 光强不敏感型的有金叶红薯和金叶绿萝, 光强敏感型的有金叶珊瑚朴、金叶皂荚、金叶国槐、金叶风箱果、金叶红瑞木、金叶女贞、金山绣线菊、金叶小檗, 光强高度敏感型有金叶接骨木、金叶莢、金叶连翘。

**关键词:** 金叶植物; 叶色; 叶位; 光照强度; 光敏感性

中图分类号: S 68 文献标识码: A 文章编号: 0513-353X (2007) 03-0717-06

## Response of Pigment Content of Golden-leaf Plants to Light Intensity

HU Hai-zi<sup>1</sup>, ZHANG Rui<sup>1</sup>, SHANG Ai-qin<sup>1,2</sup>, ZHAO Liang-jun<sup>1\*</sup>, and LU Zhi-min<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>Department of Ornamental Horticulture and Landscape Architecture, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

<sup>2</sup>College of Horticulture, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071001, China; <sup>3</sup>Ningbo Forestry Bureau, Ningbo, Zhejiang 315000, China)

**Abstract:** In this paper, light saturation point and light compensation point, pigment content in leaf, the response of leaf color to environmental light intensity on 14 kinds of golden-leaf plants were measured. The results showed that the chlorophyll content and ratio of Chl./Car. of golden-leaf plants increased with the descending leaf position and the leaf color of most golden-leaf plants was affected by environmental light intensity. The golden leaves turned green and the content of chlorophyll increased with the decrease of light intensity. According to the sensitivity of leaf color to light intensity, these plants were divided into three types, namely light insensitivity, light sensitivity and highly light sensitivity. The light insensitivity type includes *Ipomoea batatas* 'Aurea' and *Epipremnum aureum*. The light sensitivity type includes *Celtis julianae* 'Aurea', *Gleditsia triacanthos* 'Sunburst', *Sophora japonica* 'Aurea', *Physocarpus opulifolius* 'Aurea', *Comus alba* 'Aurea', *Ligustrum lucidum* 'Aurea', *Spiraea bumalda* 'Goldmound', *Berberis thunbergii* 'Aurea', and the highly light sensitivity type includes *Sambucus glauca* 'Aurea', *Caryopteris × Clandonensis* 'Worcester Gold', *Forsythia koreana* 'Suwon Gold'.

**Key words:** Golden-leaf plant; Pigment content; Leaf position; Light intensity; Light sensitivity

在园林植物学上, 一般将叶片呈现出不同程度黄色的植物称为金叶植物 (Golden-leaf plant, 品种名常冠以 'Aurea'), 具有特殊的园林用途和很高的观赏价值 (黄玄和赵梁军, 2002; 姜卫兵等,

收稿日期: 2006 - 12 - 04; 修回日期: 2007 - 04 - 17

基金项目: 浙江省宁波市科技计划项目 (2002C10020)

\*通讯作者 Author for correspondence (E-mail: zhaolj5073@163.com)

2005),特别是能够长时间保持黄色叶片的类型,具有观赏期长和色彩鲜艳的特点,在淡花季节能起到以叶代花的作用,弥补园林景观色彩单调的缺憾。

城市环境中光强的不均一分布,常使金叶植物的叶色偏离其正常色调,达不到理想的设计效果。理论上,不同金叶植物对光强的敏感程度应有所不同,但国内外探讨金叶植物对光强响应的研究甚少,缺乏可供景观设计的参考资料。

## 1 材料与方法

本研究以 14 种常见的金叶植物为试材,测定各自的光饱和点等光响应参数,研究叶片中的色素组成及含量,探讨叶色表达对光强的响应。

供试材料包括 4 种落叶乔木:金叶珊瑚朴 (*Celtis julianae* 'Aurea') (黄玄和赵梁军, 2002; 黄玄等, 2003) (自育品系)、金叶臭椿 (*Ailanthus altissima* 'Aurea') (自育品系)、金叶皂荚 (*Gleditsia triacanthos* 'Sunburst')、金叶国槐 (*Sophora japonica* 'Aurea'); 8 种落叶灌木:金叶接骨木 (*Sambucus glauca* 'Aurea')、金叶风箱果 (*Physocarpus opulifolius* 'Aurea')、金叶红瑞木 (*Comus alba* 'Aurea')、金叶女贞 (*Ligustrum lucidum* 'Aurea')、金叶莢 (*Caryopteris xclandonensis* 'Worcester Gold')、金山绣线菊 (*Spiraea xbumalda* 'Goldmound')、金叶小檗 (*Berberis thunbergii* 'Aurea')、金叶连翘 (*Forsythia koreana* 'Suwon Gold'); 2 种草本植物:金叶红薯 (*Ipomoea batatas* 'Aurea') 和金叶绿萝 (*Epiprænum aureum*)。

2005 年 3 月下旬将金叶植物的 3 年生苗木种植于中国农业大学科学园内,每种定植 4 株,大小相对一致。

遮荫处理于 2005 年 6 月 15 日~7 月 15 日进行,设不遮荫 (100%自然光强)、单层白纱网遮荫 (80%光强)、单层黑色遮阳网遮荫 (40%光强)、双层黑色遮阳网遮荫 (20%光强) 处理。4 种处理在晴天上午 11 时相对应的光照强度依次为 1 800、1 400、810、360  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。各种试材的光响应参数测定和用于色素含量测定的样本采集,分别选在晴天上午 10 时和 9 时进行。

选取不同方位枝条顶端的第 3 位成熟展开叶,同一枝条上第 2 位、第 5~6 位和基位叶,混合取样,测定色素含量 (Amon, 1949)。每次测定重复 3 次。

选取第 3 位成熟叶,采用 LI-6400 便携式光合仪测定光响应参数,光强范围 0~2 000  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,温度 27 $^{\circ}\text{C}$ 。读取净光合速率 ( $P_n$ )、光合有效辐射 (PAR) 等参数,绘制光响应曲线,得出光饱和点和光补偿点。

## 2 结果分析与讨论

### 2.1 同一枝条不同叶位叶片色素含量比较

如表 1 所示,金叶珊瑚朴、金叶臭椿、金叶皂荚、金叶国槐、金叶接骨木、金叶女贞、金叶莢、金山绣线菊各叶位的总叶绿素含量 (Chl.) 差异显著,其中金叶国槐、金叶女贞、金叶莢、金叶红薯中位叶 Chl. 最高,其余均为下部叶最高,这与在烟草金叶品种中得出的结论 (Christiane et al., 1994) 一致。

各种金叶植物的类胡萝卜素 (Car) 含量变化较为平稳,而总叶绿素/类胡萝卜素比值 ( $\text{Chl.} / \text{Car.}$ ) 与 Chl. 的变化一致,均表现为随叶位降低而升高的趋势,这说明不同叶位的叶色差异主要源于 Chl. 含量的变化,与 Car. 含量的关系不明显。

金叶植物一般表现为中、下部叶的 Chl. 含量高,这可能有利于成龄叶片进行光合作用,并向上部幼龄金色叶片发育提供营养,以保证整个树体的营养平衡与正常生长。

表 1 14种金叶植物同一枝条不同叶位的色素含量及比值比较

Table 1 Comparison of pigment content and its ratio in different leaf positions of 14 kinds of golden-leaf plants

植物 Plants	叶位 Leaf position	Chl. ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	Car. ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	Chl. /Car.
金叶珊瑚朴 <i>Celtis julianae</i> 'Aurea'	上 Upper	0.73c	2.75a	0.26b
	中 Middle	1.41b	1.70a	0.83a
	下 Lower	1.85a	1.91a	0.97a
金叶臭椿 <i>Ailanthus altissima</i> 'Aurea'	上 Upper	1.24c	2.70a	0.46b
	中 Middle	2.12b	3.04a	0.70a
	下 Lower	2.46a	3.33a	0.74a
金叶皂荚 <i>Gleditsia triacanthos</i> 'Sunburst'	上 Upper	0.51c	1.96a	0.26b
	中 Middle	2.02b	2.62a	0.77a
	下 Lower	2.19a	2.64a	0.83a
金叶国槐 <i>Sophora japonica</i> 'Aurea'	上 Upper	0.61c	1.88b	0.33b
	中 Middle	2.23a	3.43a	0.65b
	下 Lower	1.47b	1.12b	1.31a
金叶接骨木 <i>Sambucus glauca</i> 'Aurea'	上 Upper	0.80b	2.03a	0.39a
	中 Middle	0.55c	0.89b	0.62a
	下 Lower	1.02a	1.25ab	0.82a
金叶风箱果 <i>Physocarpus opulifolius</i> 'Aurea'	上 Upper	1.05b	2.22a	0.47b
	中 Middle	1.40a	2.44a	0.58ab
	下 Lower	1.54a	1.89a	0.82a
金叶红瑞木 <i>Comus alba</i> 'Aurea'	上 Upper	1.61a	2.67a	0.60a
	中 Middle	1.43b	2.16ab	0.66a
	下 Lower	1.32c	1.49b	0.89a
金叶女贞 <i>Ligustrum lucidum</i> 'Aurea'	上 Upper	0.07c	0.27b	0.25b
	中 Middle	0.84a	1.50a	0.56a
	下 Lower	0.67b	1.41a	0.47a
金叶莢 <i>Caryopteris xclandonensis</i> 'Worcester Gold'	上 Upper	0.62c	2.19a	0.28b
	中 Middle	0.98a	2.15a	0.45a
	下 Lower	0.78b	1.93a	0.41ab
金山绣线菊 <i>Spiraea xbumalda</i> 'Goldmound'	上 Upper	0.43c	1.30a	0.33b
	中 Middle	1.29b	2.00a	0.64ab
	下 Lower	1.99a	2.08a	0.95a
金叶小檗 <i>Berberis thunbergii</i> 'Aurea'	上 Upper	0.20b	1.33a	0.15a
	中 Middle	0.19b	1.20a	0.16a
	下 Lower	0.43a	1.11a	0.39a
金叶连翘 <i>Forsythia koreana</i> 'Suwon Gold'	上 Upper	0.23b	2.07a	0.11b
	中 Middle	0.22b	1.74a	0.13b
	下 Lower	1.15a	1.89a	0.61a
金叶红薯 <i>Ipomoea batatas</i> 'Aurea'	上 Upper	0.59a	1.29a	0.46a
	中 Middle	0.67a	1.64a	0.41a
	下 Lower	0.47b	0.78a	0.60a
金叶绿萝 <i>Epipremnum aureum</i>	上 Upper	0.51a	-	-
	中 Middle	0.20b	-	-
	下 Lower	0.51a	-	-

注: 显著水平  $\alpha=0.05$ , 下同。Note: Level of significant  $\alpha=0.05$ . The same below.

## 2.2 叶片色素含量对光强的响应

不同金叶植物叶片色素含量对光强的响应表现不同 (表 2)。遮荫处理 15 d 后, 随着光照强度的减弱, 各种金叶植物的 Chl. 含量总体呈增加趋势, 金色叶的表现效果不明显, 且 Chl. /Car. 值与 Chl. 的变化趋势一致, 这与 Hideo 等 (1995)、Nikola 和 Mercedes (2003)、王精明和柴素芬 (2002)、文祥凤等 (2003) 在黄金榕、金边大叶黄杨和金叶假连翘上的研究结果一致。

表 2 金叶植物叶片色素含量对光强的响应

Table 2 Response of pigment content to light intensity of 14 kinds of golden-leaf plants

植物 Plants	相对光强 Light intensity (%)	15 d			30 d		
		Chl. (mg · g <sup>-1</sup> )	Car. (mg · g <sup>-1</sup> )	Chl. /Car.	Chl. (mg · g <sup>-1</sup> )	Car. (mg · g <sup>-1</sup> )	Chl. / Car.
金叶珊瑚 <i>Celtis julianae</i> 'Aurea'	100	0.59c	2.57a	0.23c	0.73b	2.75a	0.28b
	80	0.83c	2.46a	0.34c	0.97ab	2.53ab	0.39b
	40	1.25b	2.43a	0.52b	1.08ab	2.18bc	0.50ab
	20	1.97a	2.62a	0.75a	1.43a	2.04c	0.70a
金叶皂荚 <i>Gleditsia triacanthos</i> 'Sunburst'	100	0.47c	1.76a	0.28c	0.51b	1.96a	0.27b
	80	0.44c	1.65a	0.26c	0.60b	1.93a	0.32b
	40	1.03b	1.81a	0.57b	1.01a	1.44a	0.70a
	20	1.69a	2.15a	0.79a	1.23a	1.65a	0.75a
金叶国槐 <i>Sophora japonica</i> 'Aurea'	100	0.91b	2.22ab	0.41c	0.61b	1.88a	0.35c
	80	0.84b	1.63b	0.52c	0.93b	1.73a	0.53b
	40	1.52a	2.35a	0.65b	1.51ab	2.46a	0.61b
	20	1.88a	2.42a	0.77a	2.05a	2.10a	0.98a
金叶接骨木 <i>Sambucus glauca</i> 'Aurea'	100	0.12c	0.46b	0.28c	0.80d	2.03a	0.41c
	80	1.43b	2.31a	0.62b	1.39c	2.17a	0.65b
	40	1.92ab	2.31a	0.83a	1.96b	2.79a	0.70b
	20	2.07a	2.22a	0.94a	2.66a	2.83a	0.94a
金叶风箱果 <i>Physocarpus opulifolius</i> 'Aurea'	100	1.09b	2.18a	0.50d	0.90a	2.22a	0.49a
	80	1.11b	1.76b	0.63c	1.04a	1.66ab	0.54a
	40	1.31b	1.84b	0.71b	1.05a	1.74ab	0.59a
	20	2.06a	2.45a	0.84a	1.25a	1.05b	1.31a
金叶红瑞木 <i>Comus alba</i> 'Aurea'	100	1.50c	2.42a	0.62b	1.61a	2.67a	0.62b
	80	1.55c	2.25a	0.69b	1.66a	2.78a	0.60c
	40	1.77b	1.88b	0.95a	1.67a	2.35a	0.75a
	20	2.18a	2.48a	0.88a	1.77a	2.43a	0.68ab
金叶女贞 <i>Ligustrum lucidum</i> 'Aurea'	100	0.10a	0.74a	0.14b	0.07d	0.27c	0.28c
	80	0.11a	0.32a	0.26ab	0.22c	0.61b	0.36bc
	40	0.22a	0.56a	0.39ab	0.63b	1.44a	0.43b
	20	0.23a	0.43a	0.53a	1.10a	1.30a	0.85a
金叶莢 <i>Caryopteris ×clandonensis</i> 'Worcester Gold'	100	0.55c	2.45a	0.22d	0.62c	2.19a	0.28b
	80	0.76b	1.88b	0.40c	0.55d	2.06a	0.26b
	40	0.77b	1.57c	0.49b	0.71b	2.06a	0.34b
	20	1.01a	1.55c	0.65a	0.88a	1.74a	0.51a
金山绣线菊 <i>Spiraea ×bumalda</i> 'Goldmound'	100	0.99b	1.75a	0.57b	0.43d	1.30b	0.35c
	80	1.13b	1.59a	0.71a	1.01a	2.00a	0.50bc
	40	1.39a	1.86a	0.75a	0.74c	1.33b	0.56ab
	20	0.72c	0.94b	0.77a	0.86b	1.17b	0.73a
金叶小檗 <i>Berberis thunbergii</i> 'Aurea'	100	0.07c	0.55c	0.14c	0.20b	1.33a	0.17b
	80	0.18c	0.94b	0.19c	0.21b	1.34a	0.16b
	40	0.45b	1.35a	0.33b	0.31b	1.27a	0.24b
	20	0.80a	1.59a	0.50a	0.70a	1.54a	0.45a
金叶连翘 <i>Forsythia koreana</i> 'Suwon Gold'	100	0.19c	0.17b	0.17d	0.23c	2.07a	0.12c
	80	0.51b	1.72a	0.29c	0.47b	1.94a	0.24b
	40	0.53a	1.24ab	0.43b	0.55b	1.72ab	0.32b
	20	0.73a	1.17b	0.63a	0.78a	1.39b	0.57a
金叶红薯 <i>Ipomoea batatas</i> 'Aurea'	100	0.72a	1.56a	0.46a	0.59b	1.28a	0.50a
	80	0.66a	1.50a	0.44a	0.75a	1.53a	0.49a
	40	0.61a	1.38a	0.44a	0.60b	1.28a	0.47a
	20	0.76a	1.36a	0.56a	0.71ab	1.17a	0.62a
金叶绿萝 <i>Epipremnum aureum</i>	100	0.25a	0.69a	0.36a	0.51a	-	-
	80	-	-	-	-	-	-
	40	0.25a	0.86a	0.29a	0.19b	0.72a	0.27a
	20	0.34a	0.88a	0.38a	0.17b	0.60a	0.29a
金叶臭椿 <i>Ailanthus altissima</i> 'Aurea'	100	1.04	2.26	0.46	1.24	2.70	0.47
	80	-	-	-	-	-	-
	40	-	-	-	-	-	-
	20	-	-	-	-	-	-

金叶红薯、金叶绿萝对光照强度响应不敏感,表现为各自的 Chl、Car. 和 Chl./Car. 值在各种遮光处理下均不发生明显变化;金叶接骨木、金叶蕮、金叶连翘对光照高度敏感,80%光强处理与100%光强处理存在明显差异;金叶珊瑚朴、金叶皂荚、金叶国槐、金叶风箱果、金叶红瑞木、金山绣线菊、金叶小檗对光照敏感,80%光强处理与100%光强处理没有明显差异,但除金叶风箱果外,其它处理与其差异显著。金山绣线菊在20%光强时 Chl. 和 Car. 含量最低,叶片接近白化,这可能是由于光强过弱阻碍了叶绿素的合成。

随着处理时间的延长(遮荫30 d),各金叶植物色素含量变化趋于缓慢,对光强的响应降低。但金叶女贞遮荫处理15 d后,各处理及100%光强的 Chl. 含量均没有明显响应,遮荫30 d后才开始出现显著差异,说明金叶女贞对光强的响应需要较长的时间;而且与100%光强相比,80%光强的 Chl. 含量陡然上升,说明其可耐一定的低光照,但是为了使其叶色表达良好,仍需要栽培在强光环境条件下。

综合本研究的结果,可以根据叶片色素含量变化对光强响应的敏感程度将供试金叶植物分为3种类型,即光强不敏感型、光强敏感型、光强高度敏感型。光强不敏感型的有金叶红薯和金叶绿萝,二者均起源于热带;光强敏感型的有金叶珊瑚朴、金叶皂荚、金叶国槐、金叶风箱果、金叶红瑞木、金叶女贞、金山绣线菊、金叶小檗,绝大多数起源于暖温带;光强高度敏感型的有金叶接骨木、金叶蕮、金叶连翘,起源于温带。

### 2.3 金叶植物的光响应参数、总叶绿素含量及比值比较

试验结果(表3)显示,不同金叶植物的总 Chl. 含量有显著差异。金叶接骨木、金叶小檗的 Chl. a/b 明显低于3;金叶国槐、金叶皂荚、金叶臭椿、金叶红瑞木、金叶风箱果、金叶女贞、金叶连翘、金叶绣线菊稍高或接近3;而金叶珊瑚朴、金叶蕮、金叶红薯、金叶绿萝远高于3,特别是金叶蕮甚至达到14.12。

表3 14种金叶植物的光响应参数、总叶绿素含量及比例

植物 Plants	光补偿点 Light compensation point ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	光饱和点 Light saturation point ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	总叶绿素含量 Total chlorophyll content ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FM}$ )	Chl. a/b
金叶女贞 <i>Ligustrum lucidum</i> 'Aurea'	21	2 000	0.11	3.50
金叶红薯 <i>Ipomoea batatas</i> 'Aurea'	23	2 000	0.72	5.64
金叶蕮 <i>Caryopteris xclandonensis</i> 'Worcester Gold'	28	2 000	0.55	14.12
金叶连翘 <i>Forsythia koreana</i> 'Suwon Gold'	50	1 000	0.19	4.46
金叶风箱果 <i>Physocarpus opulifolius</i> 'Aurea'	50	1 200	1.09	4.25
金山绣线菊 <i>Spiraea xbumalda</i> 'Goldmound'	50	1 600	0.99	3.63
金叶臭椿 <i>Ailanthus altissima</i> 'Aurea'	54	2 000	1.04	2.94
金叶绿萝 <i>Epipremnum aureum</i>	55	1 600	0.25	7.51
金叶珊瑚朴 <i>Celtis julianae</i> 'Aurea'	60	1 800	0.59	7.57
金叶国槐 <i>Sophora japonica</i> 'Aurea'	62	2 000	0.91	4.25
金叶接骨木 <i>Sambucus glauca</i> 'Aurea'	69	1 800	0.13	2.28
金叶皂荚 <i>Gleditsia triacanthos</i> 'Sunburst'	76	1 400	0.47	3.97
金叶小檗 <i>Berberis thunbergii</i> 'Aurea'	83	1 600	0.07	1.82
金叶红瑞木 <i>Comus alba</i> 'Aurea'	86	1 600	1.50	3.77

注:测定温度 27 ;全光照。

Note: Temperature: 27 ; Full sun-light

Chl. a/b值是植物耐荫性的重要指标之一。典型阳生植物的 Chl. a/b值在 3 左右或更高 (王忠, 2000)。试验中除金叶接骨木、金叶小檗稍具耐荫性外, 其它均为典型的阳生植物或强阳生植物, 需要配置在强光下; 但金叶红薯和金叶绿萝的色素变化对光强不敏感, 这一类型植物可以考虑在林下或室内环境中应用。

从表 3 还可看出, 金叶菰、金叶女贞、金叶红薯的光补偿点低于  $30 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 而其光饱和点达到  $2000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 高于自然光强, 说明这些植物能适应多种环境光强; 金叶皂荚、金叶风箱果、金叶连翘的光补偿点为  $50 \sim 76 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 光饱和点较低, 为  $1000 \sim 1400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 表明其可以适应遮荫、半遮荫或部分时段遮荫的环境; 金叶珊瑚朴、金叶臭椿、金叶国槐、金叶接骨木、金叶红端木、金山绣线菊、金叶小檗的光补偿点为  $50 \sim 86 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 光饱和点为  $1600 \sim 2000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 两者均较高, 这些植物表现出阳生喜光的特点。

## References

- Amon D I 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiol, 24: 1 - 15.
- Christiane S, Petra R, Hartmut KL 1994. Differential levels of carotenoids and decrease of Zeaxanthin cycle performance during leaf development a green and an aurea variety of tobacco. J. Plant Physiol, 143: 500 - 507.
- Hideo Y, Rika H, Norikatsu I 1995. Leaf-goldenning induced by high light in *Ficus microcarpa* L. f., a tropical fig. Journal of Plant Research, 108: 171 - 180.
- Huang Xuan, Zhao Liang-jun 2002. Progress on golden leaf plants. China Flower. Kunming: Yunnan Art Press: 119 - 134. (in Chinese)
- 黄 玄, 赵梁军. 2002. 金叶观赏植物的研究进展. 中国花卉. 昆明: 云南美术出版社: 119 - 134.
- Huang Xuan, Zhao Liang-jun, Tang She-ping, Lu Zhimin 2003. Factors affecting the grafting survival rate of *Celtis julianae* 'Jinye' (Golden leaves). Journal of Central South Forestry University, 23 (3): 80 - 83. (in Chinese)
- 黄 玄, 赵梁军, 汤社平, 陆志敏. 2003. 影响金叶珊瑚朴嫁接成活率的因素. 中南林学院学报, 23 (3): 80 - 83.
- Jiang Wei-bing, Zhuang Meng, Han Hao-zhang, Dai Mei-song, Hua Guo-ping 2005. Progress on color emerging mechanism and photosynthetic characteristics of colored-leaf plants. Acta Horticulturae Sinica, 32 (2): 352 - 358. (in Chinese)
- 姜卫兵, 庄 猛, 韩浩章, 戴美松, 花国平. 2005. 彩叶植物呈色机理及光合特性研究进展. 园艺学报, 32 (2): 352 - 358.
- Nikola L, Mercedes W. 2003. Chloroplast structure and function in wild-type and aurea-type leaves of the Japanese spindle-tree over their life span. Acta Bot Croat, 62 (1): 1 - 10.
- Wang Zhong 2000. Plant physiology. Beijing: China Agricultural Press: 130 - 131. (in Chinese)
- 王 忠. 2000. 植物生理学. 北京: 中国农业出版社: 130 - 131.
- Wang Jing-ming, Chai Su-fen 2002. Effects of shading on growth of *Duranta repens* cv. 'Golden leave'. Journal of Zhongkai Agrotechnical College, 15 (2): 20 - 23. (in Chinese)
- 王精明, 柴素芬. 2002. 遮光处理对金叶假连翘生长的影响. 仲恺农业技术学院学报, 15 (2): 20 - 23.
- Wen Xiang-feng, Lai Jia-ye, He Tai-ping 2003. The effect of temperature and illumination on the color variation of *Duranta repens* cv. Golden leaves and *Ficus microcarpa* cv. Golden leaves. Journal of Guangxi Agric. and Biol. Science, 22 (1): 32 - 34. (in Chinese)
- 文祥凤, 赖家业, 和太平. 2003. 温度与光照对黄桑梅、黄金榕叶色变化的影响. 广西农业生物科学, 22 (1): 32 - 34.